Le Corbusier y la GRILLE CLIMATIQUE

Herramientas para la inclusión de variables termodinámicas y sensoriales en el proyecto arquitectónico

DEPARTAMENTO DE
EXPRESIÓN GRÁFICA ARQUITECTÓNICA
UNIVERSITAT POLITÉCNICA DE VALÈNCIA

ENERO 2016

Tesis Doctoral
Daniel Martín Fuentes
Directores:
Julio Albert Ballester
José Luis Higón Calvet

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

EGA

A mi familia, a todos, los que están, los que se fueron y los que vendrán. Especialmente a mis padres, a mi hermano y a Vanesa y Alba, todo lo que soy se lo debo a ellos. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

En el camino que ha supuesto la redacción de esta tesis doctoral, han sido necesarios la ayuda y apoyo de muchas personas a diferentes niveles. Sin ellos el resultado hubiera sido diferente y el camino más duro.

Quiero empezar con Julio Albert y José Luis Higón, mis directores de tesis, agradeciéndoles su confianza, su paciencia y su dedicación. Han sido capaces de respetar mis tiempos y espacios, ofreciendo un apoyo inteligente y preciso tanto en lo emocional como en lo académico. Son además una parte fundamental de mi carrera docente junto a otros compañeros como Antonio Sintas y Pedro Cabezos. Todos ellos me han ayudado enormemente desde el primer día y todavía hoy me escuchan con atención ofreciendo sus sabios consejos con los que cada día aprendo.

Del mismo modo, quiero expresar mi gratitud a Pablo Navarro, Director del Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, por su disponibilidad y cercanía, así como a las chicas de secretaría, Nuria Portoles, Julia Gil , Mª José Aloy y a José Manuel Ruiz por su seguimiento y preocupación, en particular en todo lo referente a la gestión.

Momentos fundamentales, que han supuesto la configuración y enfoque definitivos de la tesis, han sido los viajes a París y la estancia de investigación en Nantes. En mis periplos franceses debo agradecer la cercanía y generosidad de Arnaud Descelles, responsable del Centro de Documentación e Investigación de la *Fondation Le Corbusier*; gracias a él he tenido acceso rápido a información y documentos que han resultado básicos y que podrán suponer nuevas vías de investigación. Así mismo, expresar mi gratitud a Denise Leitao, Subdirectora de la *Maison du Brésil*, y a Monica Corrado, Directora de la *Fondation Suisse*, por permitirme acceder a los edificios para realizar los trabajos de monitorización respetando las necesidades de mi estudio. Su amabilidad y disposición han sido totales, al igual que la del resto de personal de las residencias.

En especial quiero mostrar mis agradecimientos a Ignacio Requena, profesor de *l'École d'Architecture de Nantes* e investigador del CRENAU (*Centre de Recherche Nantais Architectures Urbanités*), él hizo posible mi estancia en el laboratorio; su profundo conocimiento de Le Corbusier y agudeza intelectual e investigadora supusieron un impulso final para la mejora del trabajo. No puedo olvidar agradecer los sabios consejos de Daniel Siret, director del UMR AAU (perteneciente al CRENAU), y la amabilidad y accesibilidad de Thomas Leduc, Director del CRENAU. Ellos, junto a los compañeros investigadores y doctorandos, han permitido que los últimos meses hayan resultado menos duros y muy fructíferos.

Doy las gracias profundamente a mis padres Mª Carmen y Vicente por inculcarme el valor del esfuerzo con su ejemplo y que mis abuelos les habían transmitido también a ellos. Me han dado los mejores regalos que no siempre supe apreciar: su tiempo, su cariño, mi formación y mi hermano, Javier. Ellos son el espejo en el que me quiero ver.

Y finalmente a Vanesa, pilar fundamental de mi vida. La mejor compañera que nunca jamás imaginé encontrar. Los dos somos uno, todo en mi vida tiene una parte de ella y juntos, con Alba, estamos construyendo una familia que me da la fuerza para superar cualquier reto.

Gracias.

RESUMEN

Nos encontramos en una época en la que es patente la necesidad de una reducción del consumo energético en varias actividades humanas y también en la edificación, el ritmo de gasto actual no es admisible para el planeta en términos de sostenibilidad.

El grado de comodidad al que nos hemos acostumbrado, y que como sociedad no parece que estemos dispuestos a renunciar, se sitúa en el centro de la problemática. Aunque el confort es un concepto muy amplio que incluye la percepción de múltiples parámetros ambientales, en relación a la temática expuesta, se centra en el higrotérmico y lumínico. Así, los arquitectos no podemos desentendernos de esta realidad y por tanto, es conveniente abordarla a partir del proyecto arquitectónico desde un punto de vista holístico. Y más, cuando estudios recientes demuestran que las decisiones tomadas en las primeras fases del diseño influyen sobre el 80% del comportamiento energético del edificio.

La era moderna, que nace con el Renacimiento y que llega hasta nuestros días, con toda la evolución histórica acaecida en este lapso de más de tres siglos puede, aun así, caracterizarse por dos parámetros comunes. En términos culturales, ha sido desde el comienzo –todavía lo es en nuestros días– una cultura de proyecto y además se encuentra sumida en una total hegemonía de lo visual.

El oculocentrismo reinante hace que la imagen y el objeto como producto material, que se percibe a través de la vista, hayan centrado los parámetros de diseño. La arquitectura, ya sea como resultado o motor contextual, no ha sido ajena a estas dos realidades. Solo a partir de los movimientos de vanguardia del siglo pasado empezaron a mostrarse ejemplos de declarada sensibilidad hacia el medio y otras cuestiones menos materiales, dígase el confort, especialmente en la segunda generación de los años cincuenta y sesenta.

Con la aparición de la fenomenología y la hapticidad, como términos habituales en la descripción de los entornos habitados, se ponen en juego nuevas variables que se mueven en ámbitos que todavía, los arquitectos, como proyectistas, como pensadores del entorno que las personas van a vivir, no hemos acabado de asumir como colectivo. Todo aquello que percibimos a través de los canales sensoriales, es mucho más que lo que vemos y por tanto parece necesario que de algún modo pueda ocupar su lugar correspondiente en el proceso de diseño.

Adicionalmente, una creciente tecnificación del entorno parece, tal y como indicaba Ortega y Gasset, que nos ha llevado a una adaptación irreflexiva y vacía del sistema de la racionalidad instrumental. La confianza en que la tecnología, *per se*, puede solucionar todos los problemas a los que se enfrenta el ser humano es una reflexión que va perdiendo fuerza con el devenir del siglo XXI.

Peter Collins creía que el estudio de la manera en la cual la gente había construido en el pasado y el estudio en que la gente construye en el presente, son dos cosas totalmente distintas y sin embargo, inseparables. Partiendo de este planteamiento y teniendo en cuenta todo lo expuesto anteriormente, se aborda el estudio del proyecto arquitectónico de Le Corbusier, en términos higrotérmicos y sensoriales, y de la *Grille Climatique*, herramienta desarrollada en su *atelier* a principios de los cincuenta, para controlarlos.

Con los medios y técnicas actuales –análisis, modelizado, monitorización y percepción del usuario– comprobamos la adecuación de este sistema y sus posibilidades de aplicación. A través de la relación con otras herramientas desarrolladas posteriormente y de la comparación entre el *Pavillon Suisse* y la *Maison du Brésil*, ideados antes y después, respectivamente, de la *Grille Climatique*, buscamos entender hasta qué punto, Le Corbusier tuvo en cuenta ciertas variables intangibles para su inclusión proyectual y de ello extraer conclusiones.

ABSTRACT

Today, it is well stablished that there is a need to reduce energetic consumption among different human activities and also in buildings; the rhythm of today's waste is no longer acceptable for the planet in terms of sustainability.

The degree of comfort to which we have get used to, and to which society does not seem to renounce, places in the focus of the problem. Comfort is a very wide concept that includes the perception of multiple ambient parameters, but in relation to the problems exposed, we will focus on higrothermal and daylight approaches. In that sense, architects cannot ignore this reality, so it is appropriate to deal with it since the very beginning of the architectural project from a holistic point of view. Mostly, when recent researches demonstrate that the decisions taken in the early design phases have influence over the 80% of the building's energy performance.

Spanning from the Renaissance to nowadays, along three centuries, the modern era comprises a period with huge human development. Even though, it has two common parameters in cultural terms; it has been –and still is—a culture of projects and it is also steeped in the hegemony of visual.

The prevailing oculocentrism turns image and objects, as a consumer product perceived through the eye, the focus of design parameters. Architecture, whether as a result or a contextual engine, has not been foreign to these two realities. Only departing from the avant-garde movements of the past century, it is possible to find examples of intentional sensibility towards the environment and other less material issues, for instance comfort, especially in the second generation of the fifties and the sixties.

With the growing use of "fenomenology" and "hapticity" when describing inhabited environments, new variables come into play. Architects, acting as planners conceiving the places where people live, have not been able to introduce these matters in everyday tasks. All that we perceive through our sensory channels is much more than just what we see, so it seems, that in some way, it needs to take its place in the design processes.

In addition, as stated by Ortega y Gasset, the higher degree of technification of the milieu appears to have led us to a thoughtless and empty adaptation of the system of instrumental rationality. The trust in technology as the only way to solve human problems is an argument that is losing strength with the passing of the 21st century.

Peter Collins believed that the study of how people built in the past is completely different to the study of how they do it today yet indivisible. Based on this approach and taking into account all said before, Le Corbusier's architectural project is studied from the higrothermal and sensory perspective, as well as the *Grille Climatique*, tool developed in his atelier at the early fifties to control these areas.

The techniques available at our time –analysis, simulation, monitoring and user perception – are used to demonstrate the system adequacy and possible future applications. Conclusions will be drawn through contrast with other tools developed later and comparison between *Pavillon Suisse* and *Maison du Brésil*, designed before and after the *Grille Climatique*, searching to what extent Le Corbusier took into account certain intangible variables in the design process.

RESUM

Ens trobem en una època en la que es fa patent la necessitat d'una reducció del consum energètic en diverses activitats humanes i també en la edificació, el ritme de despesa actual no es admissible per al planeta des de la perspectiva de la sostenibilitat.

El grau de comoditat al que ens hem acostumat, i que com a societat no sembla que estem disposats a renunciar, es col.loca en el centre de la problemàtica. Encara que el confort es un concepte molt ample que inclou la percepció de múltiples paràmetres ambientals, en relació amb la temàtica exposada, es centra en el higrotèrmic i lumínic. Així, els arquitectes no podem desentendre'ns d'aquesta realitat i per tant, es convenient abordar-la des del projecte arquitectònic des d'un punt de vista holístic. A més, quan els estudis recents demostren que les decisions presses en les primeres fases del disseny influeixen fins al 80% del comportament energètic de l'edifici.

La era moderna, que naix amb el Renaixement i que arriba fins als nostres dies, amb tota l'evolució històrica esdevinguda en eixe lapse de més de tres segles pot, tot i així, caracteritzar-se per dos paràmetres comuns. En termes culturals, ha sigut des del començament –encara ho es hui en dia–una cultura de projecte i a més a més es troba sotmesa en una total hegemonia de lo visual.

El oculocentrisme regnant fa que la imatge i l'objecte com a producte material, que es percebut a través de la vista, hagen centrat els paràmetres de disseny. L'arquitectura, bé com a resultat o com a motor contextual, no ha sigut aliena a estes realitats. Tan sols des dels moviments d'avantguarda del segle passat començaren a mostrar-se exemples de declarada sensibilitat cap al medi i altres qüestions menys materials, com el confort, especialment en la segona generació dels anys cinquanta i seixanta.

Amb l'aparició de la fenomenologia i la hapticitat, com a termes habituals en la descripció dels entorns habitats, entren en joc noves variables que es mouen en àmbits que encara, els arquitectes, com a projectistes, com a pensadors de l'entorn que les persones van a viure, no hem acabat d'assumir com a col.lectiu. Tot aquell que percebem a través dels canals sensorials, es molt més que allò que veiem y en conseqüència pareix necessari que d'alguna forma ocupi el seu lloc corresponent en el procés de disseny.

Addicionalment, una creixent tecnificació de l'entorn pareix, tal i com indicava Ortega y Gasset, que ens ha portat a una adaptació irreflexiva i buida del sistema de la racionalitat instrumental. La confiança en que la tecnologia, *per se*, pot solucionar tots el problemes als que fa front l'ésser humà és una reflexió que va perdent força amb l'esdevenir del segle XXI.

Peter Collins creia que l'estudi de com la gent havia construït en el passat i l'estudi de com la gent construeix en el present, són dos coses totalment diferents i no obstant això, inseparables. Partint d'aquest plantejament i tenint en compte tot allò que s'ha exposat abans, s'aborda l'estudi del projecte arquitectònic de Le Corbusier, en termes higrotérmics i sensorials, i de la *Grille Climatique*, eina desenvolupada en el seu *atelier* al començament dels cinquanta, per a controlar-los.

Amb els mitjans i tècniques actuals -anàlisi, modelat, monitorització i percepció de l'usuari-comprovem l'adequació d'aquest sistema i les seves possibilitats d'aplicació. A través de la relació amb altres eines desenvolupades posteriorment i de la comparació entre el *Pavillon Suisse* i la *Maison du Brésil*, ideats abans i després, respectivament, de la *Grille Climatique*, busquem entendre fins a quin punt, Le Corbusier va tenir en compte certes variables intangibles per a la seva inclusió projectual i d'això extreure conclusions.

INDICE

AGRADECIMIENTOS....4
RESUMEN....5
ABSTRACT....7
RESUM....9

CAPÍTULO 0. ANTECEDENTES....13

0.1. Planteamiento del problema....15
0.1.1. Marco normativo....15
0.1.2. Realidad energética....18
0.1.3. Sistemas de Certificación....21
0.1.4. Conclusiones....23
0.2. Hipótesis y objetivos....25
0.2.1. Hipótesis....25
0.2.2. Objetivos....26
0.3. Limitación y alcance....27
0.4. Metodología....28
0.4.1. Estudio histórico-historiográfico....28
0.4.2. Análisis cuantitativo....29
0.4.3. Análisis cualitativo....36
0.5. Estructura de la tesis....38

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN. MARCO CONTEXTUAL....43

1. Introducción....45
1.1. El proyecto arquitectónico....45
1.2. ¿Crisis del Oculocentrismo?....48
1.3. Ambiente/Atmósfera/Medio/Entorno....53
1.4. Percepción ambiental....55
1.5 Estética termodinámica....71
1.6. Variables estudiadas....75

CAPÍTULO A. MEDIO
VARIABLES TERMODINÁMICAS Y SENSORIALES....77

A.1. El clima....81
A.1.1. Clasificación Climática de Köppen-Geiger....82
A.1.2. Clasificación Climática de Papadakis....90
A.1.3. Escala térmica universal....101
A.1.4. Clasificación climática CTE....102
A.1.5. Comparativa clasificaciones climáticas....106

A.2. Ambiente....111
A.2.1. Preexistencias ambientales....112
A.2.2. Procesos de transmisión de calor....132
A.2.3. Parámetros e Índices de evaluación térmica....137
A.3. Confort....147
A.3.0. Introducción....147
A.3.1. El enfoque cuantitativo. Predicción numérica del confort....149
A.3.2. El enfoque cuantitativo en crisis....156
A.3.3. El enfoque cualitativo. Modelos de adaptación....158
A.3.4. El enfoque cualitativo en cuestionamiento....163

CAPÍTULO B. ESPÍRITU
CARACTERIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL HIGROTÉRMICO....169
B.0. Representación gráfica de datos....171
B.0.1. Ejemplos históricos....175
B.0.2. Elección de herramientas para el estudio....180
B.2. Herramientas gráficas....187
B.2.1. Cartas solares....187
B.2.2. Épures du soleil....192
B.2.3. Cálculo de protecciones solares....196
B.3. Herramientas conceptuales....201
B.3.1. Climograma de Bienestar (Victor Olgyay, 1963)....201
B.3.2. Tabla Bioclimática (Baruch Givoni, 1969)....210
B.4. Herramientas numéricas....219
B.4.1. Mahoney Tables (1971)....219
B.4.2. Herramientas informáticas. Cálculo numérico....239

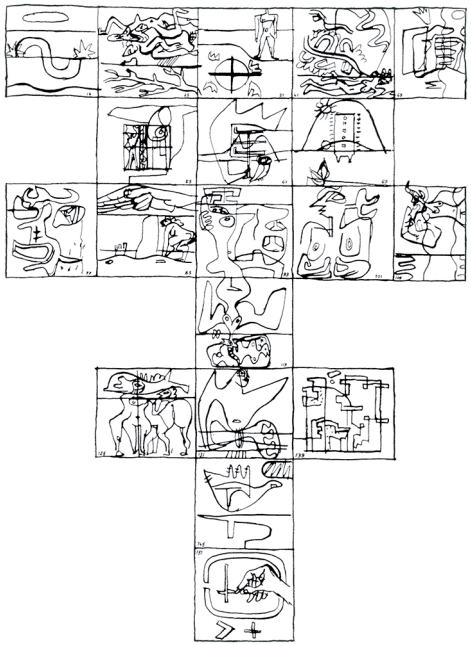
CAPÍTULO C. CUERPO
LE CORBUSIER Y LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO. SISTEMATIZAR - CLASIFICAR....243
C.0. Sistematizar - Clasificar....245
C.1. Salubra Claviers. Cuadernos de colores....247
C.2. El Modulor....251
C.3. Urbanismo. Grille CIAM (ASCORAL)....257
C.4. Urbanismo. Grille des 7V (Vois de circulation)....262
C.5. Urbanismo. Grille d'Arborissation....265

CAPÍTULO D. FUSIÓN
SISTEMATIZACIÓN DE VARIABLES TERMODINÁMICAS. LA GRILLE CLIMATIQUE....269
D.3. La Grille Climatique....273
D.3.1. Urbanismo, Arquitectura e Higienismo....273
D.3.2. Grands travaux (1920-1930)....283
D.3.3. Evolución a través de la vivienda unifamiliar.
De la machine à habiter a la coquille de l'escargot....291
D.3.4. Inclusión y control de parámetros higrotérmicos....300
D.3.4. Elementos de control higrotérmico....303
D.3.5. Sistematización de los elementos de control higrotérmico. Análisis detallado
de la Grille Climatique....332
D.3.7. Análisis Gráfico....350

CAPÍTULO E. CARÁCTER
EL EDIFICIO PROYECTADO - CONSTRUIDO - PERCIBIDO....367
E.0. Introducción....369
E.2. Edificio proyectado - Estudio bioclimático y simulación....379
E.2.1. Estudio bioclimático de proyecto....379
E.2.2. Simulación....384
E.3. Edificio construido - Monitorización....391
E.3.1. Caracterización del periodo de medición....391
E.3.2. Monitorización higrotermia....392
E.3.2. Monitorización ventilación....407
E.3.4. Confort higrotérmico en base a los registros....411
E.4. Edificio percibido - Encuestas....425
E.4.1. Metodología....425
E.4.2. Resultados....428
E.4.3. Conclusiones....447

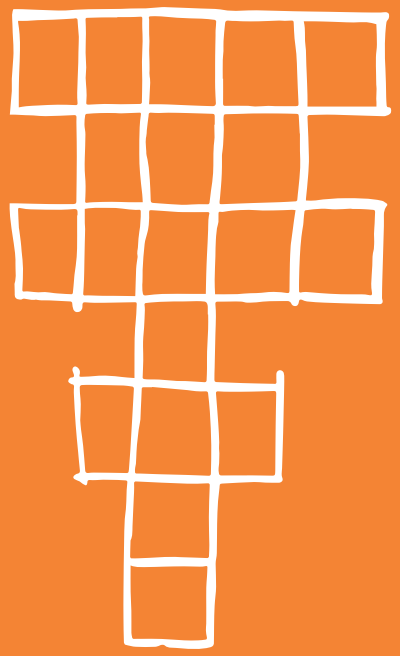
CAPÍTULO F. OFRECIMIENTO
CONCLUSIONES....449
F.3. Conclusiones....453
F.3.1. Preliminar....453
F.3.2. Las herramientas de diseño higrotérmico....457
F.3.3. Aprender de lo construido....465
F.3.4. El legado de la Grille Climatique....466

CAPÍTULO G. HERRAMIENTA
BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS....483
G.3.1. Bibliografía....487
G.3.2. Anexo I. Diagramas cronológicos....497
G.3.3. Anexo II. Tablas de datos de monitorización y simulación....500
G.3.4. Anexo III. Encuestas....510
G.3.5. Anexo IV. Comentarios residentes....516



Cap.0

CAPÍTULO 0.
ANTECEDENTES



0.1. Planteamiento del problema

0.1.1. Marco normativo

Los términos bioclimatismo, eficiencia y sostenibilidad aplicados en general a cualquier campo, pero en especial al de la arquitectura, la edificación y el urbanismo están actualmente muy en boga.

Poco a poco se sitúa en el imaginario global el concepto de que la gestión energética y la responsabilidad medioambiental son claves para la continuidad de la especie humana. Pero el concepto "desarrollo sostenible", en el que se pueden enmarcar estos términos, apareció hace casi 30 años con la publicación en 1987 del Informe Brundtland de la ONU, *Our common future*[1]. Se define como tal, aquel que satisface nuestras necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones.

Como sociedad, hemos vivido una fugaz Modernidad que trajo consigo, gracias a la industrialización y al desarrollo de la tecnología, la posibilidad de aumentar

1. Publicado el 20 de Marzo de 1987, fue elaborado por distintos países para la ONU por una comisión encabezada por la doctora y entonces primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland. *"Sustainable development"* se tradujo al castellano en el documento oficial utilizando la terminología "Desarrollo duradero". El conocido como *Informe Brundtland* oficialmente se denomina Informe de la *Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo,* se publicó en su versión en castellano el 4 de agosto de 1987 con código A/42/427.

los estándares de bienestar así como de generalizarlos; pero este posicionamiento nos hizo olvidar que la vida humana está profundamente conectada a sus fundamentos biofísicos (Beneyto Vidal, Riechmann et al. 2003:96), ignorando nuestra dependencia ecológica y provocando una especie de ilusión metafísica de antropocentrismo que sigue imperando en nuestros días.

Todo ello genera diversas consecuencias negativas, especialmente cuando aparece el factor escala. Nuestro planeta no es capaz de generar los recursos suficientes para que todos los ciudadanos que puedan pagarlo hagan un consumo de recursos similar al que existe actualmente en el mundo más desarrollado. Podemos expresarlo muy bien mediante la "huella ecológica", que aunque metodológicamente suscita controversias, ha permitido divulgar muy bien la idea de que nuestras sociedades han superado los límites ecológicos planetarios.

Para comprender el problema, es necesario observar la tendencia del consumo energético y su impacto sobre el medio ambiente. Así podemos aseverar estas dos realidades: el modo de vida característico de los países más ricos del planeta no puede extenderse al conjunto de sus habitantes y una economía planetaria sostenible exige de esa misma minoría acomodada una reducción de su consumo.

Todo este planteamiento ya aparecía en el Informe Brundtland y de hecho se planteaban en su Anexo I los principios jurídicos que debían marcar el desarrollo de legislaciones encaminadas a:

> *la protección del medio ambiente y el desarrollo duradero adoptados por el grupo de expertos de la CMMAD[2] sobre derecho ambiental.* (Brundtland 1987)

En el ámbito de la Unión Europea, su influencia se vio reflejada en el Acta Única Europea de 1987 que por primera vez producía fundamento jurídico, pero solo con la firma del tratado de Maastrich en 1993 (6 años después) el medio

2. C.M.M.A.D.: Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

ambiente se convirtió en un ámbito político oficial que se tradujo en la publicación de la directiva 93/76/CEE, de 13 de septiembre, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética. En su articulado se abordan, ya entonces, temas como la certificación energética de edificios y su aislamiento térmico. Si bien es cierto, la preocupación política por el medio ambiente ya se había expresado anteriormente en el Consejo Europeo celebrado en París en 1972, en el que los Jefes de Estado y de Gobierno europeos reconocieron la necesidad de establecer una política comunitaria en torno a esta materia. A pesar de ello, el aparato burocrático de la unión es complejo y en general trasladar las intenciones a normativa se dilata en el tiempo.

Desde el año 1993, posteriores tratados han ido recogiendo la mayor implicación política de las instituciones europeas, especialmente por frenar el cambio climático.[3] Para ello, uno de los ejes vertebradores es la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente el CO_2, y esta reducción tiene que ir ligada a la necesaria disminución del consumo de energía primaria.

Bajo este desarrollo normativo proliferan diversas directivas, entre ellas, en 2002, la Directiva de Eficiencia Energética en Edificios (DEEE) 2002/91/CE[4], que entró en vigor el 4 de enero de 2003, y cuyo objetivo principal refleja los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto[5] en el que la UE asume la obligatoriedad de reducir las emisiones de CO_2 en un 8% con fecha límite 2012 para dejarlas un 5% por debajo de los niveles de 1990.

En 2005, con la publicación del *Libro Verde sobre eficiencia energética* se propone el objetivo Europa 2020 de ahorrar un 20% del consumo de energía primaria. En su síntesis se incluyen los tres ámbitos en los que potencialmente se puede ahorrar más energía: el transporte, la propia producción de energía y el sector de los edificios. En el documento se insta a aplicar la normativa existente para ahorrar sumas importantes de energía –y de dinero por ende– pero también a ampliar y mejorar las medidas implementadas.

3. El tratado de Ámsterdam (1999) estableció la obligación de integrar la protección medioambiental en todas las políticas sectoriales de la UE y con el Tratado de Lisboa (2009) la lucha contra el cambio climático paso a ser un objetivo principal.

4. Conocida comúnmente por sus siglas en inglés, EPBD (*Energy Perfomance of Buildings Directive*)

5. El Protocolo de Kyoto se encuentra dentro de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático suscrita en 1992 en Río de Janeiro. Fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005 con la adhesión de Rusia, ya que se había establecido su obligatoriedad a partir del momento en el que los países responsables de al menos el 55% de las emisiones de CO_2 lo hubieran ratificado.

Sin embargo, muchos estados miembro, incluida España, no aplicaron la DEEE a tiempo y los objetivos marcados eran imposibles de alcanzar en la fecha prevista (González 2010). Por este motivo la Comisión Europea propuso una modificación de la directiva en 2008 –aprobada por el Parlamento Europeo en mayo de 2010– que se refundió definitivamente en la actual EPBD 2010/31/EU y que fue modificada por la directiva 2012/27/EU el 25 de octubre de 2012, incluyendo, entre otras modificaciones, la importancia de dar ejemplo en los edificios públicos, dando especial importancia al sector de la rehabilitación y renovación edilicia; estableciendo cauces para la formación y promoción del ahorro de consumo energético por parte de los consumidores y finalmente contemplando cuestiones relativas a los contadores y facturación eléctricos, así como las tecnologías de cogeneración.

En definitiva, esta reglamentación está diseñada para reducir el consumo total de energía de la UE un 5,6% para el año 2020. Para ello se establece y regula un marco en el que los países de la UE deben legislar en diversos ámbitos, incluido el de la edificación. En este área aparece la obligación de certificación energética tanto de edificios existentes como en proyecto, la disminución de demanda energética, la implementación de energías renovables y especialmente, tal vez la medida con más influencia, la finalidad de que todos los edificios de nueva construcción tengan un "consumo energético casi cero" a partir del 31 de Diciembre de 2020.

0.1.2. Realidad energética

El papel que representan los edificios –teniendo en cuenta el sector de la construcción, la vida útil y el reciclaje una vez finalizada ésta– es un 40% de toda la energía que se consume en Europa. Además son los que mayor potencial de ahorro energético tienen, por encima del transporte y la industria. Una correcta aplicación de la nueva revisada EPBD puede hacer que en Europa se ahorre más

Fig. F0.01. Consumo energético por principales sectores consumidores

de 25 mil millones de euros hasta el año 2020, se deje de emitir 160 millones de toneladas de CO_2 al año y se reduzca la dependencia energética.[6]

Por tanto es responsabilidad de todos los agentes involucrados en el sector una concienciación al respecto, independientemente de que la legislación va a acotar e influenciar la forma en la que se trabaja.

No en vano, en todo tipo de publicaciones, ya sea en papel o digitales, los artículos relacionados con la materia han aumentado, progresivamente, en número y difusión en los últimos años, especialmente a partir de 2010 cuando se concretan estrategias no solo de legislación sino de difusión por parte de las instituciones de la Unión Europea.

Analizando someramente la tendencia del consumo energético y su impacto sobre el medio ambiente, se hacen patentes dos realidades que se pueden concretar en datos cuantificables:

- Los países cuanto más índice de desarrollo presentan, mayor es su consumo energético.

- Las tendencias actuales marcan un crecimiento de la demanda energética mundial, en especial los países emergentes requerirán mucha más energía en el futuro. (Fig. F1.02)

- El crecimiento del consumo seguirá aumentando, sobre todo basado en combustibles fósiles no renovables, produciéndose el aumento máximo en términos absolutos en el uso del carbón. (Fig. F1.03)

- Las reservas de combustibles fósiles se extraen mucho más rápido que la capacidad de generación que tiene el planeta. De hecho con las tendencias de consumo actuales, las reservas mundiales de petróleo durarán poco más de 40 años. (Fig. F1.04)

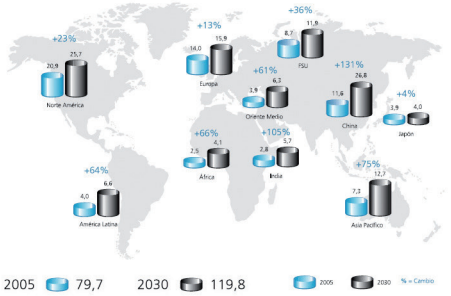


Fig. F0.02. Comparativa demanda energética 2005-2030 (previsión)

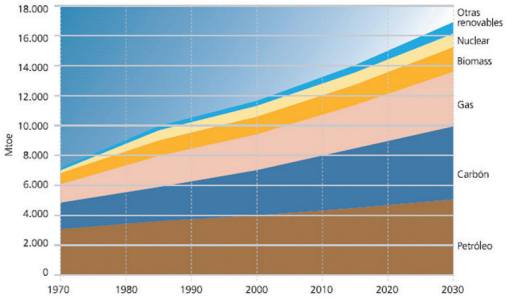


Fig. F0.03. Previsión de demanda energética mundial según fuente de obtención

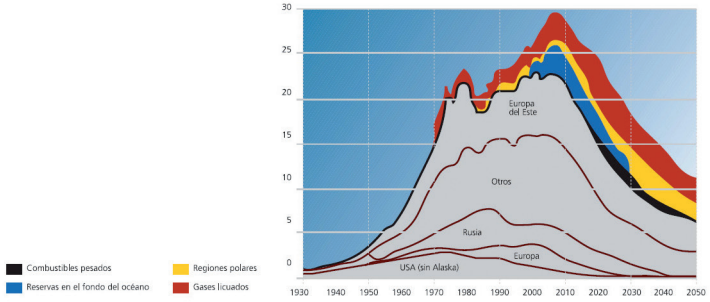


Fig. F0.04. Reservas de combustibles fósiles. Diferenciación de países consumidores

6. Fuente EURIMA (European Association of Insulation Manufacturers) www.eurima.org

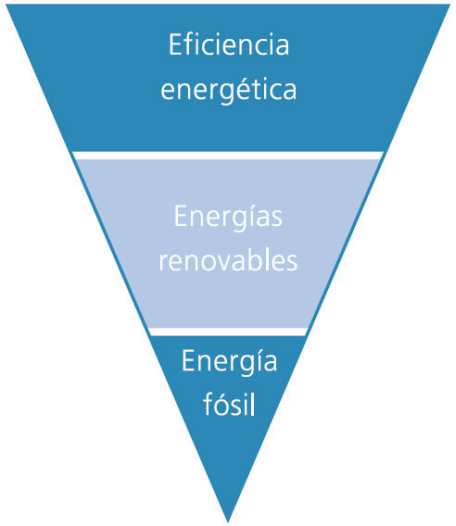


Fig. F0.05. Principio de *Trias Energetica*

La *International Energy Agency,* estamento de la UE que se encarga de gestionar el programa de cooperación energética entre los 28 miembros, pero al que pertenecen muchos más países, tomó como guía de actuación, al publicarse la directiva 2010/31/EU, el principio de *Trías energética* desarrollado en la *Delf University of Technology* que muestra cómo afrontar el uso energético en general. Los tres pasos para cumplir este principio son, en primer lugar, reducir la demanda de energía evitando pérdidas energéticas e implementando medidas de ahorro energético; en segundo lugar, utilizar fuentes energéticas sostenibles renovables en vez de combustibles fósiles y en tercer lugar, producir y utilizar la energía fósil de la forma más eficiente posible (IEA 2008).[7]

Por otro lado para alcanzar el deseado objetivo de "consumo energético prácticamente cero" planteaba dos medidas posibles:

- Toda la energía que se consuma en un edificio se produzca a partir de renovables.
- La demanda energética del edificio sea muy pequeña o prácticamente nula.

Ambas no son excluyentes pero pueden tener más o menos peso en la fórmula de cálculo energético total. En cualquier caso, la traducción de la *Trias energética* supone dar prioridad a la segunda medida, entendiendo la primera como un complemento. Es decir la vivienda debe consumir la mínima energía posible y la poca que consuma debe provenir de energías renovables. Este planteamiento conduce a la definición de varios modelos de respuesta que se resumen en la adopción de medidas pasivas para el control higrotérmico de los edificios, en los que por su comportamiento se pueden minimizar los sistemas de calefacción y refrigeración, de manera que se genera un impacto medioambiental mucho menor.

Ahora bien, ¿cómo se diseña un "edificio pasivo"? [8]

7. Informe: World Energy Outlook 2008. IEA (International Energy Agency). Se publica un informe anualmente.

8. Término derivado de casa pasiva o casa con sistemas pasivos de control higrotérmico, pero que es extensible a cualquier construcción.

La respuesta no es fácil ni directa, pero habitualmente una casa pasiva se define como:

> *… un edificio, en el que el confort térmico (ISO 7730) se obtiene exclusivamente mediante calefacción y refrigeración no activas del aire limpio impulsado en el interior necesario para la buena calidad del aire interior (DIN 1946) sin el uso de aire recirculado adicional.* (iPHA 2015)[9] [10]

Esta definición se materializa en que la climatización interior sea prácticamente nula, debido a un alto grado de aislamiento, y a que la ventilación se realiza con intercambio previo de calor con el aire interior. La definición constructiva de la envolvente se caracteriza por la eliminación de puentes térmicos, un muy alto grado de aislamiento y unos huecos, que además de realizarse con vidrios de baja emisividad, deben ser altamente estancos. Por esa reducida permeabilidad a las infiltraciones de aire, es necesario un sistema de ventilación interior que tiene recuperación de calor.

¿Y el diseño; las herramientas de proyecto? Parece que este tema, crucial para el buen comportamiento climático de un edificio tiende a olvidarse. Más, cuando no son cuestiones incompatibles, sino más bien complementarias. Es obvio que el avance de la técnica nos permite mejorar las envolventes, que las instalaciones se depuran en diseño y funcionamiento, pero se dejan de lado criterios proyectuales que la historia de la arquitectura (con y sin arquitectos)[11] ha testeado en diversas ocasiones.

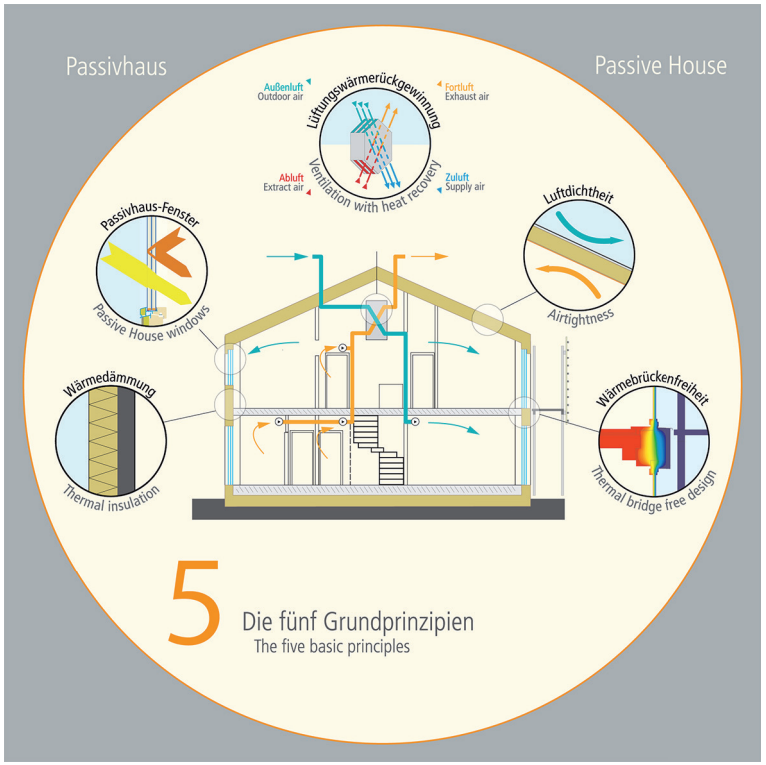


Fig. F0.06. Cinco principios básicos de una casa pasiva

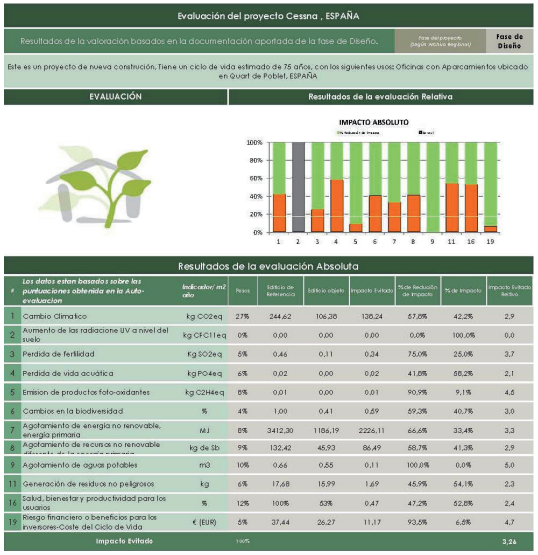
0.1.3. Sistemas de Certificación

Al hilo de toda esta situación, e independientemente de las certificaciones energéticas exigidas por los gobiernos, en los últimos años han aparecido diferentes sistemas de certificación sostenible o "verde" que van más allá de lo estrictamente energético o higrotérmico y tienen en cuenta otros factores como

9. iPHA: *International Passive House Association* (Asociación internacional de casas pasivas)

10. Traducido por el autor: *A Passive House is a building, in which thermal comfort (ISO 7730) can be provided solely by postheating or postcooling of the fresh air flow which is required for good indoor air quality (DIN 1946) - without using recirculated air in addition.*

11. Bernard Rudofsky publica en 1964, su mítico libro *Arquitectura sin arquitectos*, en el que evidencia que la arquitectura vernácula tiene valores propios, tanto estéticos como funcionales y que habían sido olvidados por los arquitectos de la modernidad.



Evaluación del proyecto Cessna , ESPAÑA

Resultados de la valoración basados en la documentación aportada de la fase de Diseño.

Fase del proyecto (según Artículo 6apdo1)

Fase de Diseño

Este es un proyecto de nueva construición. Tiene un ciclo de vida estimado de 75 años, con los siguientes usos: Oficinas con Aparcamientos ubicado en Quart de Poblet, ESPAÑA

EVALUACIÓN

Resultados de la evaluación Relativa

IMPACTO ABSOLUTO

100%
80%
60%
40%
20%
0%
1 2 3 4 5 6 7 8 9 11 16 19

Resultados de la evaluación Absoluta

#	Los datos estan basados sobre las puntuaciones obtenidas en la Auto-evaluacion	Indicador/ m2 año	Peso	Edificio de Referencia	Edificio objeto	Impacto Evitado	% de Reducción de Impacto	% de Impacto	Impacto Evitado Relativo
1	Cambio Climatico	kg CO2eq	27%	244,62	106,38	138,24	57,0%	42,2%	2,9
2	Aumento de las radiacione UV a nivel del suelo	kg CFC11eq	0%	0,00	0,00	0,00	0,0%	100,0%	0,0
3	Perdida de fertilidad	kg SO2eq	5%	0,46	0,11	0,34	75,0%	25,0%	3,7
4	Perdida de vida acuática	kg PO4eq	6%	0,02	0,00	0,02	41,0%	58,2%	2,1
5	Emision de productos foto-oxidantes	kg C2H4eq	8%	0,01	0,00	0,01	90,9%	9,1%	4,6
6	Cambios en la biodiversidad	%	4%	1,00	0,41	0,59	59,2%	40,7%	3,0
7	Agotamiento de energia no renovable, energia primaria	MJ	8%	3412,30	1186,19	2226,11	66,6%	33,4%	3,3
8	Agotamiento de recursos no renovable	kg de Sb	9%	132,42	45,93	86,49	65,7%	41,3%	2,9
9	Agotamiento de aguas potables	m3	10%	0,66	0,55	0,11	100,0%	0,0%	5,0
11	Generación de residuos no peligrosos	kg	6%	17,68	15,99	1,69	45,9%	54,1%	2,3
16	Salud, bienestar y productividad para los usuarios	%	12%	100%	53%	0,47	47,2%	52,8%	2,4
19	Riesgo financiero o beneficios para los inversores-Coste del Ciclo de Vida	€ (EUR)	5%	37,44	26,27	11,17	93,5%	6,5%	4,7
	Impacto Evitado		100%						3,26

Fig. F0.07. Hoja resumen de datos de evaluación para certificación con la herramienta VERDE de GBC España.

12. Existen otros sistemas como el HQE (*Haute Qualité Environnementale*), francés, pero tienen aplicaciones localizadas en sus países de origen.

13. BRE es un conglomerado de empresas. Su matriz inicial data de 1921, El *Building Research Station*, que entonces estaba enteramente financiado por el gobernó inglés.

el reciclaje o el impacto ambiental mediante los ciclos de vida de los materiales y su influencia. En la actualidad existen cuatro sistemas[12], creados en diferentes países y extendidos internacionalmente, que son gestionados por empresas o fundaciones, que aunque puedan tener apoyo o subvención pública, al fin y al cabo son entidades privadas:

- BREEAM (BRE *Environmental Assesment Method*), Inglaterra. BRE[13] (*Building Research Establishment*), es el principal fundador del GBC *England* (*Green Building Council England*).
- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*). Fue desarrollado por el GBC de E.E.U.U. en 1998. Es un sistema muy inclusivo que tiene certificación y control en seis aspectos: implantación sostenible, eficiencia en el uso del agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad del ambiente interior e innovación en el diseño.
- DGNB (*Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen*), Alemania. Creado en 2008 por el GBC Alemania en colaboración con el Ministerio Federal de Transportes, Obras Públicas y Desarrollo urbano. Abarca todos los ámbitos de la construcción mejorando el cómputo de los costes del ciclo de vida.
- PHPP (*Passive House Planning Package*), Alemania. La metodología fue desarrollada en el *Passivehaus Institute*, creado en Darmstadt (Alemania) en 1996. Actualmente está gestionado por el iPHA (*International Passive House Association*) que tiene filiales en multitud de países, incluido España.

Como vemos, en tres de ellos están los *Green Building Councils*, que han proliferado a nivel internacional. En España es una asociación autónoma afiliada a la Asociación Internacional, sin ánimo de lucro, WGBC (*World Green Building Council*), de la cual constituye el Consejo Español. Pertenecen a ella instituciones académicas, centros de investigación, asociaciones profesionales y asociaciones empresariales. Además de su herramienta propia VERDE (que es idéntica a BREEAM), reconoce la utilización de LEED y DGNB.

Globalmente, los sistemas de certificación consisten en una serie de listados de *checkpoints* en los que se comprueba el cumplimiento de un precepto. En caso afirmativo se obtienen puntos y finalmente en función del número de puntos obtenidos se obtiene una calificación. Consecuentemente, los apartados acaban suponiendo una guía de buenas prácticas o de objetivos a alcanzar si queremos obtener la mejor puntuación posible. Pero las estrategias de diseño concreto están completamente abiertas.

En el caso concreto de la *Passive House*, aunque en la actualidad se tienen en cuenta más aspectos, en principio, tal y como se observa en la definición, es básico el sistema de ventilación mecánico y la estanqueidad de la envolvente súper-aislante. En definitiva optimiza un sistema que desde hace décadas es habitual en el norte de Europa.

La obligatoriedad de ventilación mecánica, se introdujo en la normativa española de modo parcial en el Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006) y completamente en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE, 2007)[14]. Estos sistemas entendibles en climas fríos, para evitar las perdidas térmicas que supondría la abertura de huecos de ventilación natural, parecen heredados en nuestra normativa sin una adaptación a nuestras condiciones climáticas favorables durante gran parte del año. Más aún cuando, en la actualidad, sabemos que los rangos de confort térmico de las personas se amplían notablemente en los edificios en los que se produce ventilación natural con huecos abiertos al exterior, especialmente en los climas cálidos.

0.1.4. Conclusiones

Por un lado, es una realidad tangible y normativa, que es necesaria una reducción del gasto energético en la edificación; por otro lado, el estándar de confort actual exige de un cierto grado de consumo.

14. En el CTE, la ventilación es obligatoriamente forzada mediante un sistema de extracción. La flexibilidad se produce en las tomas de aire exterior que pueden ser eliminadas si la carpintería tiene un grado de infiltraciones mayor de A2 (cualquier ventana corredera). En cualquier caso el aire se toma directamente del exterior sin producirse intercambio. El RITE, para algunos tipos de edificios no residenciales como colegios, sí que obliga a que la toma de aire exterior se realice con intercambiadores.

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

Las decisiones proyectuales son básicas para la sostenibilidad de la edificación. Y más cuando estudios recientes demuestran que las decisiones tomadas en las primeras fases del diseño arquitectónico, también urbano, influyen sobre el 80% del comportamiento energético del edificio (Varios 2010).

El confort, como veremos, es un concepto muy amplio que incluye la percepción de múltiples parámetros ambientales, que al estudiarlos hacen entrar en escena nuevos actores. La hapticidad, las texturas, el color, la luz, la ergonomía, pertenecen a este ámbito en el que también se encuentra la percepción higrotérmica y lumínica.

Los arquitectos no podemos desentendernos de ninguna de estas dos realidades y por tanto, es conveniente abordarlas desde el proyecto arquitectónico desde un punto de vista holístico, es decir energético pero también perceptual.

Como indica Rafael Serra en su libro *Arquitectura y climas* (1999) es necesario reestudiar algunas arquitecturas pretéritas, capaces además de adaptarse sutilmente a todas las variaciones climáticas; tal como hizo Le Corbusier, a lo largo de toda su obra, pero especialmente en las obras de su etapa madura a partir del trabajo en la India. Además entonces, Le Corbusier utiliza y desarrolla herramientas metodológicas –la *Grille Climatique*– para crear edificios completamente adaptados a los condicionantes de la climatología. Estos, concebidos como apriorismos de proyecto, debido a su variabilidad, intangibilidad y aparente olvido no son fáciles de gestionar en el proyecto arquitectónico. Es necesario revisarlos e implementarlos en herramientas que nos permitan diseñar mejor, pensando en las personas, y de manera más responsable, pensando en el planeta y en sus futuros habitantes.

0.2. Hipótesis y objetivos

0.2.1. Hipótesis

- Las variables termodinámicas (higrotérmicas) deben estudiarse de modo que puedan incluirse en las primeras fases del proceso de diseño. Debido a su complejidad intrínseca, es posible que necesiten ser simplificadas de alguna manera, con el riesgo de reducir la precisión de su tratamiento

- Estudiando cómo Le Corbusier desarrolló herramientas para transferir su *know how* a otros, podemos establecer bases para nuevas herramientas que tengan en cuenta todo el conocimiento disponible en nuestros días.

- Es apropiado estudiar a un maestro de la arquitectura del siglo XX como Le Corbusier puesto que tiene mucha obra proyectada, pero también construida. Esto nos permite analizar desde el punto de vista del diseño, pero también

testear el objeto construido y en una suerte de ingeniería inversa repensar los planteamientos teóricos.

0.2.2. Objetivos

- Identificar y estudiar las variables que pueden ser tenidas en cuenta para la implementación en una herramienta que se pueda usar en las primeras fases de diseño del edificio sostenible.

- Detectar y analizar las diferentes herramientas que tienen en cuenta el confort higrotérmico, antes de la expansión del diseño asistido por ordenador: 1951-1971

- Entre las herramientas detectadas, se propone estudio detallado de la *Grille Climatique* del *Atelier* de Le Corbusier, uno de los maestros de la arquitectura del siglo XX con mayor relevancia en este aspecto.

- Comparar y contrastar el proceso de diseño de dos edificios de Le Corbusier, *Pavillon Suisse – Maison du Brésil*, antes y después de la *Grille Climatique*, así como los resultados construidos de ese proceso de diseño y la percepción de los ocupantes.

0.3. Limitación y alcance

El número de artículos relacionados con la temática expuesta es ingente, casi hasta el punto de resultar inabordable. Con el objetivo de acotar la investigación se establece un doble marco de investigación.

Marco temático: se estudia la obra de Le Corbusier desde el punto de vista de las herramientas proyectuales de control higrotérmico, profundizando en la herramienta procedimental desarrollada a finales de 1951.

Marco temporal: las herramientas gráficas que se incluyen en el análisis se circunscriben al periodo 1951-1971. Todos los casos de estudio propuestos son anteriores a la enorme proliferación de casos que supuso la inclusión de las herramientas de cálculo numérico por ordenador, más concretamente los denominados CFD (*Computational Fluid Dynamics*)[15]. Así se refleja la voluntad de que las herramientas puedan ser utilizadas desde los primeros pasos de diseño en los que la definición del edificio está todavía muy abierta.[16]

15. CFD: *Computational Fluid Dynamics* (Dinámica de fluidos computacional)

16. No existe posicionamiento personal en el planteamiento. Independientemente de que el arquitecto trabaje o no con el ordenador en el proceso de diseño, durante las fases iniciales, lo que no es posible es la utilización de cálculos CFD pues estos requieren un alto grado de definición geométrica y material.

0.4. Metodología

Para llevar a cabo la investigación propuesta, se propone la aplicación de una metodología que tiene en cuenta tres apartados, el estudio histórico e historiográfico, el estudio cuantitativo y el estudio cualitativo.

0.4.1. Estudio histórico-historiográfico

Se estudiarán dentro del contexto actual las posibles variables que deben ser tenidas en cuenta para el diseño desde un punto de vista higrotérmico y perceptual. Posteriormente se analizarán diferentes herramientas que se han desarrollado para la inclusión de estas variables en el proceso de proyecto. Para ello se ha recurrido a las fuentes originales, consultando a través de préstamo interbibliotecario de la Biblioteca Central de la Universitat Politècnica de València, los libros originales de los creadores de las herramientas; así como toda la documentación existente en dicha biblioteca y en el CIA (Centro de Información Arquitectónica) de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de

Valencia, donde se ha podido acceder a revistas científicas y divulgativas, además de a libros.

Ha sido indispensable el acceso a las revistas científicas en su versión digital, especialmente para los temas más actuales de confort e higrotermia, a través del servicio de la universidad.

En el siguiente paso del discurso se analizarán en detalle, la *Grille Climatique,* procedimiento ideado en el *atelier* de Le Corbusier y se destacan las herramientas utilizadas de manera consciente, pero también las implementadas de manera inconsciente o intuitiva. Posteriormente se procederá a cruzar los datos de ambos temas para generar un discurso analítico de la arquitectura del maestro desde el punto de vista del confort higrotérmico.

Las fuentes han sido similares al caso anterior, pero adicionalmente y de manera básica, se ha accedido a los fondos de la *Fondation Le Corbusier* en París, donde se han estudiado documentos no publicados. Se han realizado tres visitas, una previa y dos coincidentes con los periodos de monitorización de los edificios, en las que se ha consultado correspondencia relacionada con la *Grille Climatique* y con los edificios estudiados (*Pavillon Suisse* y *Maison du Brésil*), así como los dibujos de Le Corbusier realizados durante sus viajes (*Voyages*) y sus agendas (*Carnets*) de donde se ha extraído información cronológica, dibujos, apuntes y relaciones con otros agentes importantes, como sus colaboradores en la India, en el despacho o empresas de construcción e instalaciones.

0.4.2. Análisis cuantitativo

En este apartado se ha planteado el análisis en dos sentidos. El trabajo ha consistido en el modelado y análisis de los edificios seleccionados mediante cálculo numérico por ordenador y también su monitorización *in situ*. Con los datos obtenidos se compara y contrasta el resultado en dos niveles; por un lado

Fig. F0.08. Pavillon Suisse, CIUP, París (1933) Le Corbusier

Fig. F0.09. Maison du Brésil, CIUP, París (1956) Le Corbusier

la correlación entre la simulación y la realidad; y por el otro la diferenciación entre los dos edificios.

Selección de edificios

Se han utilizado los criterios, temporal y programático, buscando evidenciar el cambio de posicionamiento de Le Corbusier a lo largo de su trayectoria. El primer edificio, el *Pavillon Suisse* corresponde a su primera época, en el ámbito de los *grands travaux*, y por tanto es representativo de la manera de hacer del arquitecto a principio de los años treinta. Por el contrario, el otro edificio, la *Maison du Brésil*, es posterior al trabajo en la India, a la ideación y desarrollo de la *Grille Climatique* y además es una de sus últimas obras, por tanto representativo de su manera de hacer al final de su trayectoria.

Adicionalmente, resulta clarificador que sean dos edificios con un programa muy similar. Se trata de dos residencias de estudiantes, que a pesar de ciertas diferencias dimensionales, resuelven el programa de habitaciones en un bloque compacto situado sobre *pilotis* y el resto de espacios públicos principales en un volumen de una planta desvinculado del bloque con la excepción de los núcleos de circulación vertical.

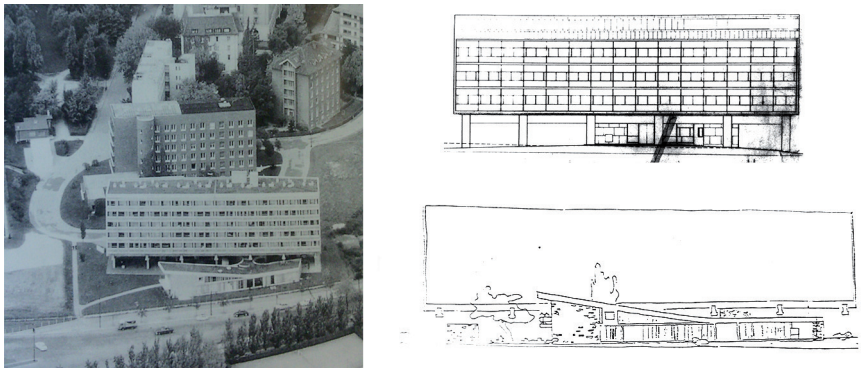


Fig. F0.10. Vista aérea de los dos edificios y comparativa alzado principal habitaciones (sin escala relativa)

Datos climatológicos

Para las simulaciones, los datos climatológicos se han tomado de la IWEC - ASHRAE[17], ya que se trata de una asociación de reconocido prestigio y solvencia. Estos archivos de datos climatológicos se derivan de los datos superficiales horarios del *National Climatic Data Center* estadounidense. Esta base contiene las medias horarias, diarias y mensuales de los siguientes datos: temperaturas secas (media, media de las mínimas, media de las máximas, mínima absoluta, máxima absoluta); humedad relativa; velocidad media, dirección, contenido en humedad y temperatura del viento; cobertura nubosa; presión atmosférica; punto de rocío y precipitaciones; todo en base a registros de como mínimo 15 años y habitualmente para Europa y E.E.U.U. de 25 años.

Para la comparación exterior-interior en la monitorización se ha tomado la temperatura en el exterior del edificio simultáneamente. También se ha tomado la información facilitada por la compañía *Weather Underground*. Se trata de una empresa de tecnología en el área climática que se caracteriza por tener una gran comunidad de usuarios que ofrecen datos a través de internet. Cada usuario, que debe poseer una estación meteorológica certificada por la compañía en tecnología y posicionamiento, se convierte en fuente de información completamente disponible y accesible en la web. Así, los más de 135.000 miembros envían información en tiempo real lo que les permite desarrollar modelos de predicción muy exactos y localizados.[18]

Simulación

Tanto para el proceso de simulación como el de monitorización se ha seguido un método similar al utilizado por Ignacio Requena en su tesis *Arquitectura adaptada al clima en el Movimiento moderno: Le Corbusier (1930-1960)* (2011). En ella, el autor, estudia diferentes edificios seleccionados del arquitecto; de los que realiza simulación en todos los casos y también monitorización en dos de ellos: el *Couvent de la Tourette* (*Eveux-sur-l'Arbresle*) y la *Maison du Brésil* (París),

17. ASHRAE - IWEC: American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers – International Weather Files for Energy Calculations

18. La base de datos IWEC toma datos de 3.012 estaciones.

que también se aborda en este estudio. Adoptando este método se permite aportar información en la línea de conocimiento establecida por el autor, siendo que además resulta completamente generalizable para otros casos y por tanto procedente para el ámbito de investigación.

El software escogido es el mismo que el utilizado por Requena, gracias a que aporta información numérica y también gráfica lo que permite expresar la información desde los planteamientos cruzados numéricos, gráficos, y conceptuales. Se utilizan:

- Análisis Térmico y de Ventilación: *Design Builder + CFD*
- Análisis incidencia solar y sombras: *Autodesk Ecotec Analysis 201*1

Ecotec, herramienta desarrollada por *Square One Research Ltd* y Andrew Marsh, fue comprada por *Autodesk* para incluirla en su paquete de software. Actualmente ya no se desarrolla por parte de la compañía que ha decidido abandonarla e incluir un motor de cálculo propio dentro de los nuevos programas BIM. En cualquier caso sigue siendo muy habitual su utilización en entornos profesionales debido a su facilidad de uso, similitud con programas CAD y sencillez de obtención de gráficos. Sin embargo, en pruebas realizadas en investigaciones, este software no es eficaz para cuantificar los efectos térmicos reales (Hensen 2002) ni de iluminación, por ello se utilizan motores de cálculo de eficacia comprobada como los reseñados. Pero sí es útil en el análisis de incidencia solar y sombras.

Design Builder, diseñado por *DesignBuilder Software Ltd*, se caracteriza por tener un entorno fácil de usar que facilita la entrada de datos, pero al mismo tiempo posee un modelador 3D muy potente. Utiliza *Energy Plus* (E+) como motor de cálculo y permite obtener resultados de demanda energética, emisiones de CO_2, iluminación y condiciones de confort; por tanto permite realizar una evaluación global de los edificios. Utiliza la herramienta CFD

(*Computational Fluid Dynamics*) para predecir las corrientes de aire y distribución de temperaturas tanto en el interior como en el exterior de los edificios.

En los tres casos de análisis, el procedimiento ha sido el mismo:

- Establecimiento del archivo de datos climatológicos. Archivo obtenido de la IWEC-ASHRAE en formato .wea, que es fácilmente exportable de unos programas a otros.
- Construcción del modelo de los edificios en *Autodesk 3Dmax*, guardado en formato .3ds y posterior importación a cada uno de los programas. *Ecotec* admite directamente archivos de este formato, mientras que para los otros programas ha sido necesario un paso intermedio. En el caso de *Design Builder*, solo es posible importar desde BIM, pero el archivo .3ds se ha convertido en BIM e importado al programa.
- Desarrollo del cálculo en los mismos días tipo coincidentes con las fechas en las que se realizó la monitorización in situ.
- Desarrollo del cálculo en días específicos como solsticios o equinoccios.
- Procesado de datos para el análisis.

Fig. F0.14. Dataloggers de temperatura y humedad. PCE-313 A (izq.) - PCE-HT 71N (dcha.)

Fig. F0.15. Datalogger Temperatura, humedad, CO_2. Wöhler 210

Fig. F0.16. (izq.) Luxómetro datalogger PCE-174 - (dcha.) Anemómetro de hilo caliente PCE-423

Monitorización

Se han realizado registros de los cuatro parámetros influyentes en la percepción térmica definida en la ISO 7730:2005: temperatura seca, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire. Adicionalmente, para comprobar la calidad del aire interior se ha medio la concentración de CO_2 en las habitaciones, pudiendo evaluar también, a través de ella, las posibles infiltraciones de aire.

Las mediciones se han realizado simultáneamente en cuatro puntos, durante más de 72 horas seguidas ininterrumpidamente en el *hall* y en la *chambre témoin* (habitación visitable) de cada uno de los dos edificios.

Los equipos situados en el *hall* de planta baja han sido *dataloggers* PCE-313 A. Se trata de unidades autónomas que registran los valores de temperatura seca y humedad relativa, almacenándolos en tarjetas SD, en un archivo de hoja de cálculo de extensión .csv. Se ha establecido una frecuencia de lectura de 1 minuto, para posteriormente promediar dichos valores obteniendo un dato cada 30 minutos. Para evitar el efecto de estabilización de medición, se han descartado las tres primeras horas de medición.

Los equipos situados en las habitaciones de planta primera han sido *dataloggers* Wöhler CDL 210, que registran temperatura, humedad seca y concentración de CO_2. Estos aparatos se gestionan mediante su interfaz propia y además se conectan al ordenador para descargar los datos mediante software específico de la marca. Se obtienen los datos en archivo específico que se puede exportar a hoja de cálculo y el programa genera gráficas que reflejan los datos recogidos, así como la temperatura de rocío y la valoración de la calidad del aire en función de los niveles de CO_2.

Para obtener la temperatura radiante, en los cuatro puntos, se ha utilizado *dataloggers* PCE-HT 71N introducidos en el interior de una caja negra estanca, no aislante, situada encima de material aislante. Así se asemeja a un sensor de globo negro que capta la temperatura que radian los paramentos circundantes.

Ambos se han situado a una altura intermedia y distanciados al menos 40 cm de cualquier paramento vertical cercano. También se ha estudiado su posición de manera que no reciban radiación solar directa que pueda generar lecturas poco representativas de la sensación global, debido a un efecto de sobrecalentamiento local.

La medición de los datos de iluminancia se ha realizado empleado un Luxómetro *datalogger* PCE-174, cuyo rango de medición cubre de 0 a 400.000 lux. El sensor situado en el extremo es un fotodiodo de silicio que reacciona a la luz. Al tener capacidad de registro de datos se ha dejado midiendo durante 24 h en días alternos en cada uno de los edificios, exclusivamente en las habitaciones. Para ajustar el rango de medida y la posición que aportara un valor intermedio se realizaron mediciones en una malla de puntos a diferentes horas y se estimó la posición apropiada.

Mediante un anemómetro de hilo térmico PCE-423, específico para bajas velocidades de aire, se han realizado los registros de velocidad de aire. Dispone de una sonda telescópica con el sensor de temperatura en su extremo que mide la velocidad en función de la velocidad de enfriamiento que se produce en una lámina metálica previamente calentada al someterla a una corriente de aire. Se han realizado medidas en el exterior de los huecos abiertos, en el interior junto a estos huecos y en dos puntos de la profundidad de la habitación o separadas un metro en el hall. Se ha tomado medidas en otras zonas en las que se han detectado corrientes de aire, que se indican en el apartado de estudio. Dada la variabilidad de mediciones se han tomado cinco medidas en cada punto y se ha obtenido media aritmética.

Análisis comparativo

Los datos obtenidos de los dos edificios se comparan para evaluar las relaciones entre edificios e intentando desvelar la evolución en cuestiones de control

Fig. F0.17. Posición instrumentos para toma de medidas en *hall* y habitación. *Pavillon Suisse*

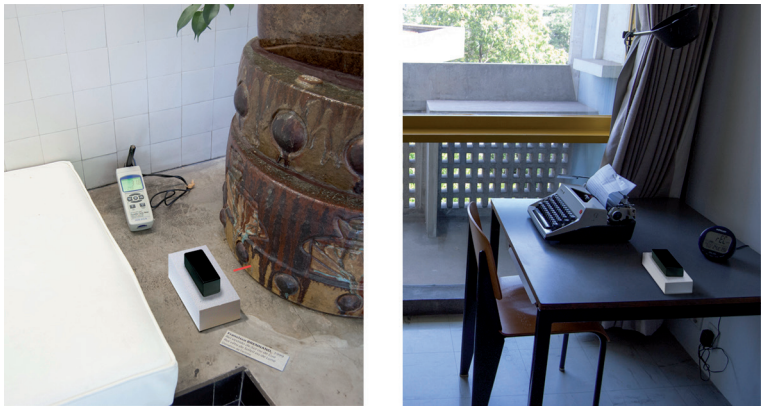


Fig. F0.18. Posición instrumentos para toma de medidas en *hall* y habitación. *Maison du Brésil*

higrotérmico en la forma de proyectar de Le Corbusier desde el principio de la década de los treinta a finales de los cincuenta.

Para complementar los datos numéricos registrados, se estudiarán parámetros como el coeficiente volumétrico, la inercia térmica, la autonomía de luz natural y el índice de confort de los edificios. Estos parámetros, especialmente el último de ellos se desarrollarán en el apartado específico.

0.4.3. Análisis cualitativo

En la actualidad existen diferentes teorías de análisis del confort que estudiamos en el apartado A.4 y que se engloban en dos corrientes. Las cuantitativas lo entienden como un ente objetivo que mantiene sus características independientemente de la posición del investigador y principalmente con independencia del usuario. Obviamente reconocen la variabilidad entre usuarios, pero parten del planteamiento de que dos usuarios con ciertas características físicas comunes responden igual frente a mismas situaciones higrotérmicas. Por oposición a ellos, los enfoques cualitativos consideran la realidad como un ente subjetivo y múltiple, según lo ven los diversos protagonistas que participan en el fenómeno estudiado, de los cuales forma parte el usuario y el propio investigador.

Desde el punto de vista cualitativo, se completa el análisis con un estudio perceptivo mediante encuestas de calificación semántica, tanto en periodo de invierno como de verano. Las encuestas se han realizado con *Google Forms*, enviando un enlace a los ocupantes de las residencias mediante el cual accedían a un cuestionario en el que daban una puntuación de 1 a 5, sobre tres cuestiones (temperatura, iluminación, confort global) para diferentes actividades (trabajar, dormir, aseo) de la habitación y para diferentes espacios comunes (escaleras, corredor, cocina y sala de estancia). Los criterios de análisis estadístico y de aceptación o rechazo se explican detalladamente en el apartado E.3.

Adicionalmente se realizan entrevistas no guiadas a los usuarios de los edificios durante la visita a los edificios en verano. Se busca que las personas a las que se realizan las entrevistas hayan pasado parte del curso universitario en la residencia, de modo que su opinión global no tenga el sesgo propio de una estancia corta coincidente además con el periodo de canícula que se produjo durante la visita, caracterizado por ser extremadamente caluroso para las medias habituales de París

Fig. F0.19. Pantallas 1 y 3 de las encuestas de calificación semántica de invierno realizadas para cada uno de los edificios. Las encuesta consta de 4 pantallas que se describen detalladamente en el capítulo D, apartado 3. La versión de invierno y la de verano son idénticas sólo que se indica el periodo para el que se solicita la opinión.

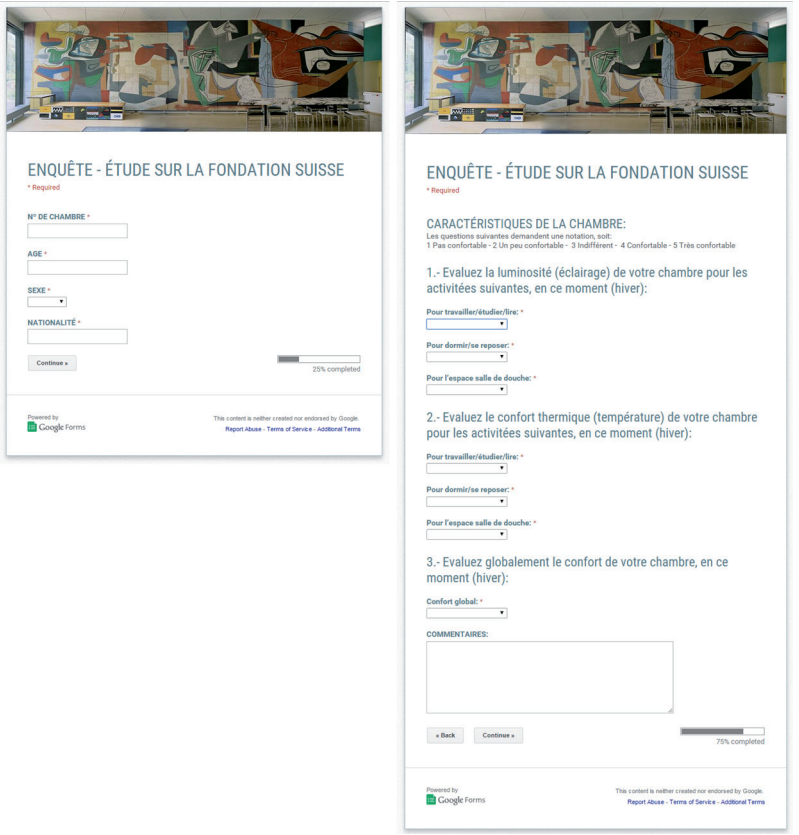


Fig. F0.20. Portada *Poème de l'Angle Droit* (1955) Le Corbusier

0.5. Estructura de la tesis

La estructura de esta tesis es matricial; es decir, tiene un recorrido lineal de los primeros capítulos a los últimos, profundizando en el conocimiento del control higrotérmico, primero de una manera global con una perspectiva científica desde los conocimientos actuales, para poder después profundizar en esta misma cuestión en la obra de Le Corbusier. Este hecho permite traer a colación la actualidad del comportamiento energético del patrimonio moderno, sin caer en el anacronismo que supondría aplicar los puntos de vista actuales al análisis histórico. Además, transversalmente, cada capítulo es compacto en el sentido de que supone un estudio que por sí solo presenta coherencia unitaria.

Finalmente, la estructura global de la tesis se ajusta a la estructura del *Poème de l'Angle Droit* de Le Corbusier, publicado en 1955. De este modo, la investigación se organiza en siete capítulos que se denominan mediante letras; cada uno tiene diversos apartados (A: 5, B: 3, C: 5, D: 1, E: 3, F: 1, G: 1) y corresponde a un escalón del análisis. La numeración no es correlativa, igual que ocurre en el libro, colocando cada compartimento en una posición organizada que acaba

conformando un iconostasio, tal y como lo denomina el propio arquitecto (Fig. F0.21). Para cada apartado, además de los dibujos que acompañan al texto, Le Corbusier dibujó una lámina que aparece al incio; juntándolas todas conforman el iconostasio que se reproduce al final de libro en dibujo esquemático de línea. (Fig. F0.22). Las láminas detalladas también se reproducen en esta tesis al inicio de cada capítulo, utilizando además el mismo código de colores que Le Corbusier.

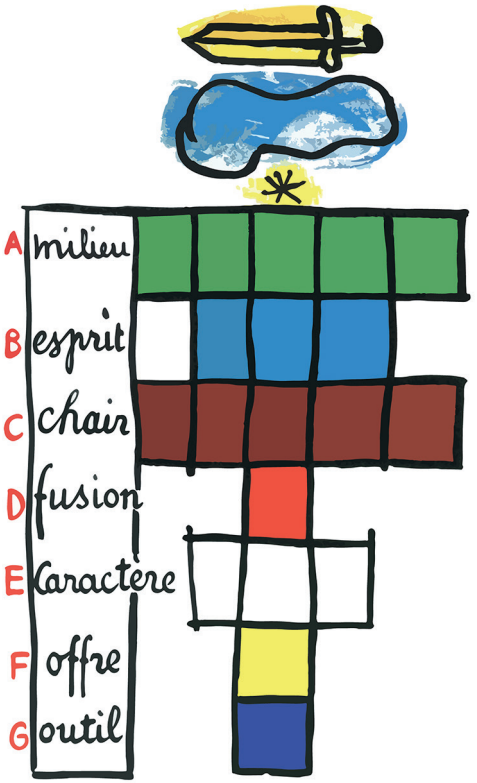


Fig. F0.21. Iconostasio del *Poème de l'Angle Droit*, página 4. Supone el índice gráfico del poema, que consta de 7 capítulos y 19 apartados divididos tal y como indica el esquema.

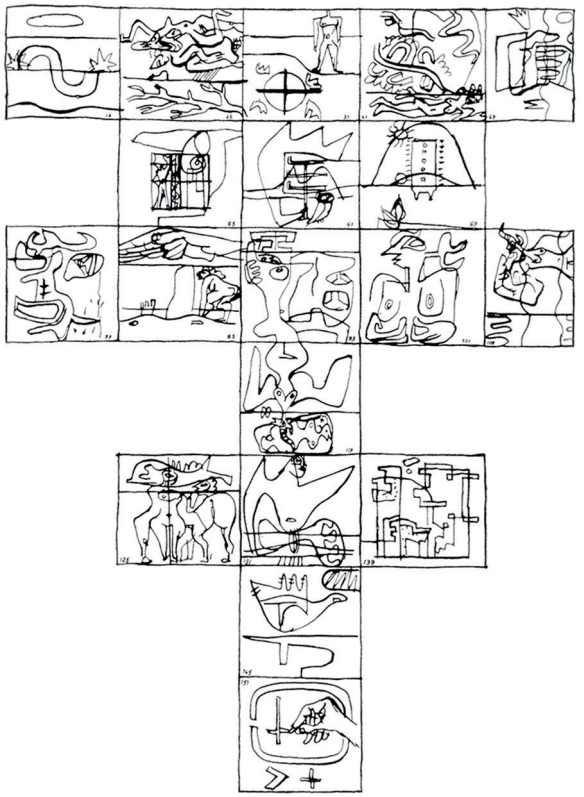


Fig. F0.22. Reproducción del iconostasio que conforman las 19 láminas en dibujo esquemático, Le Corbusier. En las esquinas de cada recuadro se indica la página en la que se encuentra la imagen.

Esta coincidencia, inicialmente casual, pero que carece de aleatoriedad surge del enfoque que plantea Gregory Ulmer[19] en su Teoría del Manifesto denominada CATTt, incluida en su libro *Heuretics: The Logic of Invention* (1994). Con ella pretende establecer una base para escribir *manifestos* pero que también permite analizar obras (escritos, pinturas, arquitecturas) que supongan un *manifesto* consciente o inconsciente de sus autores. La denominación del método es un acrónimo que resume los pasos a seguir (Ulmer 1994):

- C: *Contrast* (Contraste). Surgen por oposición o diferenciación de posicionamientos anteriores.
- A: *Analogy* (Analogía). Aunque pretendan romper, siempre tienen una base en teorías o realidades ya existentes.
- T: *Theory* (Teoría). Literalización de las propuestas, que no siempre tiene porque ser escrita, como por ejemplo pasaría en una obra de arquitectura.
- T: *Target* (Objetivo). Según Ulmer, un *manifesto* siempre tiene una finalidad, generalmente relacionada, no sólo can la comunicación o transmisión de la idea, sino con la intención de que otros la aprehendan.
- t: *tale* (cuento). Inevitablemente existe una cierta mitificación o idealización que acaba generando una realidad conformada en un parte por hechos y en otra por una concepción poética de las ideas.

Con la lectura del libro me plantee la posibilidad de analizar el *Poème de l'Angle Droit* con esta metodología, algo que por otro lado excede los límites de esta tesis. Pero ello me llevó a conocer otros dos conceptos, el primero creado por Ulmer, el *popcycle* y el segundo, muy utilizado por él, *wide images*. Para Ulmer, la historia e identidad de las personas está definida por una serie de "discursos": familia, comunidad, acceso al conocimiento, diversión, iglesia, calle y carrera; cuya unión forma el *popcycle*.[20] Para analizar cada uno de ellos estima apropiado utilizar las *wide images* incluidas en nuestro *widescope* que traducido, no literalmente, son las "imágenes recurrentes" incluidas en nuestro "imaginario". Estas imágenes, similares o de contenidos parecidos, aparecen incluidas en

19. Gregori Ulmer (1944) es profesor del Departamento de Inglés en la Universidad de Florida (Gainesville) y del Departamento de lenguajes electrónicos y cibermedia en la European Graduate School en Saas-Fee, Suiza. Ha escrito y presentado múltiples teorías rompedoras, muchas de ellas relacionadas con el conocimiento y aprendizaje a través de internet y las redes sociales, desde puntos de vista heurísticos y fenomenológicos. El mismo las presenta y comenta en su blog (https://heuretics.wordpress.com/). Se caracteriza por denominar sus ideas con palabras creadas *ex profeso,* surgidas de la mezcla de otras palabras, por ejemplo: *choragraphy, grammatology, mystory, heuretics o post(e)-pedagogy.*

20. Ulmer entiende "discurso" tal y como lo hacía Foucault, es decir, el conjunto de relaciones de poder y semánticas (Demers 2014).

múltiples discursos de cada persona. Resultan altamente afectivas, impactantes o relativas a la memoria de la vida de cada uno.

Este método de análisis "gráfico", fue creado por Howard Gruber (1922-2005), en 1978. Él mismo define la "imagen recurrente" como:

> *… an image that functions as a schema capable of assimilating to itself a wide range of perceptions, actions, ideas. This width depends in part on the metaphoric structure peculiar to the given image, in part of the intensity of the emotion which has been invested in it, that is, its value to the person.* (1978:135)[21]

Con ellas, en el mismo texto denominado *Darwin's 'Tree of Nature' and other images of wide scope,* analiza el uso repetitivo de ciertas imágenes en el libro con el que Charles Darwin (1809-1982), en 1859, sentó los fundamentos de la teoría de la biología evolutiva: *On the origin of species* (Demers 2014).

En definitiva, la temática de mi análisis tiene una componente eminentemente física, pero también se mueve en el campo de la subjetividad (en el complejo ámbito común de la heurística y la hermenéutica en términos de filosofía del conocimiento) y por tanto me pareció procedente un cruce de estructuras. Tal y como veremos a lo largo de la tesis, Le Corbusier siempre tuvo en cuenta el bienestar del "usuario" (aunque no fuera siempre desde la misma perspectiva) e indudablemente fue un creador de imágenes sintéticas que se repetían a lo largo de los años (igual como pintor que como arquitecto). Por ello, una obra como el *Poème de l'Angle Droit*, escrita y gráfica, admite el paralelismo a través del análisis del imaginario que él mismo establece.

En palabras de Juan Miguel Hernández, en este libro el arquitecto realiza:

> *Un canto a la racionalidad de la naturaleza y a la épica arquitectónica, al complejo pacto con el entorno que supone cualquier intervención del espíritu sobre un mundo que responde con indiferencia*

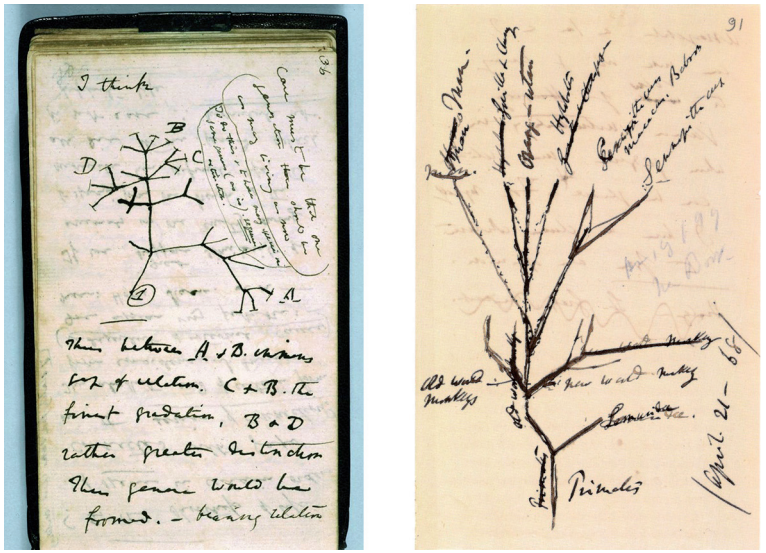


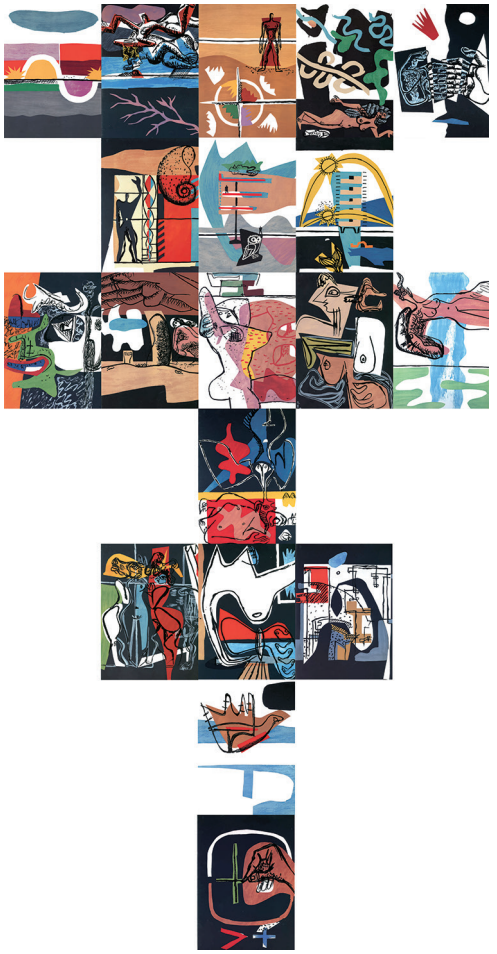
Fig. F0.23. Dibujos de los cuadernillos de apuntes de Darwin. Con el dibujo de estos árboles empezó a gestar su teoría sobre la evolución de las especies.

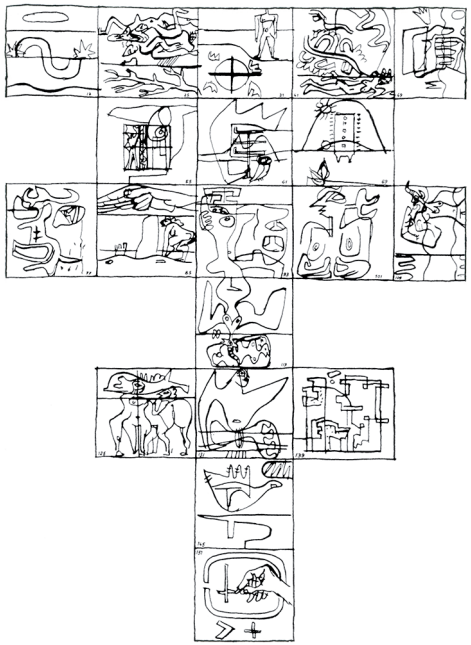
Fig. F0.24. Despliegue *Poème de l'Angle Droit*. Zaguán *Immeuble Molitor*

21. Traducido por el autor: es una imagen que funciona como un esquema capaz de evocar por sí mismo un amplio rango de percepciones, acciones, ideas. Su amplitud depende en parte de la estructura metafórica intrínseca de cada imagen dada, en parte de la intensidad de la emoción que ha sido invertida en ella, es decir, el valor que tiene para la persona.

> *geológica a los anhelos de lo antropocéntrico.* (Hernández en Le Corbusier [1955] 2006)

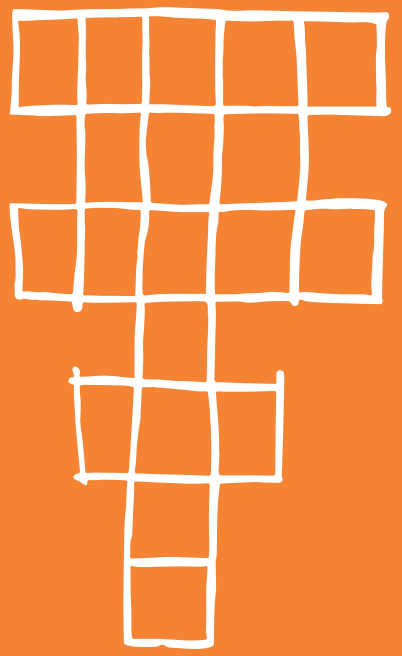
La estructura se completa con dos capítulos introductorios de antecedentes e introducción contextual.

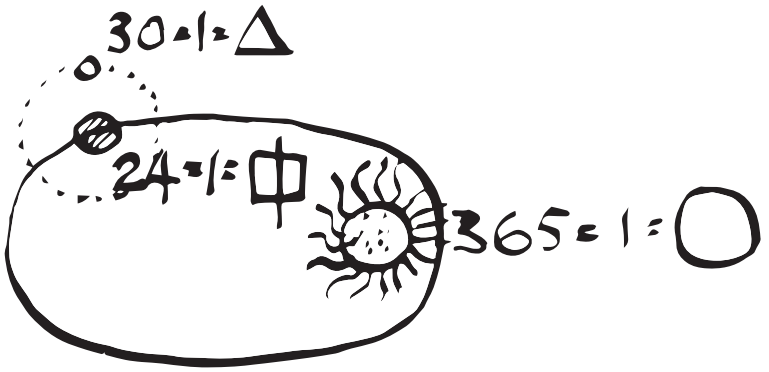




Cap.1

CAPÍTULO 1.
INTRODUCCIÓN. MARCO CONTEXTUAL





1. Introducción

1.1. El proyecto arquitectónico

La cultura moderna ha sido desde el comienzo, y todavía lo es en nuestros días, una cultura de proyecto en todos los ámbitos. Especialmente en la arquitectura donde es visto como un momento fundamental que constituye su origen. No hay arquitectura que no sea fruto y resultado de un pensamiento proyectante (Motta 1999:462). Por tanto, estudiar el proyecto nos permite volver a ese origen e indagar sus razones primeras.

En la historia de la Arquitectura, y en los textos que la acompañan, ya en la Antigüedad existía la idea de que para la construcción de edificios importantes era necesario definir una idea previa y transmitirla sobre diferentes soportes, de lo que existen algunos vestigios (Fig. F1.01). Antes del siglo V; en la tradición hebrea, en diversos pasajes de la Biblia, en la antigua Grecia (escritos de Platón o Aristóteles), en la época del Imperio Romano (véanse los tratados de Vitruvio)

Fig. F1.01. Maqueta de templo griego hallada en el Templo de Hera en Argos.

Fig. F1.02. *Justiniano dando órdenes a sus arquitectos* (516, s. VI). Autor desconocido. Museo de la Bilioteca Vaticana

Fig. F1.03. Maqueta de la cúpula de la basílica de San Pedro del Vaticano. Miguel Ángel, Giacomo della Porta y Luigi Vanvitelli. *Fabbrica di San Pietro*.

o incluso en los vestigios materiales de otras civilizaciones (cultura maya y precolombina) encontramos multitud de referencias y ejemplos.

La Edad Media trajo una desaparición del arquitecto como creador intelectual y lo acercó a la figura del constructor o maestro de obras. Este hecho explica la ausencia total de muestras de la labor proyectual entre los siglos V y XII, y la escasez hasta el XV.

El proyecto arquitectónico como proceso de ideación, aunque tiene incipientes ejemplos en el Gótico, surgió de manera definitiva, como procedimiento de concepción, definición y transmisión de la arquitectura durante el Renacimiento (Muñoz Cosme 2008:30). En este periodo, el arquitecto pasó de ser un cantero o carpintero, a convertirse en pensador que trabajaba principalmente en su estudio y que tenía la necesidad de transmitir sus diseños a los obreros para que estos los materializasen.

Durante esta época, adquirieron gran valor como herramienta de comunicación y definición las maquetas, y no fue hasta que Raffaello Sanzio (1483-1520) se hizo cargo de las obras de la basílica de San Pedro que se inició un cambio de tendencia (Sainz 1990:79). Hasta el momento, los modelos a escala, se consideraban suficientes para la definición y construcción del edificio, pero él recuperó la tradición vitruviana clásica de las tres proyecciones.

Aun así, el debate dibujo-maqueta, como medios de definición y representación principales del proyecto estaba lejos de ser superado (Muñoz Cosme 2008:34). Otro arquitecto, Miguel Ángel (1475-1564), y que también destacó por su virtuosismo como pintor, escultor y científico, convirtió la maqueta en su más poderosa arma de definición y comunicación arquitectónicas. Sólo a finales del siglo XVI con el Manierismo, la tradición se interrumpió dando paso al dibujo como elemento fundamental del proyecto arquitectónico.

La práctica de un proceso de creación basado en el proyecto, anterior a la ejecución de la obra, no solo se instauró en el ámbito de la construcción sino que de manera transversal fue acogido por todas las artes plásticas. Federico Zuccari en *L'idea de' pittori, scultori et architetti*, publicado en 1607 (F1.04), distingue claramente entre el "diseño interno", relacionado con la creación artística y el "diseño externo" que es, en definitiva, la materialización formal de esa idea. La importancia de la idea como elemento generador del hecho construido y del trabajo sobre ella, así como de la evaluación de diferentes alternativas, quedan patentes en la obra de Vincezo Scamozzi titulada *Dell'idea dell'architettura universale* (1615) donde, tomando como base los tratados de Vitruvio recoge las operaciones que todo arquitecto debería hacer antes y durante el proceso de diseño con el objetivo de depurar el resultado para que "ni él ni otro de la profesión, por más diligencia que pusieran, pudieran hacerlo mejor ni más excelente en su género".[22]

Estas labores serían, entre otras: estudio del tipo y utilidad del edificio, de su carácter público o privado, coste previsto, medición del terreno, regulaciones que han de tenerse en cuenta, etc.

Desde comienzos del siglo XVII, tal y como hemos visto, la necesidad de elaboración de una idea queda establecida claramente en el mundo de las artes plásticas, pero poco más tarde acabó transfiriéndose a otros campos con la evolución de las técnicas y de la cultura industrial. En 1697, Daniel Defoe publica *An Essay upon Projects* (Fig. F1.05) donde denomina a su época la "era de los proyectos". Emplea este concepto en un sentido amplio, en referencia no solo al mundo arquitectónico, sino también a la ingeniería, invención de máquinas, descubrimiento de materiales o productos y fundación de empresas e instituciones (Muñoz Cosme 2008:38).

Y desde el Renacimiento, con un salto temporal de varios siglos, nos trasladamos hasta finales del siglo XX – hasta la actualidad en términos de escala histórica– ciclo que comprende toda la era moderna (Buchanan 2012). Es un lapso de

L'IDEA
DE' PITTORI, SCVLTORI,
ET ARCHITETTI,
DEL CAVALIER FEDERICO ZVCCARO.
Diuisa in due Libri.
AL SERENISSIMO CARLO EMANVEL
DVCA DI SAVOIA, PRENCIPE DI PIEMONTE, &c.
IN TORINO, Per Agostino Disserolio. CIↃ DCVII.

Fig. F1.04. *L'idea de' pittori, scultori et architetti* (1607) Federico Zucari

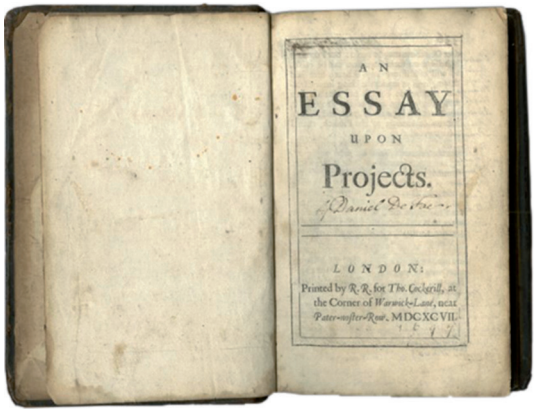

AN
ESSAY
UPON
Projects.
LONDON:
Printed by R. R. for Tho. Cockerill, at the Corner of Warwick-Lane, next Pater-noster-Row. MDCXCVII.

Fig. F1.05. *An Essay upon Projects* (1667) Daniel Defoe

22. SCAMOZZI, Vincenzo; 1615. Dell'idea della architettetura universal. Girolamo Albrizzi: Venecia. Parte I, libro I, p. 14

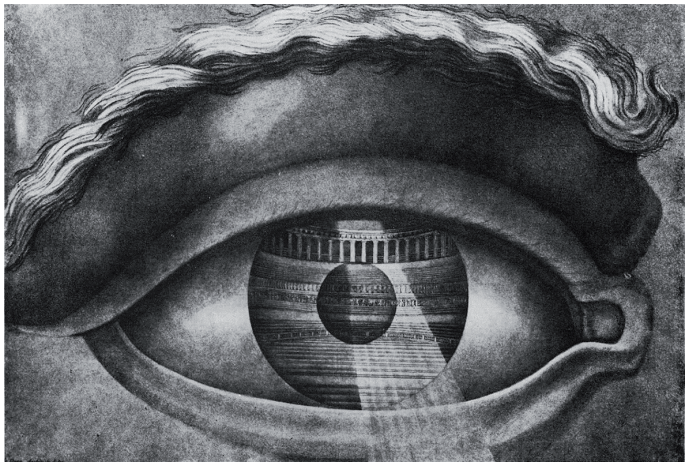


Fig. F1.06. *Ojo reflejando el interior del teatro de Besançon*, detalle (1804) Claude-Nicolas Ledoux. Utilizada en *Los ojos de la piel* de Juhani Pallasmaa en el capítulo "El ocularcentrismo y la violación del ojo".

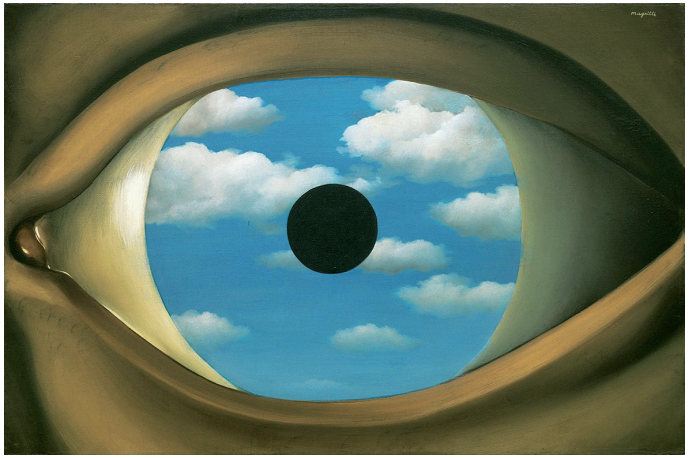


Fig. F1.07. *El espejo falso* (1928) René Magrite. Utilizada en *Los ojos de la piel* de Juhani Pallasmaa en la Primera parte, apartado "Visión y conocimiento".

23. Entre los autores que han defendido esta teoría se encuentran: Juhani Pallasmaa, Jean-Paul Thibaud, Gernot Böhme y Torino Griffero, entre otros.

tiempo en el que las evoluciones en el proyecto de arquitectura como herramienta de ideación y a la vez como documento transmisible son múltiples, complejas y tan diversas como corrientes arquitectónicas y de pensamiento existen. No es mi cometido analizarlas todas, pero, procedimentalmente y desde la posición del arquitecto frente al objeto diseñado y construido existe una línea que podemos claramente distinguir, según indican diversos autores:[23] el generalizado olvido de las variables sensoriales, al menos como herramientas utilizadas conscientemente.

Este hecho se refuerza profundamente con el proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició con la Revolución Industrial a mediados del siglo XVIII. Todavía está lejos de ser superado aunque, desde finales del Movimiento Moderno, con las vanguardias, empezaron a mostrarse ejemplos de declarada sensibilidad hacia el medio y otras cuestiones menos materiales, dígase el confort, especialmente en la segunda generación de los años cincuenta y sesenta. Continuando con el Postmodernismo y especialmente desde finales del siglo XX se afianza esta tendencia, tan solo incipiente, de cambio.

1.2. ¿Crisis del Oculocentrismo?

En este sentido, Juhani Pallasmaa (2011:226) afirma que hasta tiempos recientes, la modernidad en general se ha ocupado sobre todo de la forma y no tanto de las sugerencias mentales y emocionales de la materia. En la definición de arquitectura que Le Corbusier incluye en *Vers une architecture* ([1923] 1977:16), queda patente ese planteamiento eminentemente visual y formal.

> "La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz. Nuestros ojos están hechos para ver las formas bajo la luz."

Multitud de ejemplos al respecto se pueden encontrar en esta obra. Por ejemplo, al final del capítulo II, *L'illusion de les plans*, en referencia a la ciudad y el espacio

exterior, Le Corbusier ([1922]1977:160), indica que no hay que olvidar, cuando se traza un plano, que el ojo humano es el que constata los efectos.

Pero el maestro suizo no es una excepción, de hecho probablemente es uno de los arquitectos del siglo XX que más evolucionó hacia una arquitectura no eminentemente visual[24]. A pesar de ello, como veremos más adelante, no era ajeno a su tiempo. Desde finales del siglo XVIII, la arquitectura ha sido en todas sus facetas una forma de arte visual. Se ha enseñado, teorizado, practicado y criticado, predominantemente, dando prioridad a la forma, la geometría y la Gestalt enfocada (Pallasmaa 2007:9).

Esta hegemonía de lo visual, no solo afecta a la arquitectura, sino que va mucho más allá y a pesar de que algunos autores opinan que ha sufrido ciertas crisis, especialmente con la irrupción de la hermenéutica en el pensamiento filosófico, es una opinión bastante extendida que vivimos en una "civilización de la imagen" (Castañares 2007:29). Esta ocupación cultural y social por parte de la imagen es hija de la modernidad pero tiene su origen en la antigua Grecia. Heráclito escribe en uno de sus fragmentos "los ojos son testigos más confiables que los oídos"; Platón dice hablando de la filosofía que es "el beneficio supremo del cual se responsabiliza a la vista" y Aristóteles consideraba la vista como, de entre todos los sentidos, el más noble puesto que se "aproxima más al intelecto en virtud de la inmaterialidad relativa de su saber."

Esta realidad que Pallasmaa denomina de una manera muy iconográfica "retinalidad" es bien conocida por la historia de la filosofía y viene siendo denominada como oculocentrismo.

El oculocentrismo define esa característica de privilegio de la visión sobre todos los demás sentidos, principalmente perteneciente a las sociedades occidentales contemporáneas pero que está, aún, creciendo en otros lugares. La visión como medio para conocer el mundo que nos rodea se asocia, tal y como hemos visto, al surgimiento de la modernidad.

Fig. F1.08. Escena de la película *Un perro andaluz* (1929) Luis Buñuel y Salvador Dalí. Utilizada en *Los ojos de la piel* de Juhani Pallasmaa en el capítulo "El ocularcentrismo y la violación del ojo".

24. Muchos arquitectos pasan por dos fases distintas. Parece que durante su juventud tienden a conceder más peso a la abstracción y la forma, mientras que con la edad se inclinan hacia una expresión más situacional, material y emotiva (Pallasmaa 2011:226).

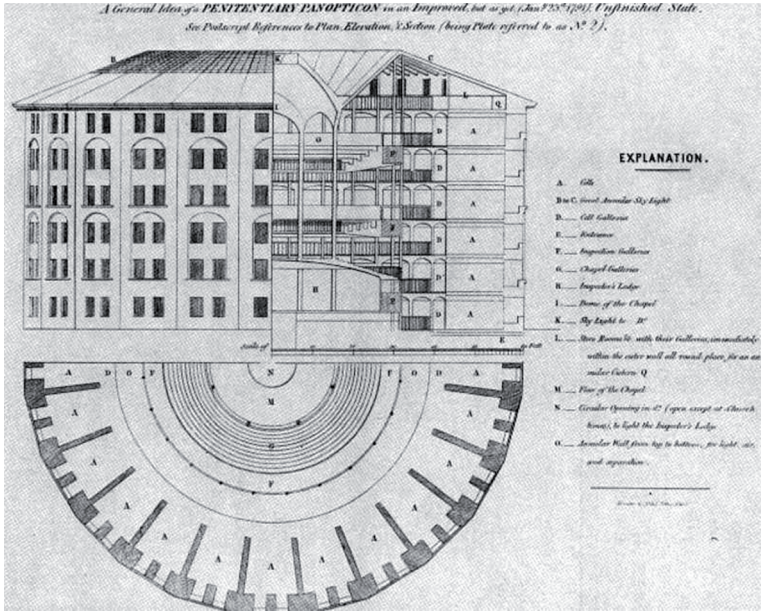


Fig. F1.09. *Le Panoptique* (1780) Jeremy Bentham

Fig. F1.10. *The Arrival of Spring in Woldgate, East Yorkshire in 2011* (2011) David Hockney. Realizado con 52 dibujos de iPad. Guggenheim Bilbao.

Perteneciente a su última etapa que algunos críticos denominan *una visión más amplia*.

25. El panóptico fue ideado por el filósofo utilitarista Jeremy Bentham y publicado por primera vez en su obra "*Le Panoptique*" (1780). El efecto más importante es inducir sobre el encarcelado una sensación constante de visibilidad y vigilancia que garantiza automáticamente la sumisión al poder sin que este se esté ejerciendo de manera efectiva durante todo el tiempo ya que el prisionero no sabe si se le está observando.

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

Ya sea como causa o como consecuencia, la realidad es que la cantidad de imágenes que saturan tanto el ámbito cultural como el social es enorme. Tal y como observa el sociólogo francés Michel Foucault (1926-1984), en su obra "Vigilar y Castigar" (1975), la visión se convierte en una herramienta y en el medio a través del que se ejerce poder sobre la sociedad (Banks 2010:57). Es habitual la referencia al ejemplo que utilizó del panóptico de Bentham[25], diseño carcelario de finales del siglo XVIII, en el que los guardianes pueden ver a todos los presos pero estos no pueden verse entre ellos, ni al vigilante (Fig. F1.09).

Este planteamiento, que a priori parece despectivo en la definición dada por Foucault, no es compartido por todos los investigadores; algunos lo entienden simplemente como un término descriptivo, neutro moral y socialmente. Si bien es cierto, para la mayoría es una crítica, asociada a la vigilancia perpetua de la vida moderna y a la esclavitud que incluso nuestra propia imagen provoca sobre las personas.

Guy Debord, autor cuya importancia ha ido creciendo con el tiempo conforme sus diagnósticos se revelan más pertinentes, en uno de sus textos claves dice que el oculocentrismo es:

> *"el principio del fetichismo de la mercancía, la dominación de la sociedad por cosas suprasensibles aunque sensibles, […] donde el mundo sensible se encuentra reemplazado por una selección de imágenes que existe por encima de él y que al mismo tiempo se ha hecho reconocer como lo sensible por excelencia."* (Debord 1988:10*)*

Toda la sobrecarga de estímulos visuales en la que nos encontramos envueltos da la sensación de habernos convertido en videntes que no pueden ver, ya que la interpretación del mundo a través del ojo puede ser engañosa (Martínez Santa-María 2004:26). Sabemos que la realidad percibida por el cerebro no siempre es fiel reflejo de esa realidad. Hay múltiples ejemplos de imágenes que pueden inducirnos a error. Tal y como afirma David Hockney:

> *"Pensamos que la fotografía es la realidad definitiva, pero no lo es, y la razón es que las cámaras ven geométricamente y el ser humano no. Nosotros vemos geométricamente en parte, pero también psicológicamente. En el momento en el que poso mi mirada sobre ese cuadro de Brahms de la pared, la imagen se hace más grande que la puerta. Así que medir el mundo geométricamente no siempre es veraz."* (Hockney 2012:54*)*

Por otro lado, Pallasmaa, en el ámbito arquitectónico, asevera:

> *"Muchos aspectos de la patología de la arquitectura corriente actual pueden entenderse mediante un análisis de la epistemología de los sentidos y una crítica de la teoría oculocentrista de nuestra sociedad en general, y de la arquitectura en particular."* (Pallasmaa [1996] 2005:21)

Pero, anteriormente a nuestros días, ya hubo críticas entre filósofos de diferentes periodos y orientaciones de pensamiento. René Descartes, que entendía la visión como el sentido más universal y noble –no en vano su filosofía está basada en su dominancia—en realidad ponía al mismo nivel la visión y el tacto. De hecho consideraba a este último como un sentido más certero y menos vulnerable al error que la visión (Levin 1994:4).

Por otro lado, Friedrich Nietzsche, en aparente contradicción con su línea general de pensamiento, acusaba a los filósofos de tener una excesiva confianza en los conceptos abstractos, y la misma cantidad de desconfianza en los sentidos, sin haber aprendido que concepto y palabra son bienes heredados de épocas en que los cerebros andaban muy cegados (Nietzsche [1901] 2009:284).

Durante el siglo XX, muchos autores franceses de corrientes tan diferentes como el estructuralismo, el situacionismo, la fenomenología o el positivismo tuvieron algo que decir al respecto del oculocentrismo. Martin Jay hace un profundo análisis al respecto en *Downcast Eyes – The Denigration of Vision in Twentieth-Century French Thought* (1994) en el que analiza como en medio de una sociedad

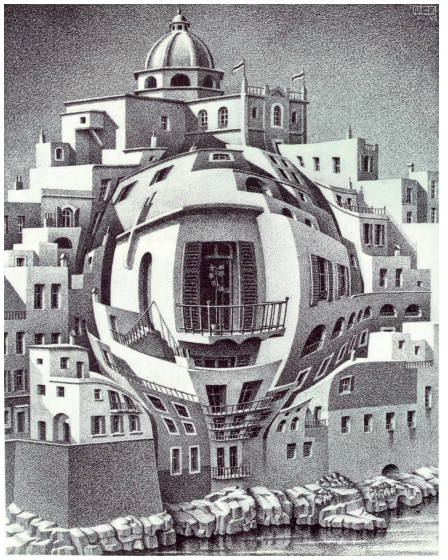


Fig. F1.11. *Balcony* (1945) Litografía. M.C. Escher

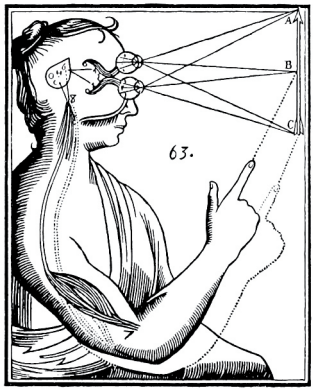


Fig. F1.12. (izq.) Ilustración de René Descartes sobre el *Dualismo*. La información pasa a través de los órganos sensoriales a la pífisis en el cerebro y de ahí al espíritu material.

Fig. F1.13. (dcha.) Ilustración de René Descartes sobre el Dualismo. El fuego (A) daña la piel, lo que supone una amenaza que abre un poro en el ventrículo (F) permitiendo al "espíritu animal" fluir a teavés de un conducto estrecho (C) que infla el músculo de la pierna (B) para retirarla.

Descartes estudió la relación de nuestros sentidos y la adquisión de conocimiento, así como el Dualismo que establece la irreconcialiable diferencia entre lo que nuestros sentidos perciben y la idea abstracta que se forma en nuestra mente, de manera que la idea nunca puede ser reducida a nada físico.

completamente mediatizada por lo visual, muchos pensadores franceses presentaban posiciones contrarias[26]. En concreto Sartre, que se presentaba abiertamente como un detractor del oculocentrismo, prácticamente llegó hasta el punto de desarrollar una "oculofobia", en términos epistemológicos.

Otros pensadores muy influyentes del siglo XX como Jacques Derrida o Martin Heidegger argumentaron, casi de manera profética, que la cultura y pensamiento modernos tenían una prevalencia de la visión que seguiría en auge alcanzando cotas todavía mayores. El filósofo alemán, no negaba ciertas bondades que había traído el desarrollo de la imagen y la cultura visual, pero veía que su omnipresencia generaría una visión del mundo narcisista y nihilista.

No podemos olvidar que Heidegger es un filósofo con un peso específico muy alto en el nacimiento de las concepciones espaciales, sensoriales y vivenciales que promueven las teorías arquitectónicas actuales en las que los espacios deben ser concebidos con la capacidad de generar sentido e identidad al usuario[27].

Por tanto, parece demostrado que en las corrientes de pensamiento a lo largo del siglo XX y especialmente en el XXI, se ha establecido, mayoritariamente, la hipótesis de que nuestra sociedad ha virado hacia una cultura excesivamente centrada y mediatizada por lo visual en detrimento de las percepciones holísticas. Este hecho es completamente trasladable a la arquitectura que suele ser fiel reflejo de la sociedad y contexto en los que se ubica. No en vano, en los ámbitos científicos y de investigación sociológica y antropológica vinculados con ella, durante la última década, se ha trabajado por generar conocimiento científico al respecto de todo aquello que no es estrictamente material[28].

Queda un largo recorrido, mucho que investigar, mucha tecnología que desarrollar y principalmente mucho (casi todo) que implementar al ámbito laboral de la profesión, pero el camino hacia la inclusión de las variables sensoriales en el proceso de diseño de forma consciente está iniciado.

26. En el libro, Jay comenta textos de Henri Bergson, Georges Bataille, Jean-Paul Sartre, Maurice Merleau-Ponty, Jacques Lacan, Louis Althusser, Guy Debord, Roland Barthes entre otros. (Pallasmaa [1996] 2005)

27. Heidegger se hace un lugar entre los arquitectos contemporáneos desde su conferencia de 1951 *Construir, Habitar, Pensar (Bauen, Whnen, Danken)*, publicada en 1952 en *Neue Darmstädter Verlanganstalt*. En el texto incluía frases como "construir es propiamente habitar", "el construir como habitar se despliega en el construir" y "el construir tiene como meta el habitar". Varios autores destacan que, desde la perspectiva de un arquitecto que no conoce la semántica de la filosofía Heideggeriana, rápidamente surgen asociaciones de estas ideas principales con la arquitectura. Sin negar el valor que sus ideas tienen en el campo del diseño, hay que resaltar que Heidegger utilizaba las palabras construir y habitar como conceptos filosóficos con los que intentaba desvelar el ser y todo aquello que es o se nos presenta (Gutiérrez Guiradot 1997:107-108).

28. Desde el año 2008 se creó la *Réseau International Ambiances*. Esta red, que aglutina más de 20 laboratorios a nivel internacional y cerca de 800 investigadores a nivel individual, pretende estructurar y desarrollar el campo de investigación de las *ambiances* arquitectónicas y urbanas. Adicionalmente estructuras de investigación como el labHuman de la Universitat Politècnica de Valencia, al igual que otras universidades españolas, están realizando tareas de investigación dentro de esta área.
Para más información consultar: http://www.ambiances.net/home.html

Las posibilidades de la estética se expanden bajo este punto de vista. La estética del ambiente emerge como un valor fundamental que trae a colación cuestiones importantes sobre la experiencia del entorno. Los planteamientos tradicionales son insuficientes para identificar e iluminar las nuevas aplicaciones del diseño (Thibaud, Siret 2012) y es necesario repensar algunos conceptos que teníamos preestablecidos.

1.3. Ambiente/Atmósfera/Medio/Entorno

> "Toda proposición que podamos entender debe estar compuesta exclusivamente por entidades de las cuales tengamos conocimiento directo."
>
> Bertrand Russel, "The problems of Philosophy" (1912)[29]

La concretización de una realidad compleja en un término no siempre es fácil. Depende de los idiomas, de las situaciones y mayoritariamente de los usos. En el caso del mundo sensorial del espacio que nos envuelve, en francés existe un término específico, *ambiance*. El diccionario de la Academia Francesa lo define como: *Milieu physique, intellectuel ou moral qui entoure un* être *vivant*[30].

En la definición se tienen en cuenta todos los aspectos, los físicos pero también los pertenecientes a esferas no materiales. En el idioma galo, *ambiance*, es un término muy inclusivo que aglutina la existencia de esos diversos planos con una cierta preeminencia, en el uso, hacia lo inmaterial o social.

En español, la traducción literal es *ambiente*. Las dos palabras tienen raíz latina en *ambientis* o *ambire*, que tienen el significado de "alrededor" o "aquello que envuelve"; el prefijo amb- también representa la noción de "a los dos lados". Pero a pesar de tener ese origen común, un análisis detallado revela que la noción francesa puede ser entendida y traducida de modos diferentes en español.

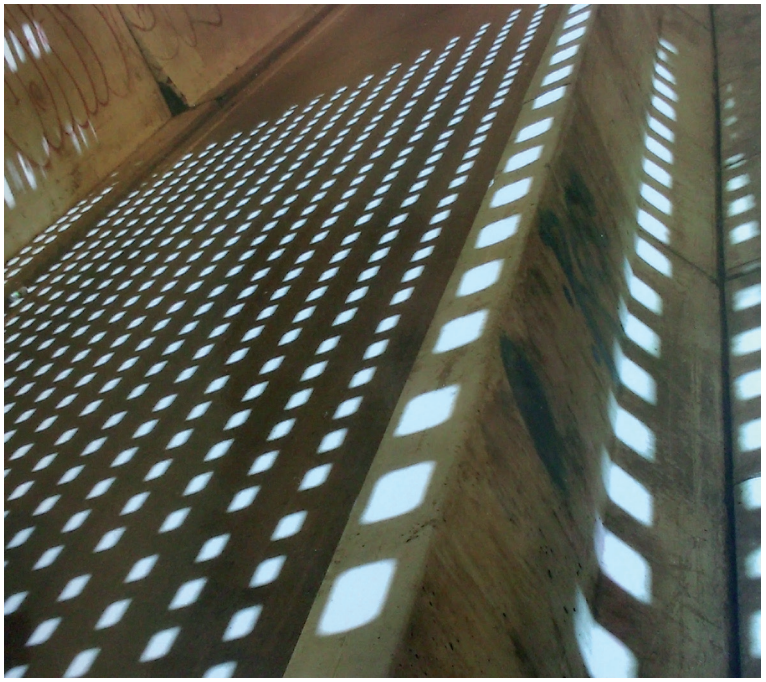


Fig. F1.14. *Fotografía portada. Ambiances in Action, 2nd International Congress on Ambiances. Autor: Daniel Siret.*

29. Russel, Bertrand; 1912. *Los problemas de la filosofía*. Barcelona: Labor incluido en Makuc Sierralta, Margarita; 2010. La noción de significado en Frege, Russel y Wittgensttein: Aproximación filosófica comunicativa del lenguaje en *Logos: Revista de Lingüística, Filosofía y Literatura,* 20(2), pp.42-55.

30. Medio físico, intelectual o moral que envuelve un ser viviente.

Fig. F1.15. (izq.) Portada *Atmósferas* (2006) Peter Zumthtor. Recoge la conferencia titulada "Atmosferas. Entornos arquitectónicos. Las cosas a mi alrededor" pronunciada el 1 de junio de 2003 por el arquitecto suizo en el marco del Festival de Literatura y Música "Wege durch das Land" ["Caminos por el país"].

Fig. F1.16. (dcha.) Foto interior de las Termas de Vals (1993-1996). Vals, Suiza. Peter Zumthor.

31. Este artículo aunque ya se encuentra totalmente redactado, está en proceso de publicación y ha sido facilitado por el autor. Se encuadra dentro de la labor del grupo de investigación "Ambiances en traduction".

32. Son textos básicos en la literatura de las "atmósferas":

Banham, Reyner, 1969. *The Architecture of the Well-temepred environment. Chicago: University of Chicago* ; traducido como *La arquitectura del entorno bien climatizado*. Buenos Aires: Infinito, 1975.

Pallasmaa, Juhani, (1996) 2005. *The eyes of the skin: Architecture and the Senses*. Willey & Sons: New Jersey; traducido como *Los ojos de la piel. La arquitectura y los sentidos.* Barcelona: Gustavo Gili, 2010.

Zumthor, Peter, 2006. *Atmospheres: architectural environments, surrounding objects*; traducido como *Atmósferas. Entornos arquitectónicos – Las cosas de mi alrededor Barcelona: Gustavo Gili, 2009*. (Fig. FA0.15)

Ignacio Requena, en "*Ambiance: traduction en espagnol*"[31], hace un recorrido por los posibles significados que ha tenido la palabra "ambiente" según el uso de autores de diferentes épocas y de las connotaciones en el idioma actual, así como de otras palabras utilizadas habitualmente en traducciones para hacer referencia a conceptos parecidos o relacionados.

Del texto de Requena se extrae que los vocablos *ambiente* y *atmósfera* son los más utilizados en general; pero en escritos con fuerte carga en esta temática, como los de Banham, Pallasmaa o Zumthor[32], se ha recurrido mayormente a *atmósfera* o *entorno*. Destaca también la correlación establecida habitualmente del término ambiente con el pensamiento ecológico debido al uso de la denominación *medio ambiente*.

Jean-Paul Thibaud y Daniel Siret admiten que el análisis y conceptualización de los *ambiances* es un tema complejo, de difícil traslación a palabras en algunos casos. Indican que la investigación en este campo se puede abordar desde perspectivas pragmáticas, constructivistas, fenomenológicas o hermenéuticas y que por tanto se sitúa en la conjunción entre el entorno social y sensorial (Thibaud, Siret 2012:12).

En conclusión, no es posible establecer un único término para referirse al mismo concepto, ni siquiera completamente en francés u otros idiomas, en los que también se han realizado investigaciones sobre traducciones. Por tanto a lo largo de esta tesis se pueden encontrar las diferentes denominaciones recogidas en el título del apartado, pero siempre haciendo referencia al constructo de todas aquellas ideas características que definen un espacio fuera de lo estrictamente formal.

1.4. Percepción ambiental

Una manera de entender el papel que juega el cuerpo en la experiencia (y percepción) del ambiente es describir cualitativamente, y no cuantitativamente, el espacio envolvente (Thibaud, Siret 2012:9). Cuando se ha hecho en la investigación científica, se ha constatado que este se divide en una serie de múltiples ambientes sensoriales todos asociados a una única situación espacial.

Pero la percepción del entorno, que podemos describir como un proceso cognoscitivo de obtención de información, es un fenómeno complejo en el que influyen diferentes factores a diferentes escalas como pueden ser los sentidos (canales de recepción), los procesos fisiológicos y neuronales (medios de transporte) y procesos más complejos como son la predisposición genética, la memoria o la intuición (Fig. F1.17).

Esta "experiencia sensorial consciente" que define Bruce Goldstein es:

> *"…una secuencia de procesos que trabajan juntos para determinar el modo en que experimentamos los estímulos ambientales y reaccionamos ante ellos. […] se divide el proceso en cuatro categorías: estímulo, electricidad, experiencia y acción"* (Goldstein 2006:5)

todas ellas generan, y a la vez se ven influenciadas por, el conocimiento (Fig. F1.18). Es decir que después de la percepción estrictamente fisiológica, entra en acción el sistema límbico, integrador, que determina el efecto emocional del proceso (Fig. F1.19). Junto con la memoria y las sensaciones captadas se establecen unas emociones que, a su vez, permiten realizar una evaluación afectiva. Por tanto estas son resultado de la conjunción, en las regiones límbicas, de la información sensorial y de memoria (Fernández Abascal 1999).

Se podría establecer un discurso amplio y complejo sobre varios de los términos que se han nombrado. ¿Qué es la percepción?, ¿Y la sensación?, ¿Qué relación existe entre la realidad y la imagen que tenemos de ella?, ¿Cómo influye nuestro

Fig. F1.17. Proceso de percepción

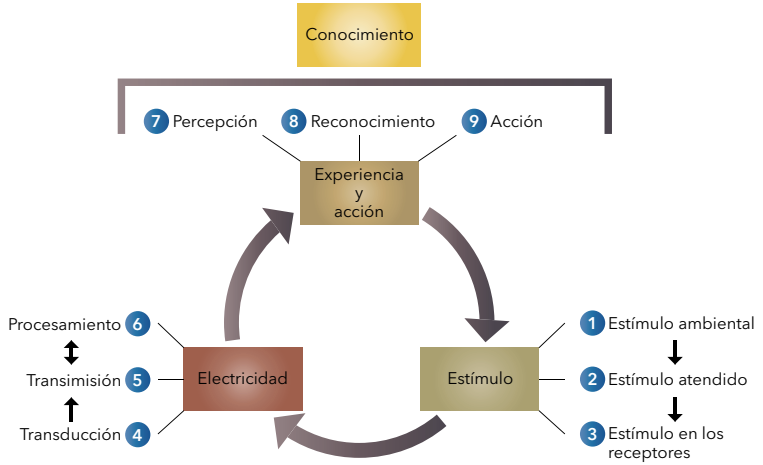


Fig. F1.18. Experiencia sensorial consicente. Bruce Godlstein

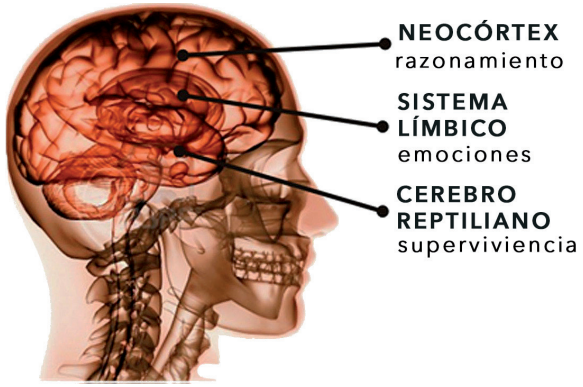


Fig. F1.19. Partes del cerebro humano

Fig. F1.20. *Hand with Reflecting Sphere* (1935) M.S. Escher

cuerpo en la percepción?, ¿Cómo influyen nuestras experiencias en la percepción?, ¿Qué enfoque es el más apropiado para el estudio de la sistemática?

Todas estas preguntas, relacionadas en el fondo con la ontología, ya se las ha planteado la filosofía y la ciencia a lo largo de la historia sin llegar a una respuesta única. Disciplinas como la medicina, la fisiología, la psicología, la psicobiología o la sociología estudian este tema desde puntos de vista diferentes y complementarios.

Sensación – Percepción – Emoción

El significado de los conceptos sensación y percepción sigue, en la actualidad, teniendo diversos significados dependiendo del vocabulario de la disciplina científica que se trate (Guirao 1980:7). En las disciplinas más físicas, se denomina sensación a los procesos de recepción de información mediante los sentidos; y percepción a los procesos de organización y procesamiento de esa información. En la medicina se hace esta diferenciación por la necesidad de poder localizar afecciones a nivel nervioso o neuronal.

Pero la cuestión concreta que plantean muchos autores no es la delimitación de estas dos funciones, sino si realmente es posible separarlas. Por ejemplo, para Vicente Bermejo apenas es posible establecer criterios con los que poder distinguir entre estímulos o reacciones simples (sensación) y complejas (percepción) y además sería muy arbitrario, sin posible fundamento fisiológico, el hecho de separar la actividad de los receptores de la actividad del resto del cerebro. Asevera que hablar de percepción es hablar de sensación y viceversa (Bermejo Fernández 1981:18).

De manera que la sensación o percepción, indistintamente, las podremos utilizar para denominar el nivel básico o primario de la recepción de información. Sólo en un nivel posterior encontramos la emoción, que ocurrirá después de que el objeto (en nuestro caso el ambiente térmico) haya sido percibido/sentido

(1981:19). Así toda la información recibida y procesada, junto con la interacción de la memoria permitirá una evaluación en el ámbito afectivo y como resultado obtendremos una emoción.

La siguiente cuestión que se plantea es si este sistema es biológico o cognitivo. A lo largo de la historia han existido teorías biológicas y cognitivas aunque la tendencia actual es pensar que ambos planteamientos son diferentes visiones de un mismo fenómeno multidimensional. Tres soluciones son las más aceptadas.

La primera, en la que Ross Buck (1985) señaló que los dos sistemas de emoción de los seres humanos funcionan en paralelo. El biológico, innato y primitivo, reacciona de forma involuntaria ante los estímulos emocionales y el cognitivo surge de la experiencia personal y es adquirido, interactivo y social. Ambos son complementarios y no competitivos, trabajando conjuntamente para activar y modular la experiencia emocional. (Fig. F1.21)

Posteriormente, Robert Plutchnik (1985:197-200) dice que este debate es como el "del huevo y la gallina". La contraposición biología-cognición no tiene ninguna utilidad para él y sostiene que la emoción es una cadena de acontecimientos que se retroalimentan de manera que el proceso es dinámico y resulta de varias aportaciones cognitivas y biológicas. (Fig. F1.22)

Finalmente, James Russel y Lisa Woudzia (1986:169-183) opinan que las emociones pueden ser generadas por los sentidos pero también por el pensamiento, cada uno por su lado o de manera conjunta. Los biólogos, etólogos y psicólogos evolutivos y comparativos ven unos matices en el proceso mientras que sociólogos y psicólogos cognitivos y sociales ven otros.

Tanto en el planteamiento de Goldstein (Fig. F1.18) como en estos últimos, se nombran la acción, la interacción, la retroalimentación. Es decir, el sujeto no es simplemente un ente pasivo sino que está activo dentro del proceso de percepción y, por tanto, tiene capacidad de modificación, diversificación y

Fig. F1.21. Proceso sensación - percepción - emoción según Ross Buck.
Define el concepto PRIMES: Primary Motivational Emotional System (Sistema Emocional Motivacional Primario) como filtro retroalimentado del proceso.

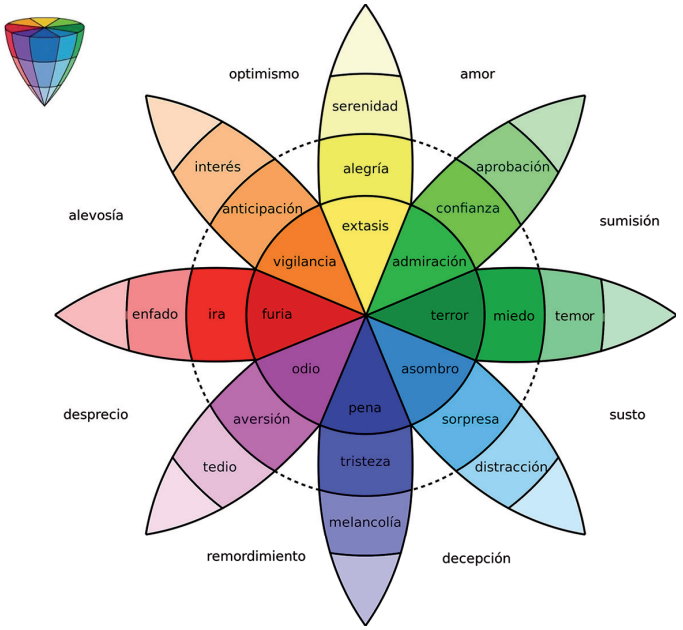


Fig. F1.22. Rosa de las emociones de Robert Plutchnik. La figura está ideada en 3D de manera que existe continuidad entre unas caras y otras.

Fig. F1.22. *La Escuela de Atenas, detalle (1510-1511) Raffael Sanzio. En el centro se sitúan Platón (izquierda) y Aristóteles (derecha)*

cualificación, lo que se torna básico en la percepción del confort tal y como veremos en detalle en el apartado A.3 en el que también trataremos los mecanismos específicos del confort térmico.

Los sentidos

> "Nada hay en la mente que no haya estado antes en los sentidos."
>
> Aristóteles

El estudio de los sentidos y su importancia en el conocimiento aparecen en la historia de la filosofía con las teorías sobre el conocimiento de Aristóteles donde los definía como los receptores de la sensación, fuente básica y primera del conocimiento. Como vemos, el filósofo ya planteó la importancia de los sentidos desde un punto de vista epistemológico; en cualquier caso, en nuestros días sabemos que los sentidos son básicos para el desarrollo cerebral de los niños, para el aprendizaje y para la comprensión de uno mismo y del medio en el que habitamos.

Albert Einstein decía que "el aprendizaje es experiencia, todo lo demás es solo información."

No es posible una organización mental precisa sin una adecuada actividad sensorial, además la actividad cerebral se ve beneficiada por la riqueza y oportunidad de estímulos ambientales (especialmente a edades tempranas)[33]. El proceso de aprendizaje y la inteligencia se ven beneficiados enormemente con la adecuada exposición a conjuntos estimulares ricos y eficaces (Gimeno, Rico et al. 1986:10).

Por consiguiente, es imprescindible, que el arquitecto, en la medida de lo posible, cree entornos donde la experiencia sensorial tenga la posibilidad de ser rica y variable, integrando la estimulación de todos los sentidos en los ambientes

33. Son destacables en este sentido los estudios, y método desarrollado en base a ellos, del médico estadounidense Glenn Doman (1919-2013) sobre la estimulación temprana de los niños para la mejora del aprendizaje.

de la vida cotidiana para que exista la posibilidad de establecer patrones complejos de aprendizaje, se active el pensamiento, se propicie la creatividad.

Los sentidos humanos desde un punto de vista clásico son cinco: tacto, vista, oído, gusto y olfato; ahora sabemos que existen más, pero la investigación no llega a ponerse de acuerdo en cuanto a su número y clasificación.

Inicialmente veremos uno de los sistemas más aceptados y frecuentemente citados, el del neurofisiólogo británico Charles Scott Sherrington (1857-1952)[34], que basa su clasificación en la localización de los receptores sensoriales (Guirao 1980:57). En ella distingue, según su posición y el tipo de información que detecta cada receptor, tres tipos:

- Interoceptores (o viscероceptores): Transmiten sensaciones orgánicas, internas del cuerpo.
- Propioceptores: Informan sobre la posición del cuerpo, de las articulaciones, la tensión muscular, el movimiento lineal y de rotación del cuerpo.
- Exteroceptores (o somáticos): Proporcionan información del entorno.

En este último grupo se encuadran los sentidos clásicos, que quedan recogidos en la tabla T1.01.

Tal y como vemos en la clasificación realizada por Sherrington, y gracias a la investigación llevada a cabo por numerosos científicos, hoy en día se sabe con certeza que los seres humanos tenemos la capacidad de percibir muchas más sensaciones que las ligadas estrictamente a los cinco sentidos clásicos.

La clase de información percibida está habitualmente relacionada con la necesidad de supervivencia y nos aporta conocimiento, no solo del exterior (exterocepción), sino de nuestra relación con el medio y de nosotros mismos (propiocepción e interocepción). Son estos dos grupos los que constituyen los otros sentidos.

SENTIDO	ELEMENTO PERCIBIDO	LOCALIZACIÓN DE RECEPTORES	TRANSMISORES	UBICACIÓN CEREBRAL
VISTA	Color Distancias Formas Planos Relieves	Retina ocular	Nervio Óptico Segundo par craneal	Corteza visual Lóbulo occipital
OIDO	Sonidos – Ruidos Timbre Intensidad Tono Vibraciones sonoras Volumen	Órgano de Corti en el caracol oído interno	Nervio Coclear Rama del nervio vestíbulo-coclear Octavo par craneal	Corteza auditiva Lóbulo temporal Circunvolución temporal superior
TACTO	Frío – Calor Presión Dolor Peso Relieve Vibraciones	Piel y mucosas de continuación de los orificios corporales	Fibras sensitivas específicas	Corteza sensorial Circunvolución postcentral del lóbulo parietal
OLFATO	Olores	Membrana olfativa (Fosas nasales)	Nervio olfativo Primer par craneal	Área olfativa medial y lateral Grupo de núcleos situados en la parte media del cerebro, por encima y delante del hipotálamo
GUSTO	Sabores Dulce – Amargo Salado Ácido	Botones gustativos de las papilas linguales y del velo del paladar	Fibras gustativas de los nervios: Facial (séptimo par) Glosofaríngeo (Noveno par) Vago (Décimo par)	Extremo inferior de la circunvolución postcentral parietal y área opercular-insular de la cisura de Silvio

Tabla T1.01. Sentidos con preeminencia de exteroceptores. Caracterización, localización de receptores y área central de la percepción (Gimeno, Rico et al. 1986)

34. Existen múltiples clasificaciones de los sentidos. Se ha escogido la de Sherrington (premio Nobel de Medicina en 1932) puesto que varios autores le hacen referencia o la toman como base, en sus estudios: Vicente Bermejo Fernández, Eliezer Braun o Miguelina Guirao, por ejemplo.

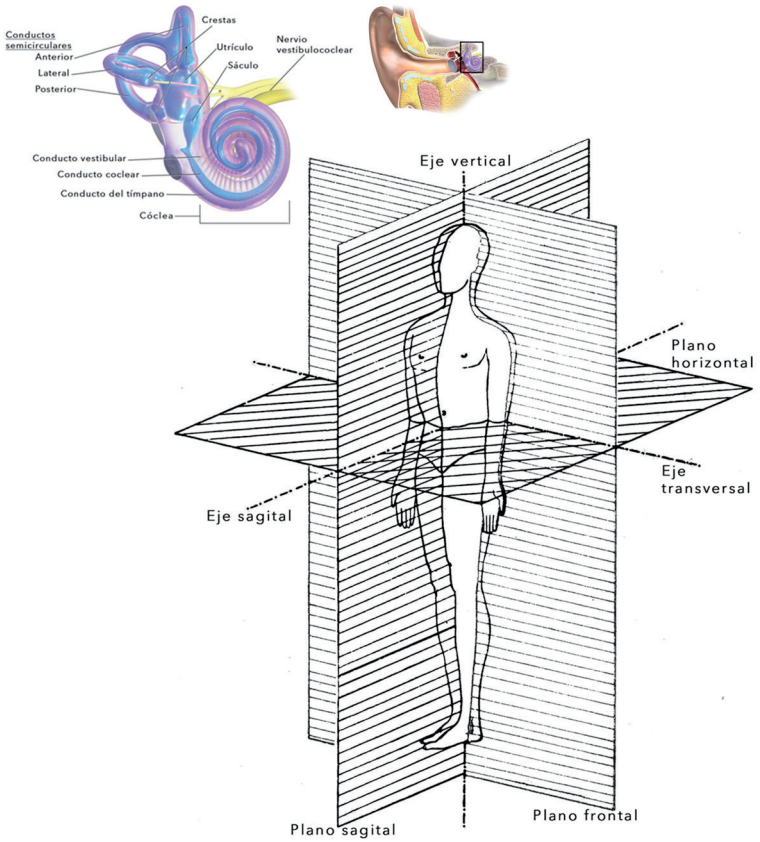


Fig. F1.23. Planos y ejes de rotación del sistema de equilibrio y orientación espacial.

35. El cerebelo, también denominado "cerebro reptiliano" es el encargado del control de acciones automatizadas. Algunas de ellas vienen programadas genéticamente como la respiración o el latido del corazón, y otras se aprenden. Actividades como el habla, andar o incluso conducir, en el momento en el que se automatizan pasan a estar controladas principalmente por el cerebelo.

Los propioceptores son terminaciones nerviosas situadas en los músculos, tendones, ligamentos y articulaciones, así como en el oído. Las sensaciones percibidas a través de ellos se dividen por un lado en cinéticas o motoras y por otro en estáticas/dinámicas.

En el primer grupo se incluyen todas las sensaciones motoras relacionadas con actividades automatizadas y cuya realización se encuentra dirigida principalmente por el cerebelo[35]. Permiten detectar el movimiento y la posición relativa de las partes del cuerpo, así como generar movimientos inconscientes. Las sensaciones recibidas por este canal dan lugar a actividades motoras como los reflejos, el control de articulaciones, la postura global del cuerpo y la parte física del habla. Esto explica que podamos rascarnos en zonas del cuerpo que no vemos, que movamos los brazos al andar de manera inconsciente o incluso que podamos hablar, actividad que requiere de una coordinación muy precisa de varias estructuras musculares y mucosas complejas como son las cuerdas vocales, la lengua, el paladar y los labios.

El segundo grupo es el relativo a la orientación espacial. El órgano que permite recibir estas sensaciones está situado en el oído interno, se denomina aparato vestibular y está compuesto por el utrículo, el sáculo y los conductos semicirculares. Esta estructura compleja permite tener sensación de equilibrio estático o dinámico gracias a que el utrículo y el sáculo reaccionan a la gravedad o aceleración lineal, en tanto que los conductos semicirculares registran la dirección y grado de aceleración rotativa (Schiffman 1981:69). Estos conductos están dispuestos de manera que conforman un triedro trirrectángulo, con lo que cada uno está especializado en el registro de giros en cada plano, y así la combinación de las tres informaciones da la sensación real (F1.23).

Los interoceptores procesan información de procesos que se desarrollan internamente. Se sitúan en el aparato digestivo, de respiración, urogenital, etc. Son los responsables de las sensaciones de sed, hambre, dolor interno, entre otros.

¿Dónde se sitúan las sensaciones concernientes a la temperatura? Según se observa en la tabla T1.02, en la piel. Para entender mejor el funcionamiento de sensación térmica tenemos que recurrir a otra clasificación diferente, que complementa a la anterior[36]. Se distingue, según el tipo de estímulo que detecta cada receptor, cinco tipos:

- Mecanorreceptores: Transmiten la información cuando sufren una deformación mecánica (presión, tacto)
- Termorreceptores: Captan variaciones de temperatura (calor y frío)
- Nociceptores: Captan estímulos de dolor
- Fotorreceptores: Captan la luz
- Quimiorreceptores: Detectan sustancias químicas (olfato y gusto)

36. Información extraída de Testut, L.; Latarjet, A, 2004. Compendio de anatomía descriptiva. Madrid: Elsevier España.

CLASIFICACIÓN SENTIDOS HUMANOS				LOCALIZACIÓN RECEPTORES	ESPEIFICIDAD RECEPTORES	ESTRUCTURA SENSORIAL	ESTÍMULOS EFECTIVOS INFORMACIÓN OBTENIDA
Sentidos específicos	Gusto			Exteroceptores	Quimiorreceptores	Papilas gustativas Lengua	Composición química sustancias ingeridas, Dulce - Amargo - Salado - Ácido - Umami
	Equilibrio			Propioceptores	Mecanorreceptores	Aparato vestibular	Fuerza de gravedad, Posición y movimiento respecto al entorno
	Oído			Exteroceptores	Mecanorreceptores	Oído interno Órgano de Corti	Ondas sonoras
	Olfato			Exteroceptores	Mecanorreceptores Quimiorreceptores	Membrana olfativa Pituitaria	Composición química de sustáncias volátiles
	Visión			Exteroceptores	Fotorreceptores	Ojos	Luz, Ondas visibles
Sentidos generales	Sensaciones viscerales			Interoceptores	Mecanorreceptores Nociceptores	Tejidos internos	Sensaciones internas: Hambre, Sed, Ganas de orinar, etc.
	Sensaciones somáticas	Táctiles	Tacto	Exteroceptores	Mecanorreceptores	Piel	Deformación del tejido, Contacto con superficies
			Presión	Exteroceptores	Mecanorreceptores	Piel	Deformación continuada del tejido, Contacto con superficies
			Vibración	Exteroceptores	Mecanorreceptores	Piel Músculos	Deformación rítmica del tejido, Contacto con superficies
			Picor	Interoceptores	Quimiorreceptores	Piel	Sensación interna, Inflamación o comezón en tejidos
			Cosquillas	Interoceptores	Mecanorreceptores	Piel	Deformación del tejido, Contacto en zonas concretas
		Térmicas	Frío	Exteroceptores	Termorreceptores	Piel	Reducción de temperatura, El cuerpo cede calor al exterior
			Calor	Exteroceptores	Termorreceptores	Piel	Aumento de temperatura, El cuerpo recibe carga térmica
		Dolor		Interoceptores	Nociceptores	Piel Tejidos internos	Estímulos dolorosos, Asociados generalmente a daño en tejidos
		Propioceptivas		Propioceptores	Mecanorreceptores	Músculos Tendones Articulaciones	Configuración de articulaciones, Estiramiento de fibras musculares

Tabla T1.02. Clasificación de los sentidos

De este modo combinando las características de localización y especialización de los receptores se pueden definir dos categorías de modalidades sensoriales: sentidos especiales (que tienen un órgano específico y único) y sentidos generales (que se encuentran "deslocalizados")[37].

Por un lado, son sentidos especiales la vista, el olfato, el gusto, el oído y el equilibrio. Por el otro, los sentidos generales se dividen en dos grupos: los viscerales y los somáticos.

Las sensaciones viscerales nos informan del estado de los órganos internos, son las mismas que las producidas por los interoceptores.

Las sensaciones somáticas surgen de la estimulación de receptores incluidos en la piel o tejido subcutáneo. Se caracterizan por tener una distribución irregular a lo largo de nuestro cuerpo, ya que abundan en unas partes y escasean en otras. Las zonas con mayor densidad de receptores de este tipo son la punta de la lengua, los labios y la yema de los dedos de la mano. Entre las sensaciones somáticas se incluyen las táctiles, las térmicas, el dolor y la propiocepción.

Centrando el discurso en las dos primeras, que tienen mayor relación con los temas tratados, podemos indicar que las sensaciones táctiles son cinco: tacto, presión, vibración, picor y cosquillas. Se obtienen mediante los mecano-rreceptores que se especializan en dos grupos de adaptación lenta y rápida.

Los termorreceptores son terminaciones nerviosas libres cuyo campo receptivo está en la superficie de la piel y se concentran en la cara y las manos. Transmiten sensación de calor y frío. Tienen una capacidad de respuesta rápida al inicio del estímulo, pero bajo estimulaciones constantes, prolongadas, continúan generando impulsos de menor frecuencia que nos permiten tener constancia en todo momento de la sensación térmica. Este sentido también se denomina criostesia.

37. Esta clasificación tiene también una base eminentemente neurofisiológica. Los sentidos generales se caracterizan por ser percibidos por fibras nerviosas no específicas – mientras que los especiales si las tienen. Estas entran en la médula por la parte dorsal de los nervios espinales y tanto sus fibras aferentes como su sistema de conexión desde los receptores hasta los cuerpos neuronales de las diferentes partes del cerebro sigue un camino diferenciado del de los impulsos de los sentidos especiales.

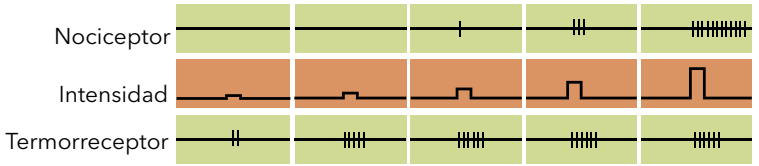


Fig. F1.24. Respuesta frente a estímulos de incremento de temperatura. Los termoreceptores tienen un umbral superior a partir del cual no aumentan su respuesta y entran en juego los nociceptores.

Cuando las temperaturas son extremas (por debajo de 10ºC y por encima de 48ºC), entran en juego los nociceptores (receptores el dolor) y no los termorreceptores (Fig. F1.24).

Los termorreceptores son distintos para la sensación de frío y calor (Fig. F1.25). Los receptores de frío, más numerosos y más superficiales, se localizan en el estrato basal de la epidermis, son conocidos como los corpúsculos de Krause y están unidos a fibras A mielínicas. Los del calor, denominados corpúsculos de Ruffini, se sitúan en la dermis, conectados a fibras C mielínicas[38].

La respuesta de los termorreceptores no sigue una ley uniforme y las curvas de respuesta[39] se superponen en ciertas zonas, desaparecen y reaparecen (Fig. F1.26). Esto permite pensar que incluso la denominación de termorreceptores fríos y calientes es discutible (Serra Florensa, Coch Roura 1995:77).

Por todo esto, en la percepción de la temperatura, es muy importante la información adicional aportada por otros sentidos y por la educación. En la tabla T1.02 donde se resumen las dos clasificaciones, podemos observar que la piel, además de registrar las sensaciones térmicas pone en juego gran variedad de sensaciones. Es decir, el tacto entendido en su sentido más amplio es un canal muy importante de recepción de información del exterior y de nosotros mismos.

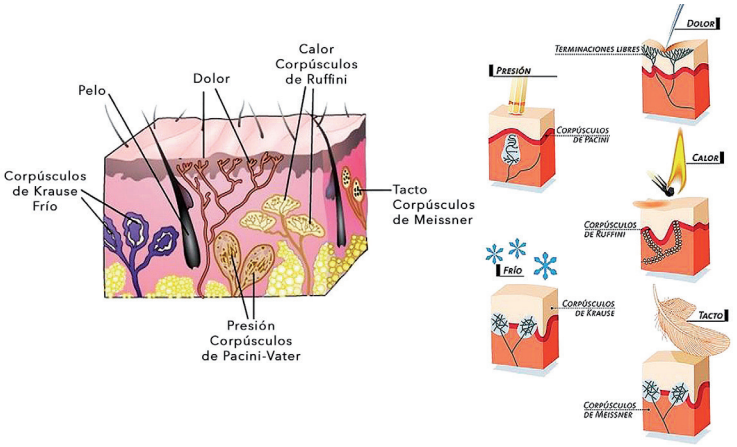


Fig. F1.25. Receptores nerviosos cutáneos

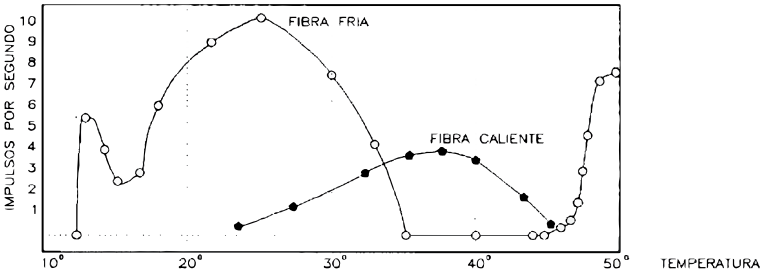


Fig. F1.26. Intensidad de respuesta de los termorrecpetores en función de la temperatura.

38. Las fibras mielínicas son en definitiva prolongaciones nerviosas. La denominación A o C, depende de su capacidad de conducción eléctrica y por tanto de la velocidad con la que transmiten el impulso de información. Las fibras C son de conducción lenta, inferior a la rapidez de conducción de las fibras A.

39. En su estudio, Serra y Coch, analizan los sentidos a nivel energético mediante la ley Weber-Frechner que refleja su comportamiento de respuesta según una distribución logarítmica. En intensidades bajas de energía, se perciben las variaciones, pero en intensidades altas, es necesaria una mayor variación para que sean perceptibles.

La percepción espacial corresponde, no solo a la vista, sino también a los estímulos recibidos por la piel y los músculos, considerados también receptores a distancia por su interrelación con los ojos (Hall [1966] 2003:73)[40].

Serra y Coch, no mencionan la piel como órgano que nos permita percibir el espacio pero sí el oído. Ambos sentidos se complementan de manera que la información acústica nos permite evaluar características del espacio que la vista no percibe y además tienen campos perceptivos que se complementan (1995:77). La audición soluciona en parte la limitación sobre el plano trasero que tenemos los humanos por la distribución frontal de nuestros ojos.

En definitiva, vista, oído y tacto están muy relacionados con la materialidad. Si el sentido de materialidad está debilitado por el oculocentrismo, tratado anteriormente, entonces queda excluido y, por tanto, se pierde gran parte de la sensibilidad; esa sensibilidad global mediante la cual percibimos el ambiente, no sólo por lo que vemos, sino por la profundidad, la distancia, la temperatura viene denominándose hapticidad.

Hapticidad

La palabra hapticidad no está recogida en el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua. De hecho, en el ámbito de la química inorgánica, este término es utilizado para describir cómo un grupo de átomos se ordenan y coordinan de una determinada forma alrededor de un átomo central y es opuesto a denticidad[41].

En nuestro caso el término hapticidad, aunque puede que fuera utilizado anteriormente, adquiere relevancia en el mundo de la arquitectura y el diseño desde la publicación del libro, en 1996, *"The Eyes of the Skin. Architecture and Senses"* de Juhani Pallasmaa[42]. El origen de la palabra es griego, de la raíz *haphé*, que significa "tocamiento", "tacto". También parece ser origen de *happer*, voz

40. Edward Hall fue el primero en identificar el término proxémica, que define el espacio necesario que emplea el hombre en sus diferentes actividades y relaciones interpersonales. El término proxémica no está recogido en el Diccionario de la Real Academia Española de la Lengua.

41. Ver definición: https://es.wikipedia.org/wiki/Hapticidad

42. El libro se publicó por primera vez en 1996. En la introducción de la edición inglesa de 2005 Pallasmaa admite sorprenderse de la difusión y trascendencia que ha alcanzado su libro. (Pallasmaa [1996] 2005:10)

francesa que quiere decir "apoderarse de", significado muy acorde con el planteamiento de Pallasmaa[43].

En su escrito, el arquitecto y crítico finlandés, utiliza el vocablo como sinónimo de tacto y probablemente pretende añadir, en el uso de una palabra con una connotación poética, todas las sensaciones que, en una persona, puede evocar la textura, la materialidad, las superficies, la temperatura; no sólo al tocarlas sino al verlas y experimentarlas como componentes definidores de un espacio.

En la edición inglesa de 2005, que contiene prefacio de Steven Holl y una nueva introducción del autor, Pallasmaa indica que su escrito había surgido como una serie de reflexiones personales y que finalmente después de diez años:

> *Mi asunción de que el papel del cuerpo como locus de percepción, pensamiento y consciencia, y la significancia de los sentidos en la articulación, almacenaje y procesamiento de las respuestas sensoriales y los sentidos, se han fortalecido y confirmado.* (Pallasmaa [1996] 2005:9-10)

La vivencia de un espacio arquitectónico es esencialmente multisensorial y simultánea, y la percepción del ambiente es habitualmente una entidad compleja. Pallasmaa, en referencia a la percepción del espacio desde un punto de vista multisensorial, opina que un entorno boscoso, y un ricamente modelado espacio arquitectónico, proveen de múltiples estímulos a la visión periférica. Para él, el reino sensorial preconsciente que se experimenta fuera de la esfera de la visión enfocada, es tan importante como la imagen enfocada. Y apunta que, hay evidencia médica de que la visión periférica tiene una prioridad mayor en nuestros sistemas perceptivo y mental. (Pallasmaa [1996] 2005:13).

En conclusión, una arquitectura plenamente concebida y pensada debe partir de un diseño polisensorial que defina espacios sensibles, que tenga en cuenta los parámetros de confort humano y que deje de lado los planteamientos que generan una "arquitectura de alienación"[44].

Fig. F1.27. *Los amantes* (1928) René Magritte. Un imágen de detalle de este cuadro es utilizada en *Los ojos de la piel* de Juhani Pallasmaa en el apartado "Arquitectura retiniana y la pérdida de la plasticidad". Aquí Pallasmaa habla de la supresión de la vista en estados emocionales acentuados y de pensamiento profundo.

43. En el escrito: Burette, M., 1783. "Primera disertación. Sobre los Atletas" incluido en *Disertaciones de la Academia Real de las Inscripciones y Buenas letras de París. Traducidas del idioma Francés, Tomo II.* Madrid: Don Antonio de Sancha, p. 43; se indica que los Atletas griegos se cubrían las manos de polvo para poder hacer presa a sus Antagonistas y que ese polvo palestino recibía el nombre de *haphe* que quiere decir "tocamiento". Además se indica que podría muy bien derivarse la voz francesa *happer*, que significa "apoderarse de".

44. Término utilizado por Juhani Pallasmaa, en el libro citado, en referencia a la arquitectura oculocentrista. (p.45)

Bajo el planteamiento de Pallasmaa, el interés por la función y la forma, deben dejar paso a una creación consciente de lo inconsciente, a un diseño que ponga en el centro al hombre como un ser emocional y no como una máquina funcional. En su crítica apunta directamente al paradigma visual generado por la arquitectura moderna (y del movimiento moderno) y como ejemplo recoge algunas frases de escritos de Walter Gropius:

> *"He (the designer) has to adapt knwoledge of the scientific facts of optics and thus obtain a theoretical ground that will guide the hand giving shape, and create an objective basis."* (Gropius 1956:15-25)[45]

También de Lázsló Moholy-Nagy:

> *"The hygiene of the optical, the health of the visible is slowly filtering through."* (Moholy-Nagy 1925 en Sontag 1973:96) [46]

45. "(el diseñador) debe adaptar el conocimiento de los hechos científicos de la óptica y entonces generar una base teórica que guiará su mano en la creación de formas, creando una base objetiva."

46. "La higiene de lo óptico, la salud de lo visual va poco a poco empapando"

Fig. F1.28. *CH for R1 Space Modulator* (1942) Lázsló Moholy-Nagy. *Colección Hattula Moholy-Nagy.*

En el periodo 1922-1936, Moholy-Nagy mejoró la técnica del "fotograma" empezando a utilizar objetos semi-trasparentes que refractaban la luz y añadiendo luz natural y flashes al mismo tiempo.

También utilizaba largas exposiciones con las que inicialmente fotografiaba máquinas en movimiento y que le permitieron posteriormente captar la luz en movimiento, realizando las primeras obras de la denominada "pintura de luz".

Así sus fotos registraban atmósferas no estáticas como hacian los pintores del cubismo y el surrealismo.

Fig. F1.29. Fotografía periodo 1922-1936, detalle. Lázsló Moholy-Nagy.

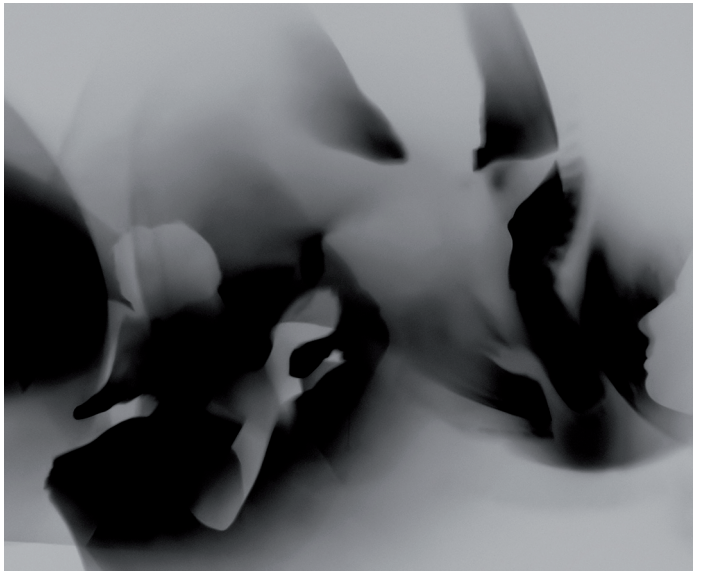


Fig. F1.30. Fotografía periodo 1922-1936, detalle. Lázsló Moholy-Nagy.

Y, por supuesto, de Le Corbusier:

> *"I exist in life only if I can see."* (1930:23*)*
>
> *"I am and I remain an impenitent visual – everything is in the visual."* (Crosset 1987:115*)*
>
> *"One needs to clearly see in order to understand"(Le Corbusier 1930)*
>
> *"…I urge you to open your eyes. Do you open your eyes? Are you trained to open your eyes? Do you know how to open your eyes; do you open them often, always, well?"* (1930:251)
>
> *"Man looks at the creation of architecture with his eyes, which are five feet six inches from the ground."* (Le Corbusier [1922] 1977)
>
> *"Architecture is a plastic thing. I mean by plastic what is seen and measured by the eyes."* ([1922] 1977:175)[47]

En cierto modo, el análisis de Pallasmaa tiende a ser polarizado puesto que si analizamos detalladamente la historia de la Bauhaus, en la que se incluyen Gropius y Moholy-Nagy, veremos que su relación con científicos de la época que estaban entusiasmados con la posibilidad de mejorar la salud humana, así como las condiciones ambientales de vida, era directa. De hecho, por un lado, el diseñador húngaro es considerado uno de los primeros en introducir la ecología en el mundo del diseño. Por otro, Julian Huxley, biólogo y ecologista inglés que estudió el diseño ecológico, fue amigo íntimo de Gropius, e influyó profundamente en su pensamiento funcionalista[48] (Anker 2010:3).

Si bien es cierto, con respecto a Le Corbusier, Pallasmaa admite:

> *…en cualquier caso tenía un gran talento artístico para dar forma, y un tremendo sentido de la materialidad, la plasticidad y la gravedad, lo que previno su arquitectura de convertirse en un reductivismo sensorial. […] la mano tenía un papel casi fetichista al*

47. "Yo no existo en la vida sino a condición de ver"

"Soy y seré un visual impenitente – todo yace en lo visual"

"Es necesario ver claramente para entender"

"Te urjo a que abras tus ojos. ¿Abres los ojos? ¿Estás entrenado para abrir tus ojos? ¿Sabes abrir tus ojos, los abres a menudo, siempre, bien?

"El hombre observa la creación de la arquitectura con sus ojos, que se encuentran a cinco pies y seis pulgadas sobre el suelo"

"La arquitectura es plástica. Plástica es aquello que se ve y se mide con los ojos"

Traducciones hechas por el autor

Todas las citas extraídas de (Pallasmaa [1996] 2005:27). Cuando en la cita no se incluye la página el autor original tampoco la incluye.

48. En el centro de esta discusión se sitúa la concepción por parte de los arquitectos de la Bauhaus de la palabra "funcionalismo"

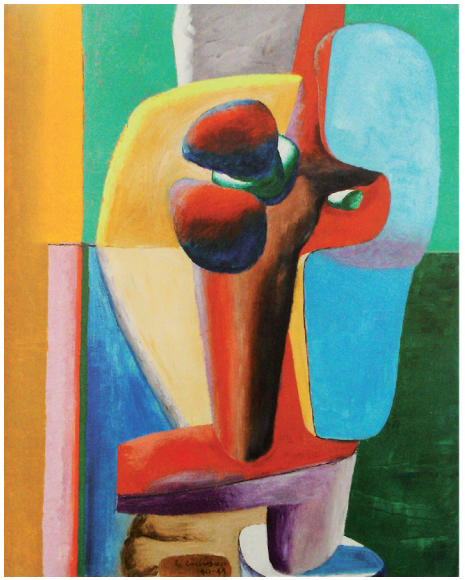
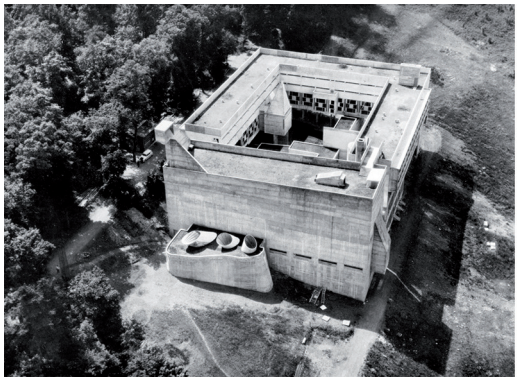


Fig. F1.31 (izq.). *Ubu IV* (1940-1944) Le Corbusier.
Fig. F1.32 (dcha.) Totem (1950) Le Corbusier.



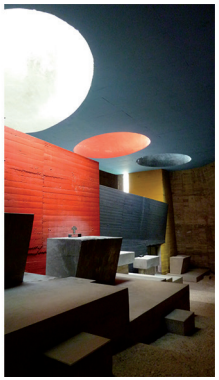


Fig. F1.33 (izq.). *Monasterio Sant Marie de La Tourette (1953)* Le Corbusier. Vista aérea.
Fig. F1.34 (dcha.) *Idem*. Interior cripta.

> *igual que el ojo. Una tactilidad vigorosa está presente en los bocetos y pinturas de Le Corbusier, y su habilidad háptica estaba incorporada en su visión de la arquitectura. Aun así, su tendencia reductiva devino devastadora en los proyectos urbanísticos.* (1996:30)

Además, releyendo la obra del maestro suizo, encontramos referencias que parecen apoyar los postulados sensoriales de Pallasmaa:

> *La arquitectura tiene que establecer, con materias primas, relaciones conmovedoras.*
>
> *La arquitectura está más allá de las cosas utilitarias.*
>
> *[…]*
>
> *La pasión hace un drama de las piedras inertes.* (Le Corbusier [1922] 1977:XXXI)

Resulta obvio, por tanto, que Le Corbusier, en realidad, nunca olvidó las variables sensoriales en ninguna de sus facetas, tampoco en la arquitectura. Otra cuestión es el peso teórico en sus escritos, la búsqueda de la perfección y la escala de la mayoría de sus trabajos. No podemos olvidar que, hasta en las viviendas unifamiliares, proyectualmente, buscaba y ensayaba la resolución de problemas de la época, como la generación de tipologías que permitieran seriación y agrupación de unidades habitacionales.

Finalmente, en el texto de Pallasmaa, se hace referencia a la mano, casi como objeto fetiche, y a la tactilidad en el dibujo de Le Corbusier. Esto es cierto, pero hemos de ir todavía más allá, no se puede pasar por alto tampoco el oído. En el campo artístico – aunque influyó en el arquitectónico como siempre ocurría–Le Corbusier tuvo una etapa denominada *le periode acoustique* (Figs. F1.31 y F1.32), en la que no solo adoptó formas sinuosas similares a las de la oreja sino que sentó la base para la concepción del *espace indicible* (espacio intangible). Con el mismo título, publicó un artículo en un número especial de *L'Architecture*

d'ajourd'hui[49] en el que desarrolla la idea de una psicofísica del espacio donde todos los sentidos resuenan juntos dentro de un dominio unificado por la armonía de las proporciones (Migayrou, Cinqualbre 2015). Este espacio *indicible,* lo expresó también, según el caso, con otros vocablos: "espacio poético", "cuarta dimensión" o "acústica visual"(De Smet 2002:159).

Confort térmico

En el ámbito polisensorial se encuentra sin duda la idea de confort y más concretamente la de confort térmico. Como ya vimos, además este campo de la percepción tiene fuerte implicación en el consumo energético y de ahí, no solo por su actualidad en términos estéticos, que se sitúe en el centro de una de las problemáticas que afronta la teoría y práctica arquitectónica en nuestros días.

No obstante, a lo largo de la historia, la idea de confort ha ido variando y tomando distintos significados. Witold Rybczynski en su libro *Home, a Short History of an Idea* (1989)[50] centra su estudio en el confort doméstico y en la idea de casa; explora como el confort es un concepto poliédrico relacionado con el desarrollo histórico de ideas como privacidad, domesticidad, eficiencia, facilidad, austeridad, comodidad, etc. En el recorrido histórico, establece que, en el siglo XVII el confort (antes no hay una idea conformada), empezó a ser sinónimo del derecho a una vida privada lo que hizo surgir la idea de intimidad y engendró la concepción actual de vida familiar (1989:247).

Posteriormente, en el siglo XVIII, con la aparición de la burguesía, la casa se hace más grande y en ella habitan menos personas lo que modifica completamente la atmósfera reinante (ibíd. 1989:89). La casa ya no es solamente abrigo contra los elementos o un refugio frente a los intrusos – aunque sigan siendo funciones importantísimas—sino que ha pasado a ser un verdadero hogar. Se privilegian entonces el placer y el bienestar.

49. El artículo es: Le Corbusier, "L'espace indicible", *L'Architecture d'Aujourd'hui* n° especial "Arte" fuera de numeración, nov-dic 1946, p. 9-10.

50. El libro en francés tiene el título: *"Le confort"*

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

En este siglo, destaca el papel de Jacques François Blondel (1705-1774); escribió *Architecture Françoise* (4 volúmenes, 1752 - 1756) donde exponía sus ideas arquitectónicas claramente basadas en el neoclasicismo y apoyaba la máxima vitruviana *venustas, firmitas* y *utilitas*; pero él la tradujo como *beauté, solidité et commodité*. Utilizó la palabra comodidad o conveniencia, en vez de utilidad. Y es que la concepción primera de confort era todo aquello que convenía o estaba adaptado para el hombre, distinguiéndolo de aquello que estaba basado únicamente en principios estéticos (belleza) o impuesto por necesidades estructurales (solidez) (ibíd. 1989:93-94). Adicionalmente Blondel, en su tratado, distinguía tres tipos de estancias en los edificios, los *appartements de parade, appartements de societé* y *appartements de commodité*[51]. En estos últimos era donde los dueños resolvían cuestiones personales, recibían a familia y amigos y tenían una mejor protección en inverno; de hecho gracias a sus pequeñas dimensiones en comparación con los otros estarían mucho mejor calefactados.

En el siglo XIX, el concepto basó su significado en la calidad y comportamiento de los elementos en los que intervenía lo mecánico: luz, calor y ventilación. John James Stevenson en *House Architecture* (1880) dice:

> *Il nous faut maintenant de tenir en compte de toutes les installations d'une maison dont le fonctionnement dépend de forces motrices de toute nature – telles que le chauffage et les conduits de chemines, la ventilation, l´éclairage, l´approvisionnement en eau chaude et froide, les égouts, les sonnettes, les tuyaux acoustiques et les ascenseurs. C´est de l´aménagement adéquat de tous ces éléments que dépend en grande partie le confort d´une maison*[52]. (Stevenson 1880:229)

Durante el siglo XX, primó lo práctico y funcional. Entre los años 1898 y 1901, Frederick Winslow Taylor (1856-1915), ingeniero y economista de Philadelphia, mientras trabajaba en una acería decidió buscar como mejorar las condiciones de los trabajadores, no por su salud, sino para mejorar la eficacia en los procesos de producción y con simples medidas como la reordenación de los tiempos de

51. Apartamentos de paso, apartamentos de sociedad y apartamentos de comodidad/conveniencia

52. Debemos, ahora, tener en cuenta todas las instalaciones de una vivienda donde el funcionamiento depende de las fuerzas motrices de su naturaleza – tales como la calefacción y los conductos de chimeneas, la ventilación, la iluminación, el suministro de agua caliente y fría, el saneamiento, el timbre, las conexiones acústicas y los ascensores. Es la planificación adecuada de todos estos elementos de la que depende en gran parte el confort de una vivienda.

descanso, la mejora de herramientas y de distribución de los puestos de trabajo, consiguió resultados espectaculares.

Este planteamiento muy racional de confort vinculado a la eficiencia de procesos y para la mejora de servicios caracteriza la era de la revolución industrial. Con el desarrollo, en las tres primeras décadas del siglo pasado, de la tecnología del aire acondicionado, se vislumbró la posibilidad de establecer un control total de la climatización interior. Como decíamos, en principio se buscaba eficiencia de procesos de producción en edificios industriales, pero rápidamente se extendió a edificios públicos (salas de cine, teatros, tiendas), gracias a que garantizaba su completa ocupación en periodos calurosos. Definitivamente, acabó llegando a la edificación residencial, en las grandes ciudades de Estados Unidos, de manera generalizada después de la Segunda Guerra Mundial.

Por ende apareció la necesidad de definir cuál era el ambiente térmico óptimo, es decir fijar los umbrales del confort térmico. Pero la tarea, que *a priori* pudiera parecer sencilla, no se basa en buscar una temperatura de confort. La percepción de la temperatura y del confort higrotérmico es mucho más compleja y ahora lo sabemos gracias a toda la labor investigadora que se realiza. Vemos su funcionamiento y los distintos planteamientos en detalle en el apartado A.3 del presente capítulo.

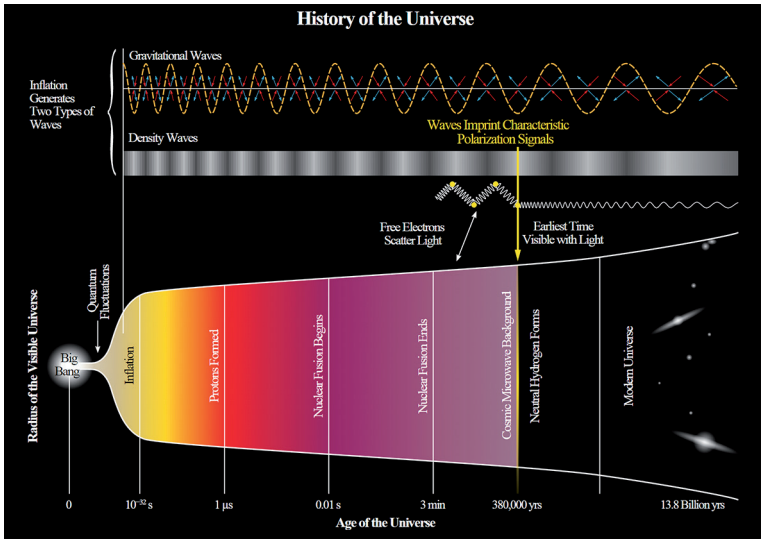


Fig. F1.35. Esquema "Historia del Universo". Desde el inicio del universo hasta nuestros días todas las fases por las que ha pasado pueden ser descritas en términos energéticos y de temperatura.

1.5 Estética termodinámica

> The origin of the universe is described entirely, and only, in terms of temperature.
>
> M. S. Turner (2009)[53]

En las décadas de los setenta y los ochenta, advino la crisis definitiva del movimiento moderno y el postmodernismo intentó abandonar la abstracción totalitaria anterior y dotar la arquitectura de un significado entendible para los usuarios, así como de espacios, que no solo fueran funcionales, sino que

53. Turner M.S., 2009, "The origin of the Universe. Cosmologists are closing in the ultimate processes that created the universe", *Scientific American Magazine,* 301, pp. 36-43 en ONG, Boon Lay, 2012. "Ecology and the Aesthetics of heat, Ambiance in action, Proceedings of the 2nd international congress on ambiances, pp. 129-134.

Fig. F1.36. Portada *Von material zu Architektur (1929)* Lázsló Moholy-Nagy.

54. En 1964, Bernard Rudofsky escribe *Arquitectura sin Arquitectos*, en el que evidencia que la arquitectura vernácula tenía valores propios, tanto estéticos como funcionales, que debían ser considerados por los arquitectos.

55. El apelativo, estilo internacional asimilado a movimiento moderno, tomó fuerza a partir de una exposición que tuvo lugar en el MoMA en 1932, organizada por Henry-Russel Hitchcok y Philip Johnson. En realidad las obras fueron escogidas mayormente por sus características formales y en menor medida por las funcionalistas. De este modo, debido a la repercusión de la exposición, se formó una idea en el imaginario global que relaciona el movimiento moderno exclusivamente con la ortogonalidad, las superficies puras, la ausencia de ornamento y la ligereza visual.
De la exposición se publicó un catálogo: Hitchocock, H.R.; Johnson, P., 1966, The International Style. W.W. Norton: New York.

56. Le Corbusier en (Torres Cueco 2004:133)

respondieran a sus emociones. La respuesta estilística que surgió, es considerada por José Antonio Aldrete-Hass como "hecha por arquitectos para arquitectos" (Aldrete-Haas 2007:2). Por el contrario, sí que se buscó una humanización de los ambientes, apoyándose en otras disciplinas como las ciencias del comportamiento, siempre dentro del marco de la racionalidad subyacente en ellas. A través de la sociología y la antropología se intentó comprender el comportamiento de individuos y grupos sociales con el fin de conocer cómo percibían y habitaban su espacio cotidiano (Sömmer 1974:8).

Bajo estos planteamientos, se inició el estudio de la arquitectura vernácula o "arquitectura sin arquitectos"[54] para aprender de ella, reconociendo que condensaba conocimientos de técnicas ancestrales y respuestas a problemas funcionales en una visión que integraba el clima y el paisaje a la dimensión simbólica de habitar (Fathy 1969) en (Aldrete-Haas 2007:2).

Además, esta sabiduría basada en la experiencia que trasciende al propio autor, no tiene ese problema característico de la modernidad que destaca el arquitecto sudafricano Allan Greenberg: "el culto a la originalidad". La pregunta ¿qué hay nuevo? sustituyó a ¿qué hay mejor? Por ende si cada diseñador, y en cada momento, debía hacer algo completamente nuevo no existía la posibilidad de mejorar el diseño inicial en base al conocimiento adquirido a través de generaciones y al método prueba error (Rybczynski 1989:225).

Como vemos, existe una idea generalizada, por parte de la crítica arquitectónica de final del siglo XX, de que el movimiento moderno se desvinculó del lugar, buscando un "estilo internacional"[55]; una "sola casa para todos los países, todos los climas" como dijo Le Corbusier[56]. Sin poner en duda esta afirmación, es necesario sacar a colación, para alumbrar la problemática desde todos los ángulos, otras cuestiones.

Primero, la correcta concepción del término funcionalismo y sus implicaciones arquitectónicas. Para ello recurrimos al libro *Von Material zu Architektur* (1929),

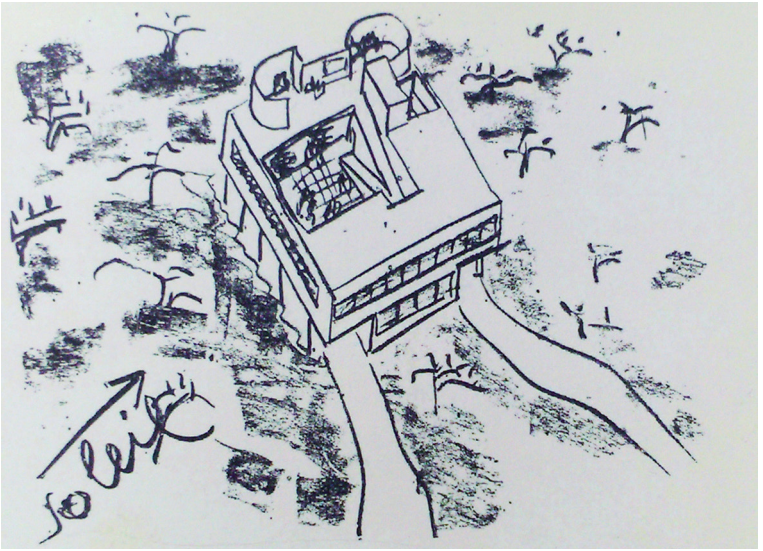
que fue traducido al inglés con el título *The New Vision* (1930)[57], en el que Gropius y Moholy-Nagy exponen los primeros métodos de investigación y trabajo de la Bauhaus (Fig. F1.36) .

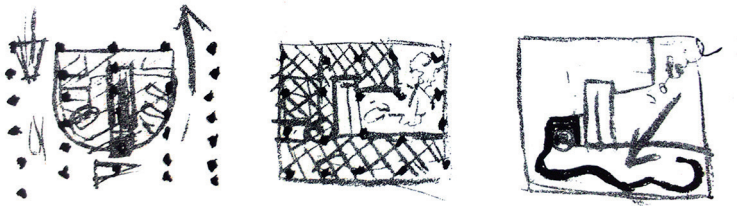
A lo largo de todo el texto, la palabra funcionalismo es clave y se relaciona con la convicción de que el futuro depararía una nueva armonía entre el ser humano y su entorno terrestre si las actitudes en el diseño seguían funciones biológicas (Anker 2010:14). Además creían que el proceso tecnológico nunca debía ser un fin sino un medio para un equilibrio biológico social y medioambientalmente. Las implicaciones de un diseño ecológico se estudian en profundidad en libros como *From Bauhaus to Ecohouse* (Anker 2010).

Segundo, la no siempre exacta correlación entre ciertos postulados teóricos y la realidad. Un ejemplo claro es el propio Le Corbusier al indicar que pretendía diseñar una sola casa que valiera para cualquier localización, pero en la realidad tal y como expone Dean Hawkes, en una conferencia en la University of Pennsylvania School of Design en 2012, nunca lo hizo. Sus casas siempre estaban profundamente ancladas a la especificidad del clima y el entorno en el que se localizaban (Hawkes 2012)[58].

Durante las conferencias que imparte Le Corbusier en Buenos Aires, en 1929, cuando el proyecto de la Ville Savoye estaba todavía en sus últimas fases de desarrollo, expone un dibujo en el que marca la dirección del sol. De hecho explica que las vistas estaban en el norte y el sol al sur y por eso, entre otros motivos, se coloca un patio que permita que la sala de estar se abra a las dos orientaciones. Este dibujo (Fig. F1.37), se incluye en el libro *Précisions sur un* état *de l'architecture et de l'urbanisme* (1930:139), en el ensayo *Le plan de la maison moderne*[59] junto con otros dibujos (Fig. F1.38) que atestiguan como en esa época ya poseía una preocupación por el clima y el entorno.

En definitiva, a pesar de que ciertas corrientes, ciertos arquitectos hayan olvidado el entorno; de un modo u otro, con un lenguaje u otro, en mayor o menor





Figs. F1.37 y F1.38. Croquis de la Ville Savoye FLC B2-9, detalle. Extraído de Le Corbusier, *Précision sur un état de l'architecture et de l'urbanisme*.1930, 268, Éditions G. Crès & Cie., París

57. Resulta curiosa la traducción al inglés, *La nueva visión*, siendo que una traducción más literal y que probablemente hubiera permitido entender mejor el espíritu del libro sería, *Desde el material a la arquitectura.*

58. Transcripción del video de la conferencia: *"He never did it. His houses are all profoundly engaged with the specifics of the climate in which they set."* (Hawkes 2012) En la conferencia indica que este tema también lo ha tratado en su libro *The environmental imagination* (2008). La conferencia se puede consultar en: https://vimeo.com/40958169.

59. En el libro *Le Corbusier conférencier* (2007) de Tim Benton también vienen incluidos estos dibujos reproducidos tal y como se encuentran en la Fondation Le Corbusier, p. 169.

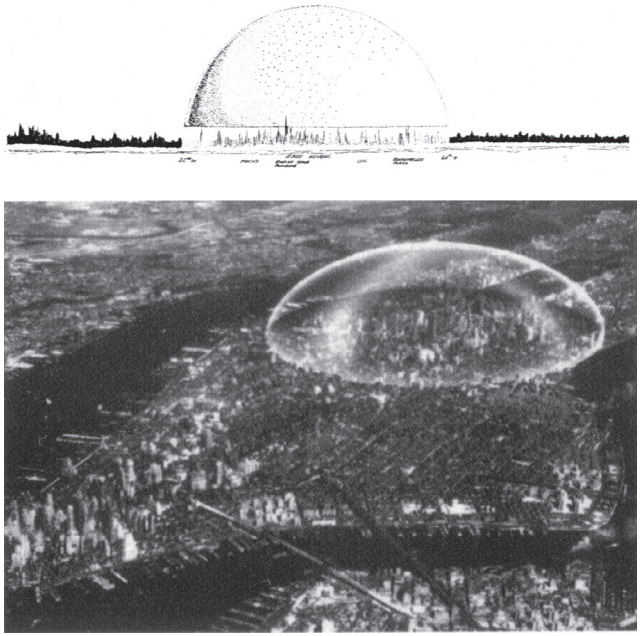


Fig. F1.39. Bocetos y fotomontaje del proyecto *Dome over Manhattan* (Cúpula sobre Manhattan) Buckminster Fuller (1895-1983)

La cúpula flota gracias al diferencial de temperatura como un artefacto energético que evita la entrada de agua y nieve y mantiene la temperatura del interior. Adicionalmente la cúpula se utiliza para recoger el agua de la lluvia y utilizarla para el abastecimiento del interior.

medida, el clima, el sol, el entorno influyen en la arquitectura, como objeto construido, y en el proceso anterior de ideación.

Tal y como veíamos en apartados anteriores, la cultura del proyecto está extendida a prácticamente todos los ámbitos culturales y, en consecuencia, la estética de todo aquello que se diseña. Un ejemplo es la posibilidad de aplicar valores de percepción de la belleza al ambiente y de este modo, la estética ambiental emerge como una parte importante del ampliado rango de la estética (Berleant 2012:53).

Debemos recordar que, según la etimología, la palabra estética proviene del griego *aesthesis* que significa "percepción de los sentidos". Así solo hay que retomar el verdadero significado de la palabra para evocar los placeres perceptuales que sus nuevas aplicaciones evocan, teniendo en cuenta que se trata de un ovillo de percepción multisensorial que requiere una cierta sensibilidad cultivada (2012:53).

Esto nos lleva directamente entonces a definir varios compartimentos estéticos, no estancos, entre los que se encuentra la "estética termodinámica"; concepto utilizado por Iñaki Abalos desde 2008 y que también se está denominando últimamente "belleza termodinámica" o "estética del calor". En realidad el término surge inicialmente en el libro *Architectures of Time, Toward a Theory of the Event in Modernist Culture* de Sanford Kwinter, publicado en 2001, pero expresado como "aproximación termodinámica a la arquitectura" y el arquitecto donostiarra vincula el concepto al de belleza.

En su ensayo, Abalos defiende, frente a las múltiples posturas y dispersión de casos prácticos, que solo si se vincula la idea de sostenibilidad a la de belleza, mediante una discusión estética, se conseguirá que sea un tema que "haya llegado para quedarse" (Abalos 2008:10). Piensa que es necesario un cambio de paradigma que avance desde el modelo tectónico y mecánico a otro termodinámico que refleje la necesidad de una integración entre arquitectura,

paisaje y técnicas medioambientales sin que ninguno de los tres planos tenga prevalencia sobre los otros en aras de un equilibro que permita crear un nuevo campo de análisis, un nuevo léxico y un nuevo instrumental. (2008:10).

Entender este concepto, asimilarlo en el trabajo del arquitecto, así como comprender cómo el entorno térmico influye en el edificio y en sus ocupantes nos permite diseñar mejores edificios que son más eficientes energéticamente y más saludables para sus ocupantes y para el planeta (Ong 2012:133).

La estética termodinámica aglutina, en definitiva, ecología, bioclimatismo, confort, ambiente…una serie de conceptos que reconocen las adaptaciones culturales y sociales con las que han evolucionado las sociedades humanas en respuesta a las diferentes localizaciones y debe formar parte importante del proceso de diseño.

1.6. Variables estudiadas

"Atmosphere is my style"

J. M. William Turner a John Ruskin (1844)

Todo este camino transversal previo que hemos recorrido demuestra que muchos de los factores que entran en juego en el diseño multisensorial, aunque nos centramos en el higrotérmico, son complejos, variables en el tiempo y el espacio. Esto obliga a plantear el estudio de un sistema que ayude al arquitecto en el proceso de diseño y toma de decisiones en el que ciertas variables se articulan para obtener un resultado y que es la base para el análisis planteado en los siguientes capítulos de esta tesis.

Para abordar dicho análisis, se ha establecido un sistema en el que se produce una interacción bidireccional de tres conceptos entre los cuales hay dos filtros básicos para la comprensión de la sistemática (Fig. F1.41). El clima, el ambiente

Fig. F1.40. Portada ensayo. Abalos, Iñaki. *La belleza termodinámica* (2008) 1-10, CIRCO M.R.T, Madrid

Fig. F1.41. Rain, Steam, and Speed –The Great Western Railway (1844) William Turner

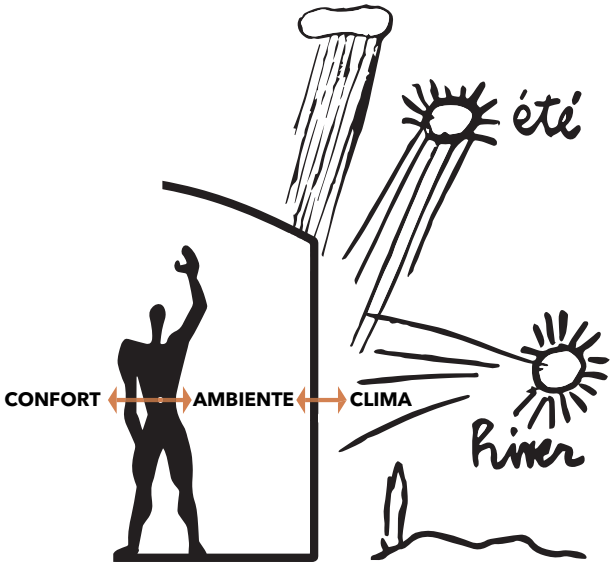


Fig. F1.42. Esquema de interacción de las variables estudiadas.

Fig. F1.43. Láminas A.4 y A.5 del *Poéme de l'Angle Droit* no incluidas en el estudio

y el propio confort se interrelacionan, los dos primeros mediante la envolvente arquitectónica, y los dos segundos mediante la percepción a través de los canales sensoriales y contextuales.

De estos cinco elementos, la envolvente arquitectónica es el único sobre el que el arquitecto tiene capacidad de decisión. El resto son, en este sentido, apriorismos que influyen en ella o posteriores resultados de su interacción, con lo que es necesario conocerlos para conjugarlos correctamente.

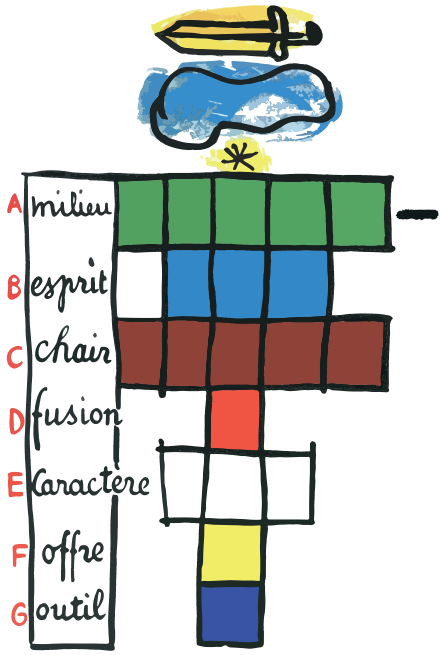
Antes de abordar el análisis del sistema, es necesario distinguir de entre los cinco agentes influyentes dos características diferenciales: los parámetros y los factores, tal y como hacen Serra y Coch (1995:79).

Los parámetros son manifestaciones energéticas o de otro tipo pero siempre serán magnitudes cuantificables o estimables con unidades físicas. Esto no quiere decir que puedan ser variables en el tiempo o el espacio pero son independientes del usuario.

Los factores son condiciones que influyen en la percepción. Algunos pueden ser medidos con unidades físicas también, establecidas al efecto, pero dependen enteramente de la percepción personal y pueden ser fisiológicos, biológicos, sociales o psicológicos.

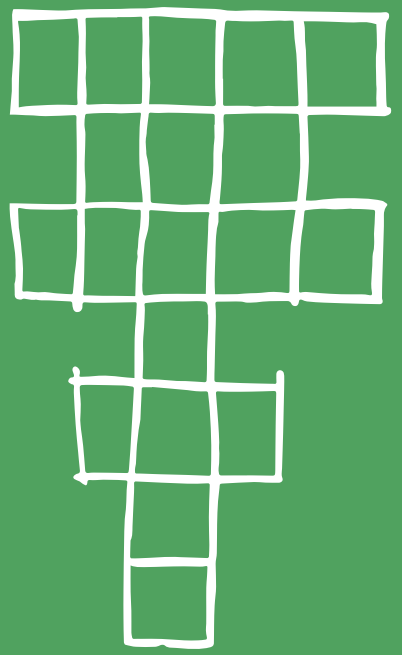
Por tanto, aunque los departamentos son completamente estancos, principalmente, el clima, el ambiente y su sistema de interrelación la envolvente arquitectónica se definen mediante parámetros y el confort y percepción mediante factores.

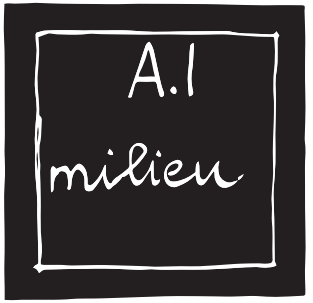
Del sistema establecido se estudian las variables que pueden ser tenidas en cuenta. Por este motivo, las apartados que corresponderían a A.4 Termodinámica - la envolvente arquitectónica y A.5 Ecología - Responsabilidad ambiental, son cuestiones que dependen de la perspectiva personal y que no se incluyen en el ámbito de estudio de la presente tesis.

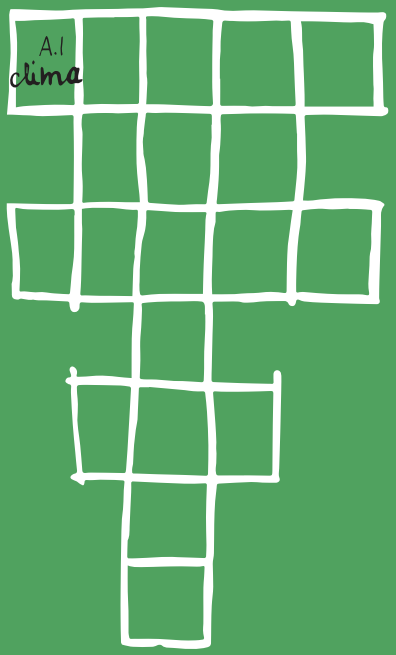


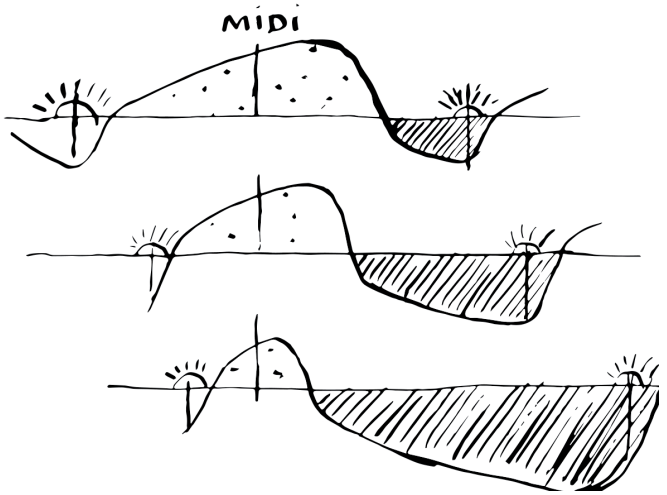
Cap. A

CAPÍTULO A.
VARIABLES TERMODINÁMICAS Y SENSORIALES




A.1
milieu


A.I
clima



A.1. Clima

Al igual que la sensación de confort depende directamente del entorno construido (ya sea este interior o exterior), el comportamiento ambiental de un edificio depende del lugar donde esté ubicado y por tanto del topoclima y clima que lo caracterizan[60].

Dada la multiplicidad de lugares y situaciones geográficas concretas que existen en el planeta, el número de topoclimas que se podrían definir puede ser tan alto como ciudades o pueblos existen. Aun así, todos se incluyen dentro de áreas geográficas mayores que tienen climas apreciablemente homogéneos.

En la actualidad existen dos clasificaciones climáticas mayormente aceptadas y de uso muy generalizado: la de Köppen-Geiger[61] y la de Papadakis; que pueden complementarse con el uso de la Escala Térmica Universal. La caracterización climática tiene diferentes escalas y por ello repasamos también la clasificación del Código Técnico de la Edificación (CTE) – normativa en vigor en España.

60. El clima se estudia en tres escalas (de mayor a menor) que se denominan clima, topoclima y microclima. Es habitual denominar a las características climáticas de un lugar, cuando son algo diferenciadas de las predominantes en el entorno, microclima. La denominación adecuada sería topoclima puesto que se considera que microclima es la escala inferior que no puede tener diferenciación y por tanto correspondería a la especificidad de una calle, una plaza, incluso una habitación.

61. También es conocida la modificación denominada Köppen-Trewartha que estudiamos.

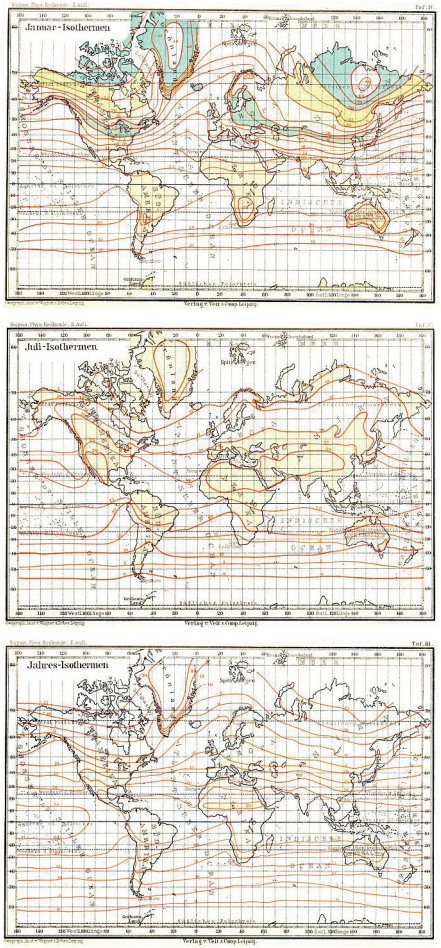


Fig. FA.1.01. Clasificación climática de SUPAN, 1879. Mapa *mundi*.

A.1.1. Clasificación Climática de Köppen-Geiger

Históricamente, los griegos fueron los primeros en desarrollar el concepto de zonas climáticas diferenciadas. Con esta base, durante el siglo XIX se distinguían tres áreas climáticas en la Tierra: zona tropical, zona templada y zona polar[62]; que estaban limitadas por los paralelos aunque no existía una definición más allá de la geográfica para su diferenciación.

En 1879, Alexander Supan (1847-1920), propuso por primera vez las isotermas en vez de los paralelos como límites de las principales zonas climáticas (Rubel, Kottek 2011:361). No modificó la clasificación de tres zonas pero sí su geometría estableciendo los límites en las isotermas de temperatura media anual de 20ºC y 10ºC.

Wladimir Köppen (1846-1940), en "*The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world*", artículo publicado en 1884 en *Metereologische Zeitschrift*, adoptó los umbrales de Supan, pero completó los criterios de clasificación añadiendo la duración de la temperatura durante el ciclo anual. Así, definió 5 zonas térmicas a las que denominó climas principales:

- A. Zona tropical: Todos los meses cálidos
- B. Zona subtropical: 4-11 meses cálidos y 1-8 meses templados
- C. Zona templada: 4-12 meses templados y menos de 4 meses cálidos
- D. Zona fría: 1-4 meses templados y el resto fríos
- E. Zona polar: Todos los meses fríos

Para la diferenciación, se consideraban meses cálidos los que tenían una temperatura media de T>20ºC, meses templados con 10ºC<T>20ºC y meses fríos con una T<10ºC. Adicionalmente, Köppen subdividió la zona templada en otras tres en función de sus veranos: zonas de veranos calurosos, zonas de temperatura constante y zonas de invierno frío (Köppen 1884 (1991:353). Así

62. El cinturón central de la Tierra contenido entre las latitudes 23,5ºN-S correspondía a la zona tropical, la templada se situaba entre 23,5º y 66,5º. El resto correspondía las zonas polares.

estableció las bases de su clasificación de siete áreas que ha perdurado hasta nuestros días con ciertas variaciones.

La primera, realizada por él mismo en 1900, fue la de introducir la información de precipitaciones medias anuales que habían estudiado anteriormente Loomis y Supan consiguiendo la primera clasificación seria de la historia de la climatología (Griffiths 1977:1058). Posteriormente en 1918, aunque conceptualmente la clasificación no se modificó, se fue mejorando la delimitación en base a los estudios de fitogeografía de Grisebach (1872) y especialmente en base a la clasificación de flora realizada por De Candolle (1874) en función de la temperatura (Ebach 2015:101), ya que las variaciones en la vegetación permiten establecer una mejor distribución de áreas que los propios parámetros de temperatura y régimen de precipitaciones.

Finalmente en 1936 presentó su última clasificación climática, con modificaciones de nomenclatura y delimitación, que fue publicada por Rudolf Geiger (1894-1981) en *"Clasificación del clima después de W. Köppen"* (1954) y en su versión definitiva en *"El clima de la Tierra/Edición revisada por Geiger, R.: Köppen-Geiger"* (1961)[63].

El sistema definitivo añade a las cinco zonas de climas principales dos clasificaciones adicionales en función de las precipitaciones y la temperatura:

Climas principales	
A	Tropical
B	Subtropical
C	Templada
D	Fría
E	Polar

Precipitaciones	
W	Desierto
S	Estepa
f	Muy húmedo
s	Verano seco
w	Invierno seco
m	Monzónico

Temperatura	
h	Cálido árido
k	Frío árido
a	Verano cálido
b	Verano templado
c	Verano frío
d	Extremadamente continental
F	Frío polar
T	Tundra polar

Tabla TA.1.01. Clasificación climática de Köppen

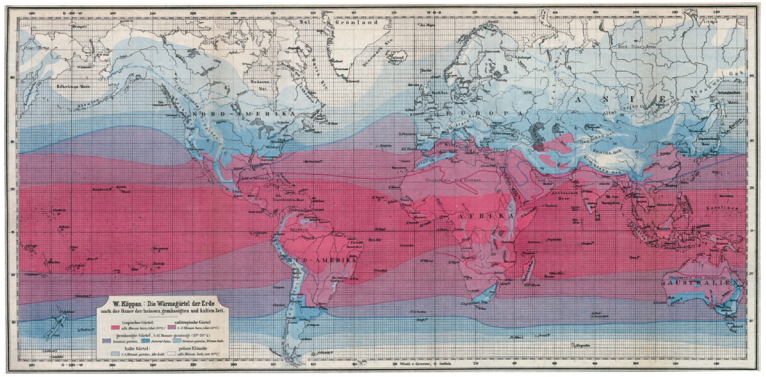


Fig. FA.1.02. Clasificación climática de Köppen, versión 1884. Mapa *mundi*.

63. Las publicaciones fueron: (1954) Klassificatio der Klimate nach W. Köppen en *Landolt-Börnstein – Zahlenwerte unf Funktionen aus Physik, Chemie, AStronomie, Geophysik und Technik* alte Serie, volumen 3. Springer, Berlin y (1961) Überarbeitete Neuausgabe von Geiger, R.: Köpper-Geiger/ Klima der Erde (Wandkarte 1:16 Mill.) – Klett-Perthes, Gotha.

ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTE APARTADO

T, Temperatura media anual (o en periodo definido) en grados Celsius

Tc, Temperatura media del mes más cálido en grados Celsius

Tf, Temperatura media del mes más frío en grados Celsius

T*, Temperatura media anual en grados Fahrenheit

MTmax, Media de las temperaturas máximas en grados Celsius

MTmin, Media de las temperaturas mínimas en grados Celsius

Pa, Precipitaciones medias anuales en mm

Ps, Precipitaciones medias del mes más cálido en mm

Pd, Precipitaciones medias en el mes más seco en mm

Pc, Porcentaje de precipitaciones respecto al anual, en los 6 meses con mayor recorrido solar

Pf, Porcentaje de precipitaciones respecto al anual, en los 6 meses con menor recorrido solar

Pf*, Porcentaje de precipitaciones respecto al anual, en invierno (6 meses más fríos)

P, Precipitaciones medias en el periodo definido

R, umbral de aridez (diferentes definiciones) en mm

R*, umbral de aridez (diferentes definiciones) en pulgadas

R, Umbral de aridez de Paton: R = 2,3T - 0,64Pf + 41

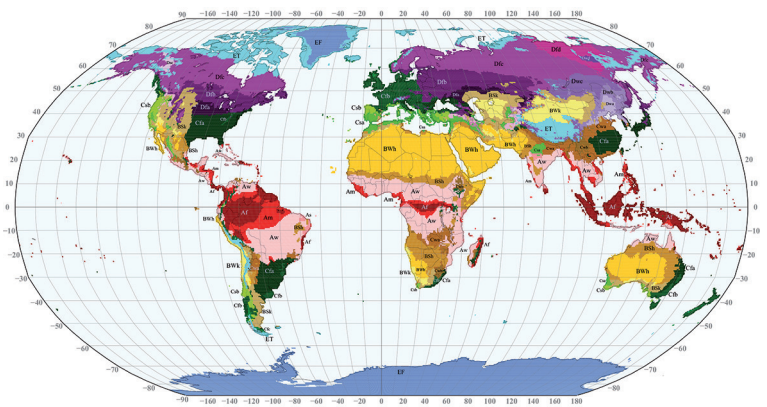


Fig. FA.1.03. Clasificación climática de Köppen-Geiger. Kottek, Griesger et al. 2006. Fuente: http://gpcc.dwd.de

ZONA	CRITERIO GLOBAL	PRECIPIT.	CRITERIO PRECIPITACIONES	TEMP.	CRITERIO ESPECÍFICO TEMPERATURA	NOMENCLATURA	COLOR	DENOMINACIÓN
A	T > 18ºC Pa > Evapotranspiración	f	12 meses > 60 mm			Af		Ecuatorial
		m	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps > [100-(Pa/25)]			Am		Tropical con verano seco
		s	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en verano			As		Tropical monzónico
		w	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en invierno			Aw		Tropical con invierno seco
B	Pa < 24xT Pa < Evapotranspiración	S	Pa > 1/2 (24xT)	h	T > 18ºC	BSh		Semiárido cálido
				k	T < 18ºC	BSk		Semiárido frío
		W	Pa < 1/2 (24xT)	h	T > 18ºC	BWh		Árido cálido
				k	T < 18ºC	BWk		Árido frío
C	-3ºC <Tf< 18ºC Tc > 10ºC Pa > Evapotranspiración	f	12 meses > 60 mm	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Cfa		Subtropical sin estación seca
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Cfb		Oceánico
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Cfc		Subpolar oceánico
		s	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en verano	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Csa		Mediterráneo
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Csb		Oceánico mediterráneo
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Csc		Subpolar oceánico con verano seco
		w	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en invierno	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Cwa		Subtropical con estación seca
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Cwb		Templado con inverno seco
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Cwc		Subpolar oceánico con invierno seco
D	Tf < -3ºC Tc > 10ºC Pa > Evapotranspiración	f	12 meses > 60 mm	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Dfa		Continental sin estación seca
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Dfb		Hemiboreal sin estación seca
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Dfc		Subpolar sin estación seca
				d	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses Tf < -38ºC	Dfd		Subpolar sin estación seca (invierno muy frío)
		s	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en verano	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Dsa		Continental mediterráneo
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Dsb		Hemiboreal mediterráneo
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Dsc		Subpolar con verano seco
				d	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses Tf < -38ºC	Dsd		Subpolar con verano seco (invierno muy frío)
		w	Algún mes < 60 mm Mes más seco: Ps < [100-(Pa/25)] Periodo seco en invierno	a	Tc > 22ºC T > 10ºC al menos 4 meses	Dwa		Continental con invierno seco
				b	Tc < 22ºC T > 10ºC 4 meses o más	Dwb		Hemiboreal con invierno seco
				c	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses	Dwc		Subpolar con inverno seco
				d	Tc < 22ºC T > 10ºC menos de 4 meses Tf < -38ºC	Dwd		Subpolar con inverno seco (invierno muy frío)
E	Tc < 10ºC			F	0ºC < Tc < 10ºC	EF		Tundra
				T	Tc < 0ºC	ET		Polar

Tabla TA.1.02. Clasificación climática de Köppen-Geiger. Nomenclatura, denominación y caracterización.

Las combinaciones posibles –climática y no matemáticamente–de las tres variables permiten dar nomenclatura a 31 climas distintos que vemos en la tabla TA.1.02 y figura FA.1.03 , donde se especifican sus características, fórmulas de definición y umbrales, así como su distribución sobre el mapa *mundi*.

La clasificación climática de Köppen no está exenta de algunas críticas que proponen nuevas fórmulas de definición de algunas zonas. Por ejemplo, en "Climatología aplicada" (Griffiths 1985), el autor, opina que la división de los climas subtropicales (B) en sólo dos zonas es inadecuada. Incluso propone su desaparición, defendiendo que estos climas deberían estar incluidos en otras categorías y tener una letra adicional para indicar su aridez. Propone S para los climas de estepa y W para los desérticos, además de una nueva fórmula para calcular el umbral de aridez:

$$Pa = 160 + 9T \qquad \text{Ec. EA.1.01} \qquad [mm]$$

En el mismo estudio se incluye una segunda objeción sobre la zona templada (C), indicando que se encuentra sobredimensionada. Propone una nueva zona subtropical (B) –ya que elimina la anterior–dividiendo la antigua (C) en dos partes prácticamente iguales.

El tercer desacuerdo se centra en el grupo (E) de clima polar, donde se plantea la adición de una subcategoría (M) con clima frío oceánico de invierno relativamente templado por la influencia de los océanos.

Otro autor que propone una clasificación algo diferenciada, y probablemente la de mayor aceptación debido al número de estudios y aplicaciones, es Glenn Thomas Trewartha. Publicada por primera vez en 1968 y actualizada en 1980, redefine las zonas para que la lógica del sistema esté más acorde con las zonificaciones de vegetación realizadas hasta la fecha. Sus modificaciones reclasifican las áreas de latitudes medias en tres grupos. Adicionalmente, modifica algunas de las nomenclaturas respectivas a las precipitaciones y a las fórmulas para el cálculo del umbral de aridez. Ver tabla TA.1.03.

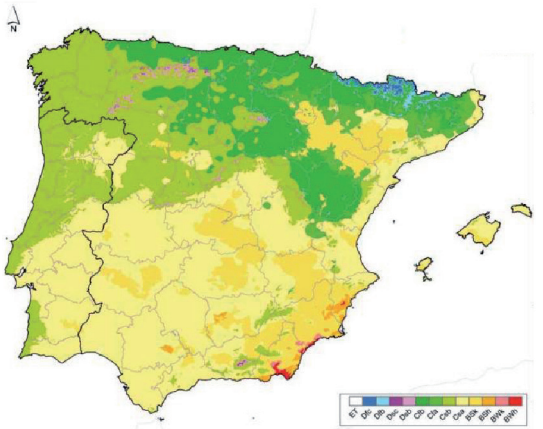


Fig. FA.1.04. Clasificación climática de Köppen-Geiger (KCC) de la Península Ibérica. Fuente: AEMET (Agencia Española de Meterología)

ZONA	CRITERIO GLOBAL TEMPERATURA	SUBZONA	PRECIPITACIONES TEMPERATURA	TEMPERATURA	CRITERIO ESPECÍFICO TEMPERATURA	NOMENCLATURA	COLOR	DENOMINACIÓN
A	Tf > 18ºC Pa > R	r	10 o más meses > 55 mm			Ar		Tropical húmedo (Bosques tropicales)
		s	2 o más meses < 55 mm Periodo seco en verano			As		Muy raro
		w	2 o más meses < 55 mm Periodo seco en invierno			Aw		Savana
B	Pa < R	S	R/2 < Pa < R			BS		Semiárido/Estepa
		W	Pa < R/2			BW (BM)		Desierto
C	Tf < 18ºC 8 meses o más T > 10ºC	f	12 meses > 55 mm Pd > 30 mm Diferencia de lluvia entre meses cálidos y frios inferior a Cs y Cw	a	Tc > 22,2ºC	Cfa		Subtropical húmedo
				b	Tc < 22,2ºC	Cfb		Subtropical húmedo
		w	Invierno seco AL menos 10 veces más de lluvia en los 6 meses cálidos que en los frios			Cwa		Subtropical verano seco
						Cwb		Subtropical verano seco
		s	Verano seco Pd < 30 mm; Pa < 890 mm Al menos 3 veces más de lluvia en los 6 meses fríos que en los cálidos	a	Tc > 22,2ºC	Csa		Mediterráneo (Subtropical de verano seco)
				b	Tc < 22,2ºC	Csb		Mediterráneo (Subtropical de verano seco)
D	[4 - 7] meses T > 10ºC	o	Tf > 0ºC			Do		Templado oceánico
		c	Tf < 0ºC	a	Tc > 22,2ºC	Dca		Templado continental
				b	Tc < 22,2ºC	Dcb		Templado continental
E	[1 - 3] meses T > 10ºC					E		Boreal
F	T < 10ºC	t	Tc > 0ºC			Ft		Tundra
		i	Tc < 0ºC			Fi		Casco helado

Tabla TA.1.03. Clasificación climática de Köppen-Trewartha. Nomenclatura, denominación y caracterización

En el grupo A (tropical húmedo); la temperatura media del mes más frío debe estar por encima de 18ºC. Los subtipos se clasifican en función del ciclo anual de precipitaciones, con límites establecidos en función del número de meses secos. Para este concepto define como mes seco en el área ecuatorial –donde la temperatura media anual está entre 25 y 27ºC–aquel que tiene una precipitación media inferior a 55 mm (Trewartha, Horn 1980). Este límite se diferencia del establecido por Köppen que es de 60 mm (Köppen 1931).

En el grupo B (seco); es donde se presenta una de las mayores diferencias al modificar la definición de clima seco. Si se traduce la fórmula del umbral de aridez, propuesta por Köppen, a unidades imperiales parece dar una falsa impresión en el grado de exactitud (Trewartha, Horn 1980). Se propone la utilización de la fórmula de Patton (1962) de la siguiente manera (Belda, Holtanová et al. 2014):

R* = 0,5T* - 12; para régimen de lluvias homogéneo anualmente.
R* = 0,5T* - 17; para régimen de lluvias concentrado en invierno.
R* = 0,5T* - 6; para régimen de lluvias concentrado en verano.

donde el umbral de aridez (R*) se expresa en pulgadas y la temperatura media anual (T*) en grados Fahrenheit.

Patton, en el mismo estudio, recoge otra fórmula alternativa que simplifica las tres anteriores en una, que ha sido la de aplicación más habitual:

R* = 0,5T* - 0,25Pf* Ec. EA.1.02 [in (pulgadas)]

expresada en unidades imperiales. Si la traducimos al sistema internacional en milímetros y grados Celsius, queda:

R = 2,3T – 0,64 Pf + 410 Ec. EA.1.03 [mm]

utilizada en la tabla TA.1.03

Destacar que en este caso, en vez de utilizar los seis meses más fríos, se utilizan los seis meses con recorrido solar menor, días más cortos (de octubre a marzo en el hemisferio norte, de abril a septiembre en el hemisferio sur).

En el grupo C (subtropical), el criterio de clasificación es que haya entre ocho y doce meses con la temperatura media por encima de 10ºC, y con respecto a la temperatura media del mes más frío solo se establece cota superior en 18ºC. Los subtipos son similares a los utilizados por Köppen, pero la cantidad de precipitaciones se establece únicamente para los meses más secos. Otra

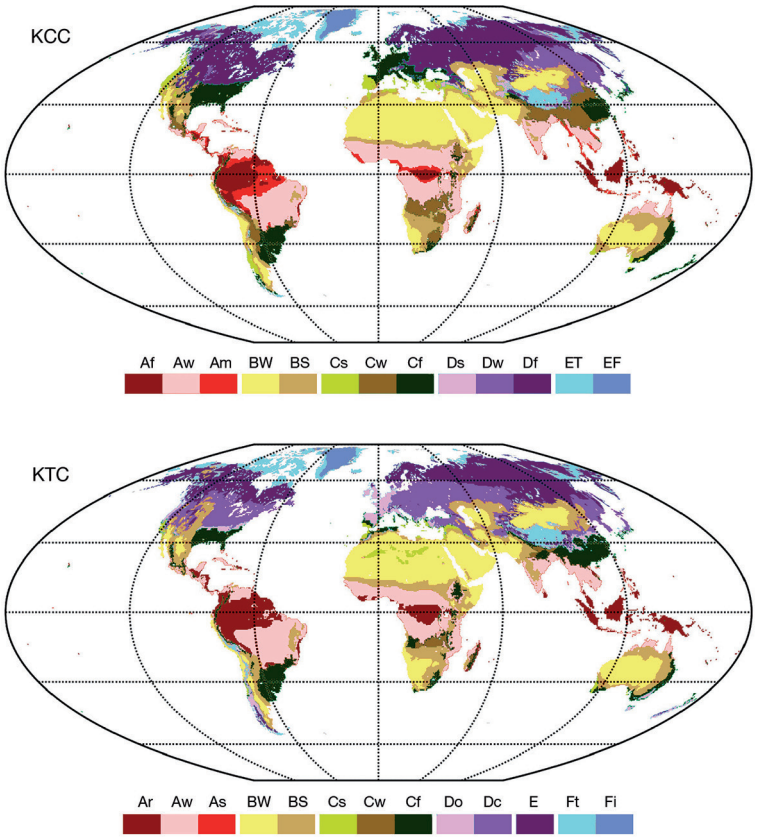


Fig. FA.1.05. Comparativa clasificación climática de Köppen-Geiger (KCC) y de Köppen-Trewartha (KTC) basada en los datos del CRU, para el periodo 1961-1990, sobre una maya de 0,5° latitud/longitud. Versión Kottek, Grieser et al. (2006)

diferencia radica en el subtipo 's', cuyo límite se establece mediante una doble condición; la precipitación media anual debe estar por debajo de 890 mm además de la precipitación del mes de verano más seco que debe estar por debajo de 30 mm.

Para el grupo D (templado), se establece una condición de temperatura media anual inferior a 10ºC en un periodo de entre cuatro a siete meses. La subdivisión es completamente diferente y basada en la temperatura media del mes más frío. Con un umbral de 0ºC se definen los subtipos oceánico (Do) y continental (Dc).

El grupo E (boreal), no tiene subdivisiones y se caracteriza por tener entre uno y tres meses con temperaturas superiores a 10ºC. Si bien es cierto, algunos autores diferencian entre oceánico y continental al igual que en el grupo D (de Castro, Gallardo et al. 2007:331).

Finalmente el grupo F (polar), se establece en los lugares con una temperatura media anual inferior a 10ºC. Subdividiéndolo en función de si la temperatura del mes más cálido está por encima o por debajo de 0ºC.

En la comparación de las dos clasificaciones, hay que tener en cuenta que aunque se utilicen nomenclaturas iguales, su definición puede ser completamente distinta y por tanto no representan las mismas zonas del planeta. Las mejoras de Trewartha atañen principalmente a la clasificación de zonas del interior de los Estados Unidos y en la diferenciación de la Europa oriental y occidental, lo que conlleva una mejor representación de la realidad natural de los biotopos (Belda, Holtanová et al. 2014:12).

Respecto a la nomenclatura de estos dos sistemas en el ámbito científico, es obvio que la sistemática utilizada es la misma que la establecida por Köppen inicialmente y por tanto es habitual la referencia a esta clasificación como Köppen-Trewartha. De hecho existen bastantes inexactitudes en multitud de

estudios que dicen utilizar la clasificación de Köppen-Geiger (KCC) y realmente utilizan la de Köppen-Trewartha (KTC) (Belda, Holtanová et al. 2014:2).

Recientemente se han publicado dos actualizaciones del mapa de KCC (Kottek, Griesger et al. 2006) y (Peel, Finlayson et al. 2007). Ambas siguen sus mismos preceptos, pero amplían y mejoran las bases de datos en los que se fundamentan gracias a una información de temperatura y precipitaciones más detallada.

El estudio de Kottek, Grieser et al. (Fig. FA.1.05) se basa en la información proporcionada por el *Climate Research Unit* (CRU) de la *University of East Anglia* y el *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) del *German Weather Service*, organizada en una malla de 0,5° longitud/latitud. Además, los autores, han realizado series de clasificaciones sustentadas en los datos climatológicos de diferentes periodos de tiempo que reflejan una buena correlación con otros estudios de oscilaciones oceánicas como demuestran Fraedrich et al. (2001:408-413) y comparaciones entre las versiones de Geiger y Trewartha.

Por otro lado, Peel, Finlayson et al. (Fig. FA.1.06), aumentan la densidad de la malla a 0,1° longitud/latitud y recaban los datos del *Global Historical Climatology Network* (GHCN). Reconocen que la densidad de estaciones meteorológicas no es homogénea en todo el planeta y resaltan el hecho de que la utilización de diferentes fuentes de información no parece influir en la clasificación climática de las áreas, sino en las fronteras y zonas de transición. Adicionalmente recogen mapas detallados para cada continente con zonificación detallada[64].

En la actualidad el climograma de Köppen-Geiger, considerado como perteneciente a la climatología clásica –identifica los climas en función de su efecto sobre el crecimiento de plantas, basándose en parámetros de temperatura y humedad–sigue estando en constante cambio debido a las aportaciones de varios autores. Aun así, 131 años después de su ideación, es uno de los más ampliamente usados. Y aunque, otros modelos mejorados, como los casos estudiados, pueden ser más apropiados para labores específicas, por ejemplo

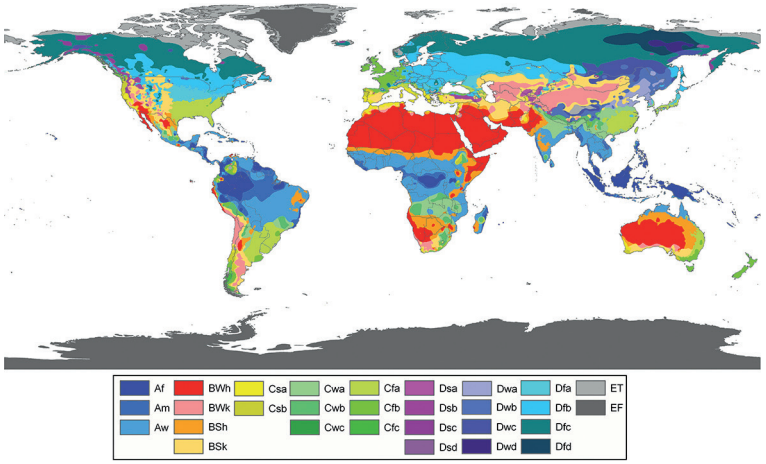


Fig. FA.1.06. Clasificación climática de Köppen-Geiger (KCC) basada en los datos del GHCN, para el periodo 1909-1993, sobre una maya de 0,1° latitud/longitud. Versión Peel, Finlayson et al. (2007)

64. Tanto el estudio como los mapas tienen licencia CC y pueden ser consultados en http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.html

para el estudio de la dinámica general atmósfera-océanos (AOGMC)[65], es indiscutible que no han conseguido alcanzar la misma dispersión.

A.1.2. Clasificación Climática de Papadakis

Juan Papadakis (1903-1997), agrónomo, geógrafo, climatólogo y botánico griego presento los criterios de su clasificación climática por primera vez en 1952 en el libro "*Agricultural Geography of the World*", pero fue en "*Climates of the World*" (1975) donde desarrollo profundamente el concepto de clima mensual que es uno de los pilares principales de su trabajo.

Para Papadakis, el clima anual es una sucesión de 12 climas que, al ser menos complejos, permiten una mejor clasificación basada en características térmicas e hídricas. En su estudio tuvo en cuenta los factores que son de mayor importancia para la viabilidad de los cultivos, como la severidad de los inviernos y la duración y temperatura de los veranos.

Los valores utilizados son: temperatura media máxima, media global, media mínima, mínima absoluta; precipitación acumulada y evapotranspiración potencial. Con ellos se delimitan el tipo de invierno, el tipo de verano y el régimen hídrico, para finalmente con una combinación de estos tres factores determinar el tipo de clima.

Los climogramas así generados tienen un reflejo muy fiel de los tipos de vegetación natural existentes y de las potencialidades agropecuarias, contrastando notablemente con los otros creados por climatólogos basados en registros de temperaturas medias y regímenes pluviales.

Con respecto a la edificación, los criterios de diseño, en general, se vinculan a los parámetros medios anuales y pueden ser los más determinantes pero debido a la gran influencia que los periodos extremos tienen en la percepción del confort

65. AOGMC: Atmosphere-Ocean General Circulation Model. En el estudio de este campo es habitual el uso del modelo de Guetter and Kutzback (1990)

(temperaturas máximas y mínimas en vez de medias), es adecuado analizar este planteamiento de clasificación climática que los tiene en cuenta.

En el sistema desarrollado, se dividieron los climas del mundo en 10 grandes grupos subdivididos a su vez en 37 tipos de clima con una clasificación adicional según el tipo de verano, de invierno y el régimen hídrico. Así la denominación de un clima se realiza mediante la Fórmula climática abreviada que consta de estas tres partes. Contrasta por tanto el mayor número de posibilidades (más de cien climas identificados habitualmente) con respecto a otras clasificaciones, generando un complejo abierto a nuevas posibilidades pero al mismo tiempo, detallado y preciso.

Tipos de invierno

Se establecen según los tipos de cultivo posibles en esta estación, por tanto en función de la severidad de los inviernos que queda determinada por la media de las temperaturas mínimas absolutas del mes más frío.

Pr	**De siembra en primavera**	Invierno demasiado frío para plantar trigo en otoño MTmin < -29ºC
Ti	**De trigo en invierno**	Invierno suficientemente suave para plantar trigo en otoño, pero demasiado frío para plantar avena en otoño. -29ºC < MTmin < -10ºC
Av	**De avena**	Invierno suficientemente suave para plantar avena en otoño, pero demasiado frío para cultivar cítricos -10ºC < MTmin < -2,5ºC
Ci	**De cítricos**	Invierno suficientemente suave para cultivar cítricos, pero el clima no está completamente libre de hielos -2,5ºC < MTmin < 7ºC
Tp	**Tropical**	Clima completamente libre de hielos 7ºC < MTmin < 15ºC
Ec	**Ecuatorial**	MTmin > 15ºC

Tabla TA.1.04. Tipos de invierno, clasificación de Papadakis. Nomenclatura, denominación y caracterización.

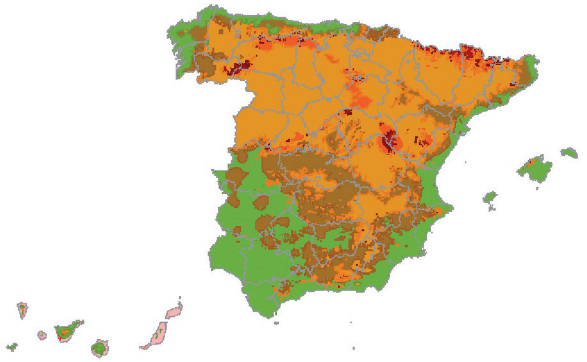


Fig. FA.1.07. Tipos de invierno según Papadakis en España. Periodo 1960-1996. MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

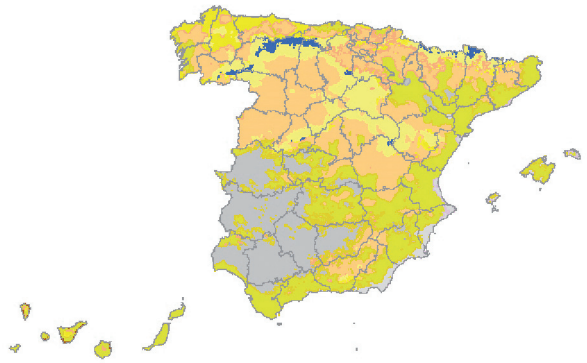


Fig. FA.1.08. Tipos de verano según Papadakis en España. Periodo 1960-1996. Fuente: MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Tipos de verano

El criterio es el mismo pero en la estación cálida, destacando su duración y calidez. En este caso el número de condiciones es mayor, estableciendo cotas superiores e inferiores para las temperaturas medias máximas y mínimas. De nuevo se incluyen los tipos de cultivo posibles.

H	**Hielo perpetuo**	MTmax < 6ºC
Tu	**Tundra**	2 meses cálidos: MTmax > 6ºC Tc < 10ºC [9-12] meses T < 0ºC
A	**Alpino**	4 meses cálidos: MTmax > 10ºC 2 meses cálidos: MTmin < 5ºC
Ta	**Taiga-subalpino**	Mes cálido: MTmax > 10ºC 2 meses cálidos: MTmin > 5ºC 4 meses cálidos: MTmax < 17ºC | MTmin > 2ºC durante 2,5 meses Verano demasiado frío para cultivar trigo
Tr	**Trigo**	4 meses cálidos: MTmax > 17ºC [2.5 - 4.5] meses: MTmin > 2ºC Verano suficientemente cálido para cultivar trigo pero no maíz
M	**Maíz**	6 meses cálidos: MTmax > 21ºC Más de 4,5 meses: MTmin > 2ºC Menos de 3,5 meses: MTmin > 7ºC | Mes más cálido: MTmax < 25ºC Verano suficientemente cálido para cultivar maíz pero no arroz
O	**Arroz (Oryza)**	6 meses cálidos: MTmax > 21ºC Más de 3,5 meses: MTmin > 7ºC Mes más cálido: MTmax > 25ºC 6 meses cálidos: MTmax > 25ºC | Menos de 4,5 meses MTmin > 7ºC Verano suficientemente cálido para cultivar arroz pero no algodón
G	**Algodón (Gossypium)**	6 meses cálidos: MTmax > 25ºC Más de 4,5 meses MTmin > 7ºC Verano suficientemente cálido para cultivar algodón
C	**Cafeto**	6 meses cálidos: MTmax > 21ºC 12 meses MTmin > 7ºC Clima libre de heladas

Tabla TA.1.05. Tipos de varano, clasificación de Papadakis. Nomenclatura, denominación y caracterización.

Clasificación anual térmica

Si combinamos la información térmica de las dos estaciones tenemos una primera clasificación anual de climas en función de parámetros térmicos. Muchos de ellos contienen más de un tipo de inverno y/o de verano. Climas diferentes, tienen épocas del año comunes lo que explica que se puedan hacer cultivos iguales en regiones completamente distintas del planeta.

RÉGIMEN TÉRMICO		Nomencl.	Inv.	Verano
Ecuatorial	Ecuatorial	EC	Ec	G
Tropical	Tropical	TP	Tp	G, O
Tierra templada (Tierras altas tropic. sin heladas)	Tierra templada	TT	Tp	C
	Tierra templada fresca	Tt	Tp	M
Tierra fría (Tierras altas tropicales con heladas)	Bajas	TF	Ci	M
	Altas	Tf	Ci	Tr
	Andino de taiga	An	Av	Ta
Subtropical	Subtropical	STP	Ci	G
Marítimo	Cálido	MA	Ci	Tr, M, O
	Fresco	Ma	Av	Tr
	Frío	Ma	Ti, Av	Tu
Templado	Cálido	TE	Av	M, O
	Fresco	Te	Ti	Tr
Continental	Cálido	CO	Ti, Av	G
	Semicálido	Co	Pr, Ti	M, O
	Frío	Co	Pr	Tr
Alpino	Subalpino	AL	Pr, Ti	Ta
	Alpino	Al	Pr	A
Polar	Taiga	TA	Pr, Ti	Ta
	Tundra	TU	Pr	Tu
	Hielo perpetuo	HI	Pr	H

Tabla TA.1.06. Regimen térmico, clasificación de Papadakis. Nomenclatura y denominación.

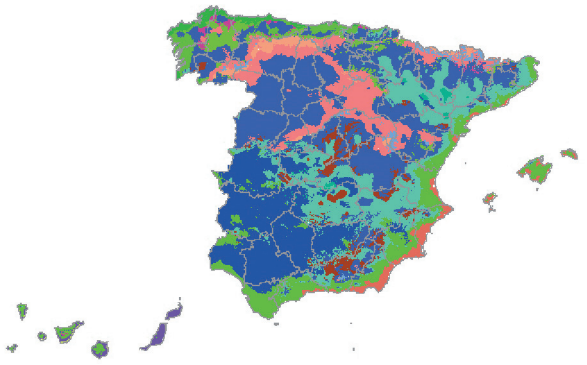


Fig. FA.1.09. Regímenes térmicos según Papadakis en España. Periodo 1960-1996. Fuente: MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

Climas mensuales y regímenes hídricos

Para la clasificación de las precipitaciones, tal y como comentábamos, se utiliza en vez de una clasificación anual, una mensual que permite reflejar la variabilidad con un sistema de clasificación más sencillo.

Como criterios aparecen la cantidad media de precipitación anual (P), el agua almacenada en el suelo disponible para el crecimiento de las plantas (R, retención máxima, 100 mm) y la evapotranspiración potencial (ETP).

En los meses áridos (a) y secos (s) no existe crecimiento vegetal, por el contrario en el resto de meses, con un régimen térmico adecuado sí que es posible.

a	**Árido**	P + R < 25% ETP
s	**Seco**	25% ETP < P + R < 50% ETP
i	**Intermedio seco**	50% ETP < P + R < 75% ETP
y	**Intermedio húmedo**	75% ETP < P + R < 100% ETP
p	**Post-húmedo**	P + R > 100%ETP | la lluvia no cubre la ETP
h	**Húmedo**	P > 100%ETP – (P + R) < 200%ETP o (P + R) – ETP < 100 mm
w	**Mojado**	P + R > 200%ETP y (P + R) – ETP > 100 mm

Tabla TA.1.07. Regimen hídrico mensual. Nomenclatura, denominación y caracterización.

Por tanto en función de las definiciones establecidas se realiza una clasificación de los diferentes regímenes hídricos que se dan en el planeta, con seis grandes grupos pero que luego se subdividen, en caso de ser necesario, teniendo en cuenta la cantidad de agua disponible para las especies vegetales, así como su distribución estacional. Esta agua se mide mediante el Excedente estacional de lluvia (Ln), que es el sumatorio de la diferencia entre precipitaciones y evapotranspiración potencial en los meses húmedos. Para los meses secos, se considera Ln = 0.

Húmedo	P > ETP - Ningún mes seco (a, s) - Ln > 25% ETP	
	HU	Todos los meses húmedos (h, w)
	Hu	Uno o más meses no son ni húmedos, ni secos (i, y, p)
Mediterráneo	Latitud > 20° - P invierno > P verano	
	ME	Ln > 25% ETP
	Me	Ln < 25% ETP
	me	Abril (Hemisferio Norte), octubre (Hemisferio sur) es seco (a,s)
Estepario - St	No entra dentro de ningún otro grupo En los tres meses de primavera P > 50% ETP	
Isohigro semiárido - Si	No entra dentro de ningún otro grupo En los tres meses de primavera P < 50% ETP	
Monzónico	Verano más húmedo que invierno y primavera	
	MO	Ln > 25% ETP
	Mo	Ln < 25% ETP y P > 44% ETP
	mo	P < 44% ETP
Desértico	Meses secos con MTmax > 15°C - P > 22% ETP	
	de -	Uno o más meses no árido (a) en invierno
	do	Uno o más meses no árido (a) en verano
	di	Uno o más meses no árido (a) en verano o P > 9% ETP
	da	Todos los meses áridos (a) y P > 9% ETP

Tabla TA.1.08. Regimen hídrico, clasificación de Papadakis. Nomenclatura, denominación y caracterización.

Fórmula de clasificación climática

En la tabla TA.1.09, quedan recogidos los principales climas mundiales con, en algunos casos, indicación de zonas donde se producen. Como se observa la variabilidad es múltiple y aun así, si se analizan las condiciones para zonas geográficas más detalladas, se pueden conseguir todavía más clasificaciones, utilizando los criterios prestablecidos, que reflejen la multiplicidad de situaciones dadas en la realidad.

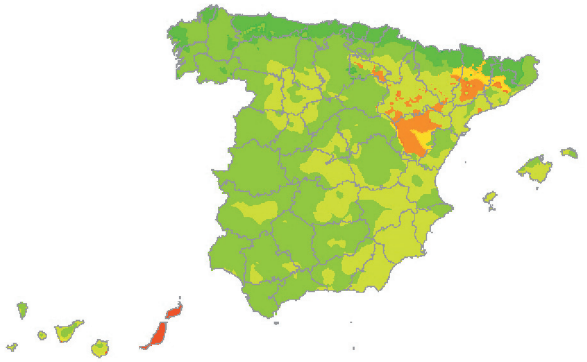


Fig. FA.1.10. Regímenes hídricos según Papadakis en España. Periodo 1960-1996. Fuente: MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

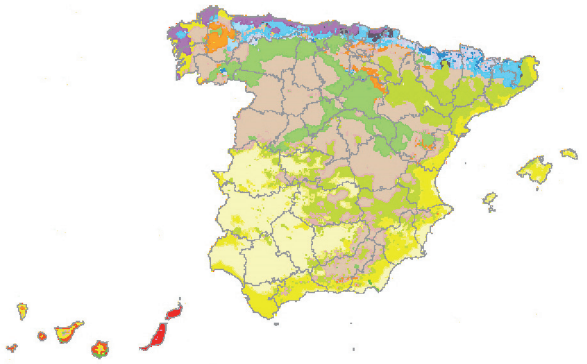


Fig. FA.1.11. Clasificación climática según Papadakis en España. Periodo 1960-1996. Fuente: MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

GRUPO	SUBGRUPO	CLASIFIC. TÉRMICA	CLASIFIC. HÍDRICA	FÓRMULA CLIMÁTICA (Indicación de zonas)
TROPICAL	Ecuatorial tropical húmedo	EC, TP	HU, Hu	EcGHU (Amazonas)
				EcGHu (Nordeste Madagascar)
				TpGHu (Costa Vietnam)
	Tropical monzónico	TP	MO, Mo, mo	TpGMo (Islas del Caribe)
				EcGMO (Filipinas, Nordeste Australia)
				EcGmo (Sahara)
	Tropical mediterráneo	TP	ME, Me, me	TpOME (Azores)
				TpOMe
				TpGMe (Norte Islas Canarias)
				TpGme
	Tropical de tierra templada húmeda	TT	MO, Mo, HU, Hu	TpMMO
				TpMMo
				TpMHU
				TpMHu (Islas Caribe, África tropical)
	Tropical de tierra templada seca	Tt	Mo, mo	TpMmo (Zonas altas África tropical)
TIERRA FRÍA	Tierra fría baja	TF	mo	CiMmo (Meseta mejicana)
	Tierra fría alta húmeda	Tf	HU, Hu, MO	CiTrHU
				CiTrHu (Islas del Caribe)
				CiTrMO (tierras altas Asia, África tropical)
	Tierra fría alta seca	Tf	Mo	CiTrMo (Meseta de Bogotá)
	Andino de taiga	An	mo	AvTamo (Mayores altitudes Bolivia, México)
				TiTamo (Tierras altas Argentina)
				TpGda (Sur Sáhara)
				TpOde (Sur Canarias)
				TpMdi (Norte desierto Namibia)
				TpMGda (Centro desierto Kalahari)
	Desértico subtropical	STP	da, de, di, do	CiGda (desierto California)
				CiGde (desierto México)
				CiMda (desierto Chile)
				CiMdo (sur desierto Kalahari)
				CiGdo (Valle del Indo)
	Desértico de tierras altas de bajas latitudes	Tf, Te	de, do	TiTrde
				TiTrdo (Andes peruanos)
				CiTrde
				CiTrdo
	Desértico continental	Co, co	da	PrMda
				PrTrda
				TiTrda (desiertos Ásia central)
SUBTROPICAL	Subtropical húmedo	STP	HU, Hu, Is	CiGHU
				CiGIs (Cítricos en Florida)
				CiGHu (Sur de Brasil)
	Subtropical monzónico	STP	MO, Mo, mo	CiGMo (Norte México, Norte India, Queensland)
				CiGMO (sur China, sur Japón)
	Subtropical seco	STP	mo, St	CiGmo (Oeste del Chaco)
				CiGSt
MEDITERRÁNEO	Mediterráneo subtropical	STP	Me, me	CiGMe (Centro California)
				CiGme (Sur de España, Italia, Grecia; Siria, Líbano, Túnez, Marruecos)
	Mediterráneo marítimo cálido	MA	ME, Me, me	CiTrME
				CiTrMe (costa California, Chile central)
				CiMMe (Costa Portugal, Ciudad del Cabo)
				CiMME (Costa azul francesa)
	Mediterráneo templado	TE	ME, Me	AvMMe (Interior Península Ibérica)
				AvMME (Costa Levante, Cataluña, Norte Italia)
	Mediterráneo marítimo fresco	Ma	ME	AvTrME (Zonas altas interior Península Ibérica)

GRUPO	SUBGRUPO	CLASIFIC. TÉRMICA	CLASIFIC. HÍDRICA	FÓRMULA CLIMÁTICA (Indicación de zonas)
MARÍTIMO	Marítimo cálido	MA	HU, Hu, Mo	CiTrHU
				CiTrHu (Valdivia, Chile; Costa norte Galicia)
				CiMHu
				CiOHu (costa Urugay)
				CiMHU
				CiOHU (sureste Mar Negro)
				CiMMo (Costa Natal, Sudáfrica)
	Marítimo templado cálido	TE	HU, Hu	AvMHU (Aquitania)
				AVMHu (Costa cantábrica)
	Marítimo fresco	Ma	HU	AvTrHU (Costa Oregón, Inglaterra, noroeste de Francia)
	Marítimo templado frío	Te	HU, Hu	TiTrHu (centro y este de Francia, centro de Europa)
				TiTrHU (Escandinavia)
	Marítimo frío	ma	HU, Hu	TiTuHU (Escocia, Noruega, sur Isalandia)
				AvTuHu (sur Patagonia)
				AvTuHU (Malvinas)
CONTINENTAL HÚMEDO	Continental cálido	Co, co	HU, Hu, Me, me, Mo	TiGHu
				AvGme (nordeste Grecia)
				TiGMo
				AvOMo
				AvGMo (centro de China)
				AvGHU
				AvGHu (centro de Japón)
	Continental semicálido	Co	Hu, Is, Me, Mo	TiMHu (nordeste EEUU, norte Japón)
				PrMHu
				PrMIs
				TiMIs (Danubio, sur Ucrania, cinturón maíz EEUU)
				PrMMo (Manchuria)
				TiOMo (norte China)
	Continental frío	co	HU, Hu, Is	PrTRHU
				PrTRHu (sureste Canadá)
				PrTrIs (cinturón trigo EEUU, noroeste Rusia)
ESTEPARIO	Estepario cálido	TP, STP	mo	CiGmo (norte México)
				TpGmo (nordeste Kalahari, interior India, Senegal)
	Estepario templado monzónico	TE	mo	AvMmo (cinturón trigo África)
	Estepario templado	TE, Te, Ma	St	AvMSt (pampa Argentina)
				TiTrSt
				AvTrSt (Patagonia)
				AvOSt (valle del Ebro)
	Estepario continental	CO, Co	me	TiMme (cunecas oeste EEUU)
				TiGme (este del Mar Caspio)
	Estepario frío	co	St	PrTrSt (estepas Ásia central)
				PrTaSt
				TiTaHU
				TiTaSt (zonas boscosas en media montaña)
	Alpino	Al	Hu	PrAHu (pastos de alta montaña)
POLAR	Taiga	TA	HU, Hu, Mo	PrTaHU
				PrTaHu (este de las Rocosas)
				PrTaMo (límite tundra, Rusia)
				TiPHu (costa sur de Ásia)
	Tundra	TU	St	PrTuSt (Alaska, Canadá, Eurasia, costa Groenlandia)
	Hielo permanente	HI	da	PrHda (interior Groenlandia, Antártida)

Tabla TA.1.09. Clasificación climática de Papadakis. Nomenclatura, denominación y fórmula climática.

De hecho, en el ámbito español, en 1973 el Ministerio del Aire, con el apoyo y los datos recogidos por el entonces denominado Servicio Meteorológico Nacional publica "Clasificación agroclimática de España: basada en la clasificación ecológica de Papadakis" de la cual son autores Francisco Elías Castillo y Luís Ruíz Beltrán[66]. La publicación contiene una parte escrita con descripción de la metodología y medios utilizados, pero principalmente destaca la cartografía ordenada por provincias. Para cada una de ellas se incluyen 26 mapas con la información que se recoge en la tabla TA.1.10.

Para comprobar la variabilidad y plasticidad de la clasificación, en este caso, centraremos el estudio en la provincia de Valencia, más concretamente en los mapas 20, 21, 22 y 23 que reflejan los tipos de invierno, tipos de verano, regímenes de humedad y zonas agroclimáticas provinciales[67], respectivamente, según J. Papadakis.

En el *mapa nº 20. –Tipos de invierno, según J. Papadakis* (Fig. FA.1.11), encontramos que la provincia de Valencia tiene tres tipos de invierno distintos (Ci, Av, av). Caracterizados por:

Ci. Citrus

-2,5ºC MTmin < 7ºC del mes más frío
10ºC < MTmax < 21ºC del mes más frío

Av. Avena cálido

10ºC < MTmin < -2,5ºC del mes más frío
MTmax > 10ºC del mes más frío

Av. Avena fresco

MTmin < -10ºC del mes más frío
5ºC < MTmax < 10ºC del mes más frío

Con la superposición del mapa de sombras, que refleja gráficamente muy bien el relieve y altura geográficos, se observa que la clasificación de tipos de invierno refleja claramente la variación de altura sobre el nivel del mar, figura FA.1.12. De

Mapa nº 1	Isoterma anual
Mapa nº 2	Isoterma del mes más frío
Mapa nº 3	Isoterma del mes más cálido
Mapa nº 4	Fecha de primera helada
Mapa nº 4 bis	Fecha de última helada
Mapa nº 5	Duración media del período frío
Mapa nº 6	Variabilidad, en años de cada 10, con que el mes de NOVIEMBRE forma parte del periodo frío
Mapa nº 7	Variabilidad, en años de cada 10, con que el mes de ABRIL forma parte del periodo frío
Mapa nº 8	Duración media del período cálido
Mapa nº 9	Variabilidad, en años de cada 10, con que el mes de JULIO forma parte del perio cálido
Mapa nº 10	Variabilidad, en años de cada 10, con que el mes de AGOSTO forma parte del periodo frío
Mapa nº 11	Isoyeta anual
Mapa nº 12	Isoyeta de otoño
Mapa nº 13	Isoyeta de invierno
Mapa nº 14	Isoyeta de primavera
Mapa nº 15	Isoyeta de verano
Mapa nº 16	Evapotranspiración potencial media anual
Mapa nº 17	Duración media del período seco
Mapa nº 18	Variabilidad en porcentaje, con que el déficit es > 50 mm, en el mes de JUNIO
Mapa nº 19	Variabilidad en porcentaje, con que el déficit es > 50 mm, en el mes de SEPTIEMBRE
Mapa nº 20	Tipos de invierno, según J. Papadakis
Mapa nº 21	Tipos de verano, según J. Papadakis
Mapa nº 22	Regímenes de humedad, según J. Papadakis
Mapa nº 23	Zonas agroclimáticas provinciales
Mapa nº 24	Índice de L. Turc anual para el secano
Mapa nº 25	Índice de L. Turc anual para el regadío

Tabla. TA.1.10. Índice cartográfico, para cada provincia, de la "Clasificación agroclimática de España: basada en la clasificación ecológica de Papadakis".

66. Actualmente, la monografía se guarda en la Biblioteca de Agricultura y Alimentación perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA). Está digitalizada desde 1996 y aunque no es accesible directamente está alojada en los servidores que permiten un acceso a través de búsquedas detalladas.

67. La clasificación varía ligeramente de la expuesta anteriormente debido a que, según se explica en el libro, algunos criterios de clasificación se modifican por los autores.

este modo conforme nos alejamos de la costa, ganando altura, los inviernos son más fríos debido a la cota y a la menor estabilidad térmica que provoca el mar.

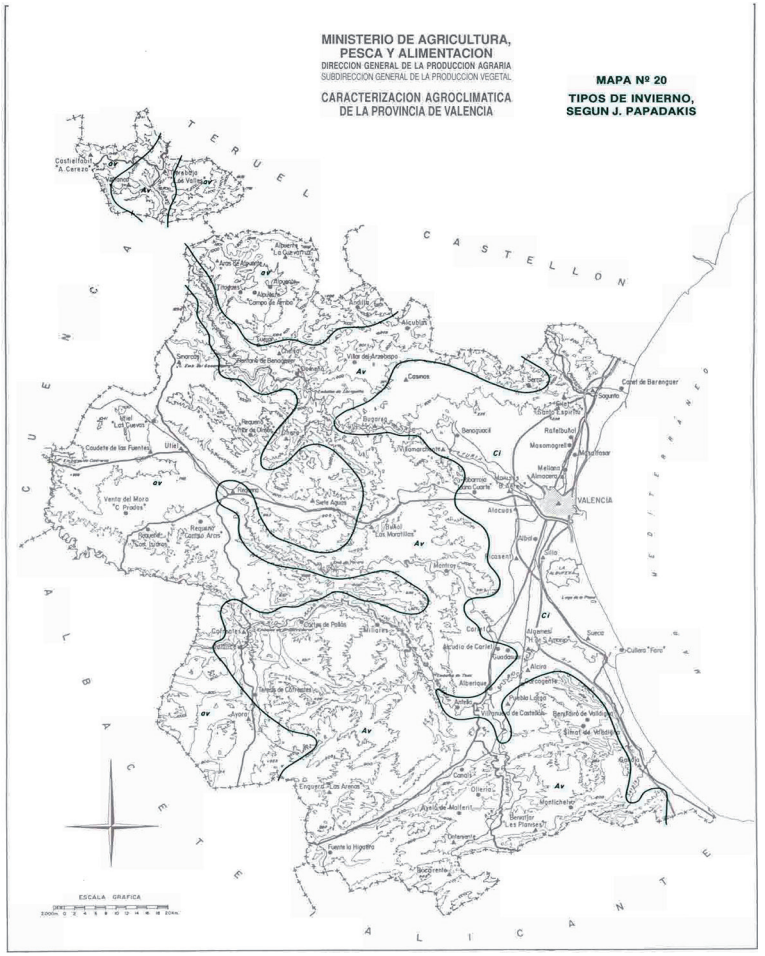


Fig. FA.1.11. Mapa nº 20. –Tipos de invierno, según J. Papadakis. Elobarado en 1973 por el Ministerio del Aire (Actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Miedo Ambiente).

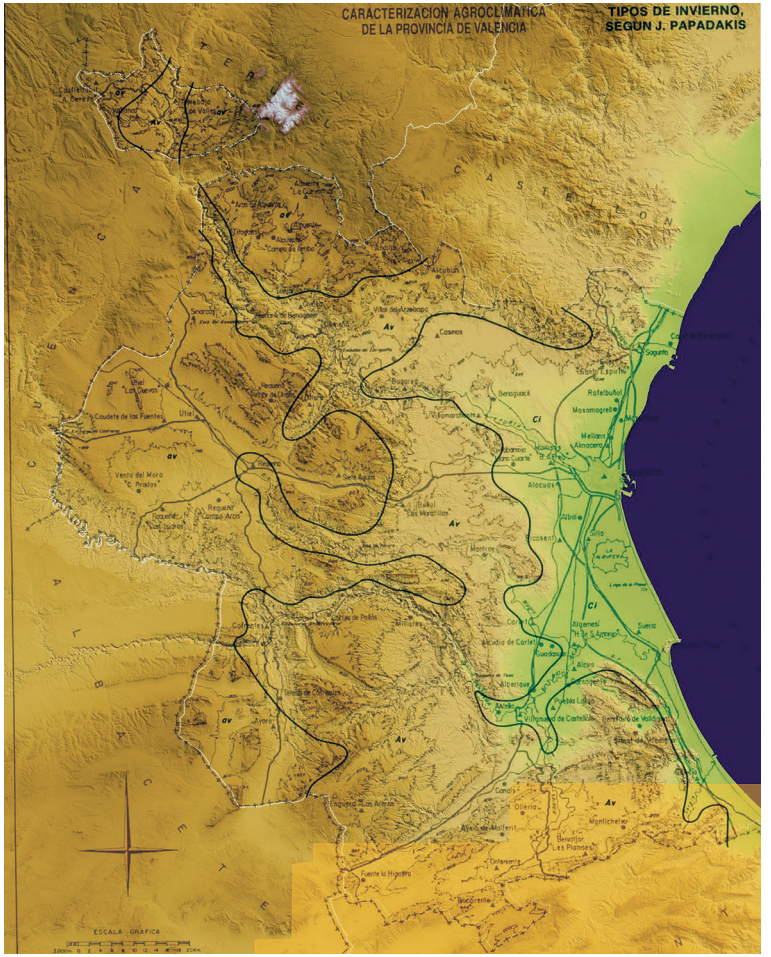


Fig. FA.1.12. Superposición de Mapa nº 20. –Tipos de invierno, según J. Papadakis; con mapa topográfico de sombras del Instituto Cartográfico de la Comunidad Valenciana.

En el *mapa nº 21. – Tipos de verano, según J. Papadakis* (Fig. FA1.13), la provincia queda dividida en cuatro áreas correspondientes a clasificaciones de verano distintas (g, O, M, T):

g. Gossypium (algodón) menos cálido

Estación libre de heladas superior 4,5 meses
MTmax > 25ºC durante al menos 6 meses
MTmax < 33,5ºC del mes más cálido
MTmin < 20ºC del mes más cálido

O. Oryza (arroz)

Estación libre de heladas mínimo 12 meses
21ºC < MTmax < 25ºC durante al menos 6 meses

M. Maíz

Estación libre de heladas superior 4,5 meses
MTmax > 21ºC durante al menos 6 meses

T. Triticum más cálido

Estación libre de heladas superior 4,5 meses
MTmax < 21ºC durante al menos 6 meses
MTmax > 17ºC durante al menos 4 meses

En la clasificación de tipos de verano, existe una distribución similar a la de invierno, pero queda directamente influenciada por las cuencas fluviales y la presencia de humedad en ellos. La zona 'g' de veranos más calurosos y húmedos penetra hacia el interior de la provincia siguiendo el curso de los ríos y barrancos.

En el *mapa nº 22. – Regímenes de humedad, según J. Papadakis* (Fig. FA1.14), queda reflejado como toda la provincia pertenece al régimen Mediterráneo seco (Me) a excepción de una pequeña porción del Rincón de Ademúz que pertenece a Mediterráneo Húmedo (HU).

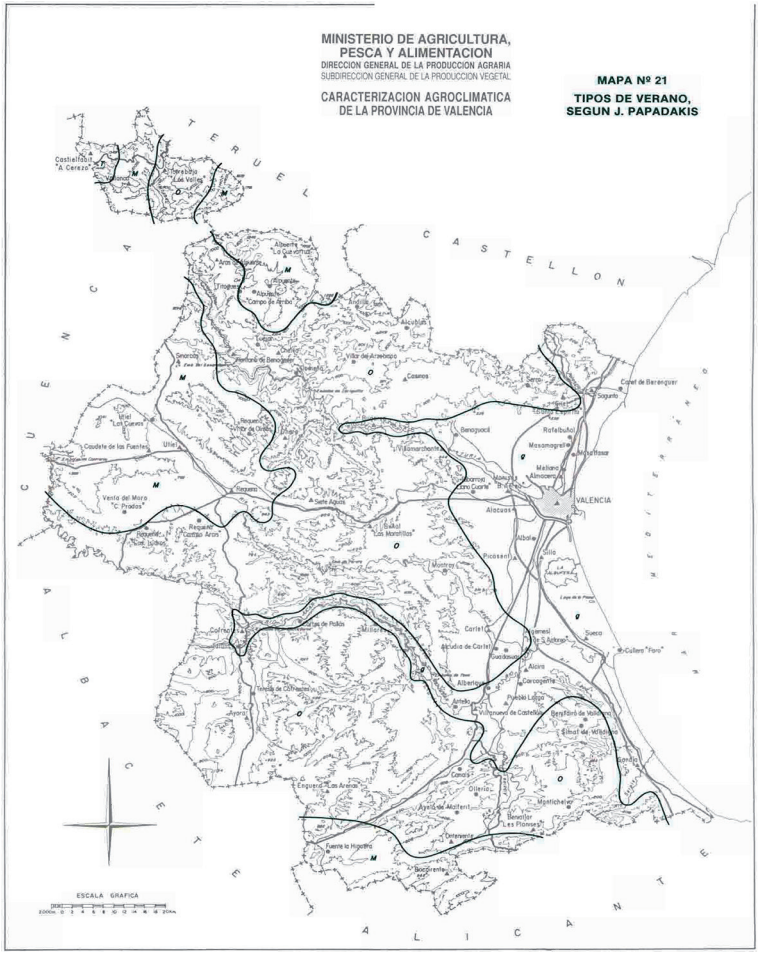


Fig. FA.1.13. Mapa nº 21. –Tipos de verano, según J. Papadakis. Elobarado en 1973 por el Ministerio del Aire (Actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Finalmente el *mapa nº 23. – Zonas agroclimáticas provinciales* (Fig. FA1.15), establece ocho zonas de diferenciación climática en un área relativamente pequeña de once mil metros cuadrados.

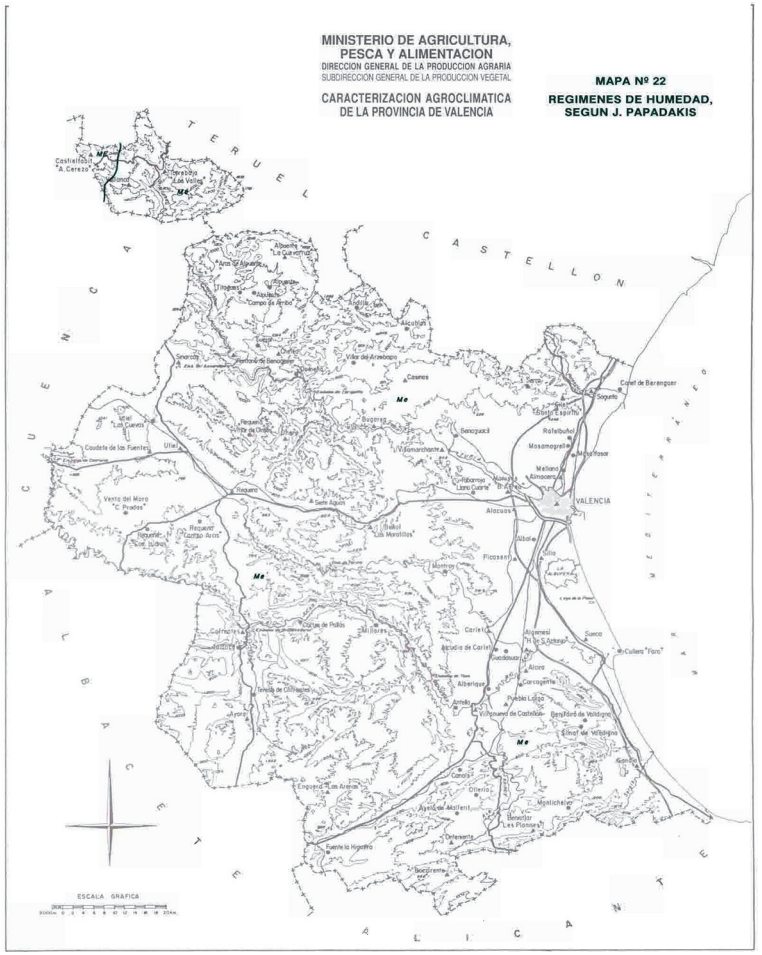


Fig. FA.1.14. Mapa nº 22. – Regímenes de humedad, según J. Papadakis. Elobarado en 1973 por el Ministerio del Aire (Actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

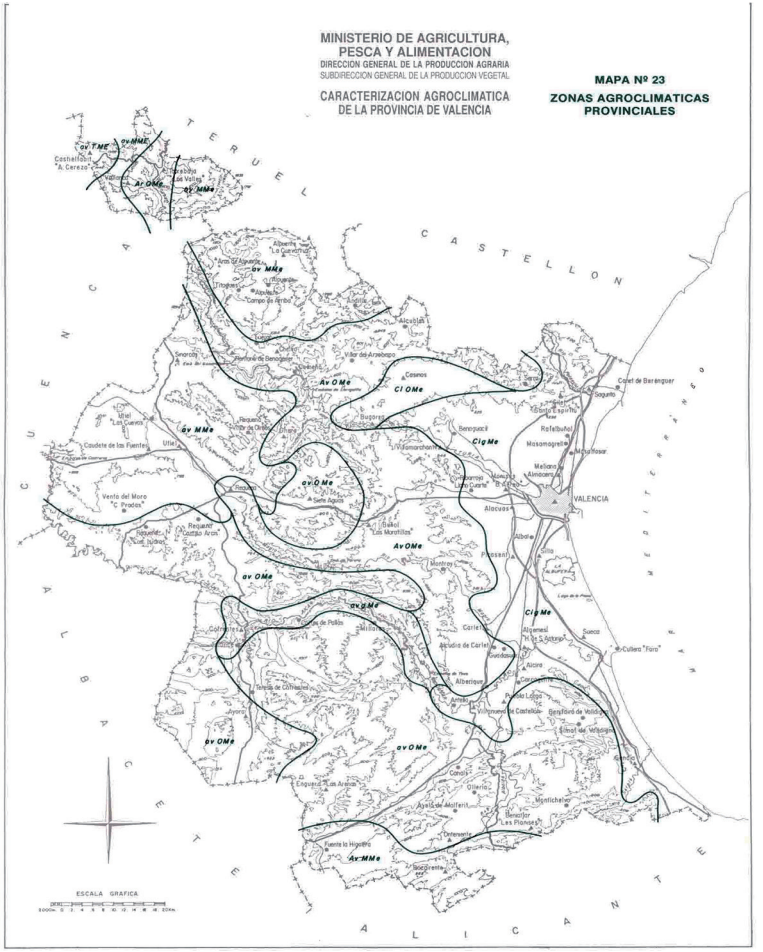


Fig. FA.1.15. Mapa nº 23. – Zonas agroclimáticas provinciales, según J. Papadakis. Elobarado en 1973 por el Ministerio del Aire (Actual Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

Esta complejidad en el ámbito de una sola provincia refleja la variabilidad de las situaciones a las que se puede enfrentar el arquitecto en el proceso de diseño. La existencia de diferentes variaciones climáticas no supone una diferenciación total de las estrategias a seguir en cada caso pero requiere ciertamente de un lugar importante en el proceso de estudio e ideación arquitectónicos.

A.1.3. Escala térmica universal

Como complemento a cualquier clasificación climática, en aras de una descripción altamente detallada, es posible añadir dos letras al final de la nomenclatura que representan el rango de temperaturas del mes más cálido y el mes más frío, respectivamente. Estas letras están basadas en la Escala Térmica Universal (Rudloff 1988):

i	calor severo	> 35°C
h	muy cálido	28°C –34,9°C
a	cálido	23°C – 27,9°C
b	templado	18°C – 22,9°C
l	suave	10°C – 17,9°C
k	fresco	0,1°C – 9,9°C
o	frío	-9,9°C – 0°C
c	muy frío	-24,9°C – (-10°C)
d	frío severo	-39,9°C – (-25°C)
e	excesivamente frío	< (-35°C)

Tabla TA.1.11. Escala térmica universal. Nomenclatura, denominación y caracterización.

Es una escala que se ha utilizado principalmente para el estudio de cambio climático en zonas muy concretas. Para estudios globales, a nivel continental o incluso mundial ha tenido una repercusión mínima puesto que acaba haciendo excesivamente compleja la nomenclatura de cualquier clasificación sin aportar demasiada información adicional.

A.1.4. Clasificación climática CTE

En la normativa española, la tipificación climática se realiza en base a dos variables, la severidad climática de invierno y la de verano. Para su cálculo se utilizan dos fórmulas que tienen en cuenta los grados-día en base 20 y las horas de sol disponibles en cada periodo. Por tanto, no se tienen en cuenta parámetros de humedad o precipitaciones existentes en la zona y los valores sobre los que realmente se asienta el sistema son la Temperatura de bulbo seco y la disponibilidad solar.

Antes de ver el procedimiento exacto del cálculo analizamos los parámetros en los que se basa.

Grados-día (GD)

Los grados-día son una medida de temperatura que se utiliza habitualmente para el cálculo de las necesidades de calefacción o refrigeración.

Se establecen siempre en un periodo determinado de tiempo. Para ese periodo el parámetro es un sumatorio del valor absoluto de la diferencia entre la temperatura base de referencia y la temperatura media del día. Para calefacción solo se tienen en cuenta los registros en los que la temperatura media del día es inferior a la temperatura base y para refrigeración los registros en los que la temperatura media del día es superior a la temperatura base.

Así quedan definidos en la UNE 100002:1988, normativa española para el cálculo de climatizaciones, donde se establece como temperatura base 15ºC. El CTE se diferencia en la temperatura base que se ha designado para este valor, 20ºC y en los periodos de cálculo.

Para el cálculo de la severidad climática de invierno el periodo de estudio comprende los meses de octubre a mayo, por tanto en el sumatorio se tienen en cuenta únicamente los registros de temperatura media del día inferiores a 20ºC.

Complementariamente, en el cálculo de la severidad climática de verano se estudian los meses de junio a septiembre en el que se computarán únicamente los registros de temperatura media del día superiores a 20ºC.

En la actualidad los grados-día no se utilizan en el dimensionado definitivo de instalaciones de climatización, ya que es bien conocido que pueden conducir a grandes errores en la estimación de las demandas energéticas y por tanto de los consumos (Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, ATECYR 1998). Se eliminaron en la actualización de 2004 de la norma UNE 100014:1984. *Climatización. Bases para el proyecto. Condiciones exteriores de cálculo*[68]. A pesar de ello suele ser un dato muy habitual en los registros climáticos que manejan los ingenieros. En la guía técnica del IDAE *Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (2010), donde se recogen registros climáticos de más de 100 estaciones españolas de la AEMET (periodo 1998-2007) se incluyen los datos de grados-día de calefacción en base 15 y 20 y grados-día de refrigeración en base 20. Se dice que estos datos son apropiados para cálculos simplificados de demanda de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), pero no para las condiciones concretas de diseño de equipos y cálculo de cargas.

Porcentaje de horas de sol disponibles (n/N)

Se define como el cociente de las horas de sol y de las horas de sol máximas. Con este parámetro adimensional se refleja porcentualmente, en cada periodo, la cantidad de radiación solar real recibida en relación con la que sería teóricamente posible según parámetros estrictamente geométricos de latitud y trayectoria solar.

Severidad climática de invierno (SCI)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SCI = a \times GD + b \times (n/N) + c.\ GD^2 + d \times (n/N)^2 + e \qquad \text{Ec. EA.1.04}$$

68. La que se encuentra en vigor actualmente se denomina 100014:2004

siendo:

GD. Suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de octubre a mayo

n/N. Cociente entre el número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde octubre a mayo.

a. b, c, d. Son los coeficientes de regresión cuyos valores se indican en la tabla:

a	b	c	d	e
$3{,}546 \times 10^{-4}$	$-4{,}043 \times 10^{-1}$	$8{,}394 \times 10^{-8}$	$-7{,}325 \times 10^{-2}$	$-1{,}137 \times 10^{-1}$

Tabla TA.1.12. Coeficientes de regresión para la fórmula de la severidad climática de invierno

Severidad climática de verano (SCV)

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SCV = a \times GD + b.\ GD^2 + c \qquad \text{EA.1.05} \qquad [\text{adim.}]$$

siendo:

GD. Suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses de junio a septiembre.

n/N. Cociente entre el número de horas de sol y el número de horas de sol máximas, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde junio a septiembre.

a. b, c. Son los coeficientes de regresión cuyos valores se indican en la tabla:

a	b	c
$2{,}990 \times 10^{-3}$	$-1{,}1597 \times 10^{-7}$	$-1{,}713 \times 10^{-1}$

Tabla TA.1.13. Coeficientes de regresión para la fórmula de la severidad climática de verano

Clasificación climática

Las dos severidades calculadas caracterizan seis tipos de invierno, enumerados con letras, y cuatro tipos de verano, representados con números. Los valores límite para el invierno son:

a	A	B	C	D	E
SCI≤ 0	0 <SCI≤ 0,23	0,23 <SCI≤0,5	0,5 <SCI≤ 0,93	0,93 <SCI≤ 1,51	SCI> 1,51

Tabla TA.1.14. Tipos de invierno según su severidad climática

Y para el verano:

1	2	3	4
SCV≤ 0,5	0,5 <SCV≤ 0,83	0,83 <SCV≤ 1,38	SCV> 1,38

Tabla TA.1.15. Tipos de verano según su severidad climática

Combinando las nomenclaturas se obtendrían 24 zonas distintas, de las cuales sólo se contemplan 13 que representan los climas existentes en España:

	SCI				
SCV		A4	B4	C4	
	a3	A3	B3	C3	D3
				C2	D2
				C1	D1	E1

Tabla TA.1.15. Clasificación climática según el CTE

Para facilidad de uso, la denominación climática de las poblaciones se recoge en una tabla. Esto supone que, geográficamente, la clasificación tiene una distribución principalmente administrativa, es decir se establece para las capitales de provincia y posteriormente en función de la diferencia de altura de la población concreta con la capital de referencia se realiza una corrección de la zona climática. En la versión del CTE publicada en abril de 2009 los escalones de cambio se fijan cada 200 m de diferencia de altitud, siendo para las inferiores a 200 m la misma clasificación que para la capital. Pero en la versión actual, de

69. Varias son las modificaciones que ha introducido la versión en vigor al respecto de la clasificación climática. En la versión anterior, se proponían dos fórmulas de severidad alternativas, una con la radiación global acumulada y otra con el ratio de horas de sol. Ahora sólo es posible la que utiliza este último parámetro. Los grados-día se calculaban solo para los tres meses de verano y tres de invierno mientras que ahora se utilizan dos periodos de seis meses. También se han modificado las fórmulas de cálculo de la severidad, reduciendo el número de constantes de regresión y por tanto reduciendo la dispersión y se ha introducido una nueva clasificación de severidad climática de invierno (α) que se da únicamente en las Islas Canarias.

septiembre de 2013, la tabla se ha modificado de manera que los escalones no tienen ningún intervalo prefijado, sino que responden a la realidad, y así se consigue una mejor representación de las variaciones climáticas reales, que tal y como queda demostrado en otros sistemas de clasificación, no dependen únicamente de la variación altimétrica sobre el nivel del mar.[69]

Finalmente, en el caso de querer realizar una determinación exacta y de que existan datos climatológicos contrastados para la localización determinada, se da la opción de realizar el cálculo utilizando las fórmulas propuestas.

A.1.5. Comparativa clasificaciones climáticas

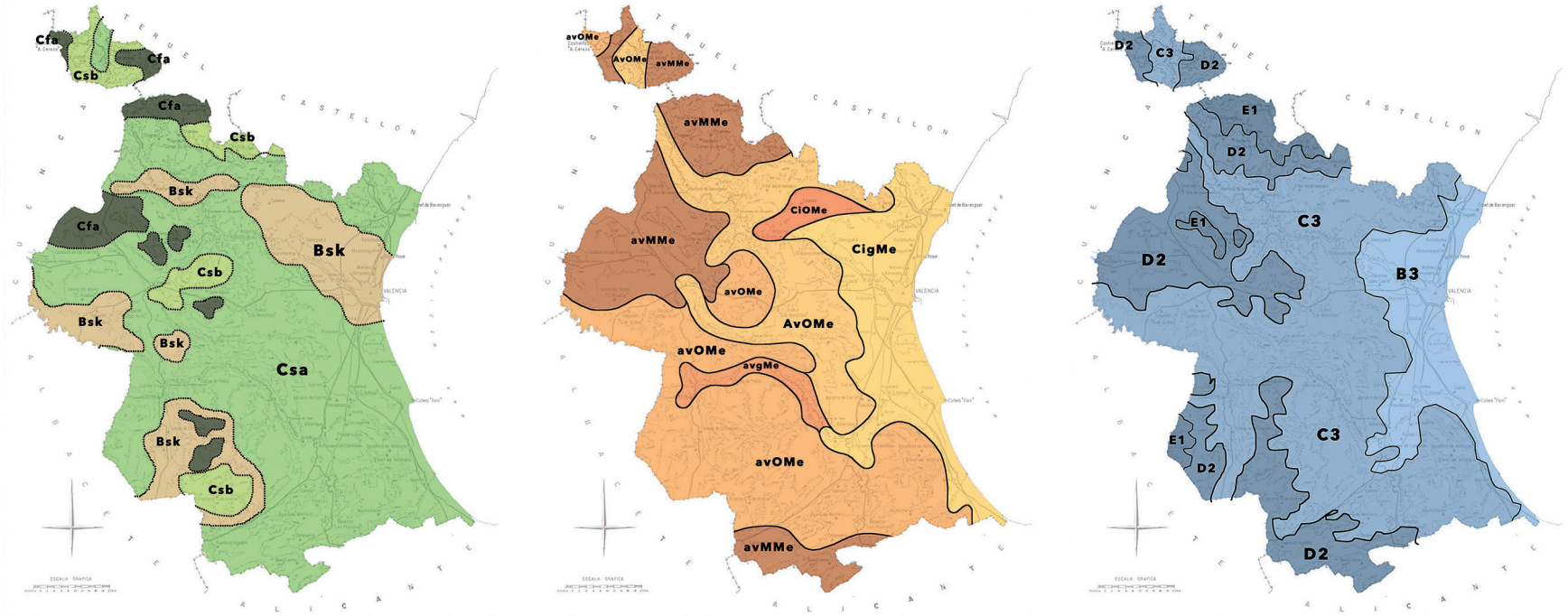


Fig. FA.1.08. Comparativa clasificaciones climáticas de la Provincia de Valencia sobre base cartográfica. De izquierda a derecha: Köppen-Geiger, Papadakis, CTE.

A efectos prácticos, en la edificación en España, la clasificación climática que se debe tener en cuenta es la del CTE, puesto que es de obligado cumplimiento la justificación de la disposición básica de Ahorro de Energía (DB-HE). Si la comparamos con las otras versiones estudiadas vemos que la distribución zonal es similar a ambas, con un punto de coincidencia mayor con la de Papadakis.

La principal crítica que se podría hacer al sistema de la normativa española es su distribución administrativa. De hecho en la *Guía técnica 012. Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (IDAE 2010: 125), redactada como ayuda para el cálculo de instalaciones de climatización por parte de los ingenieros, se recomienda tomar como capital de referencia la capital más cercana y no la de la provincia a la que pertenece la población estudiada.

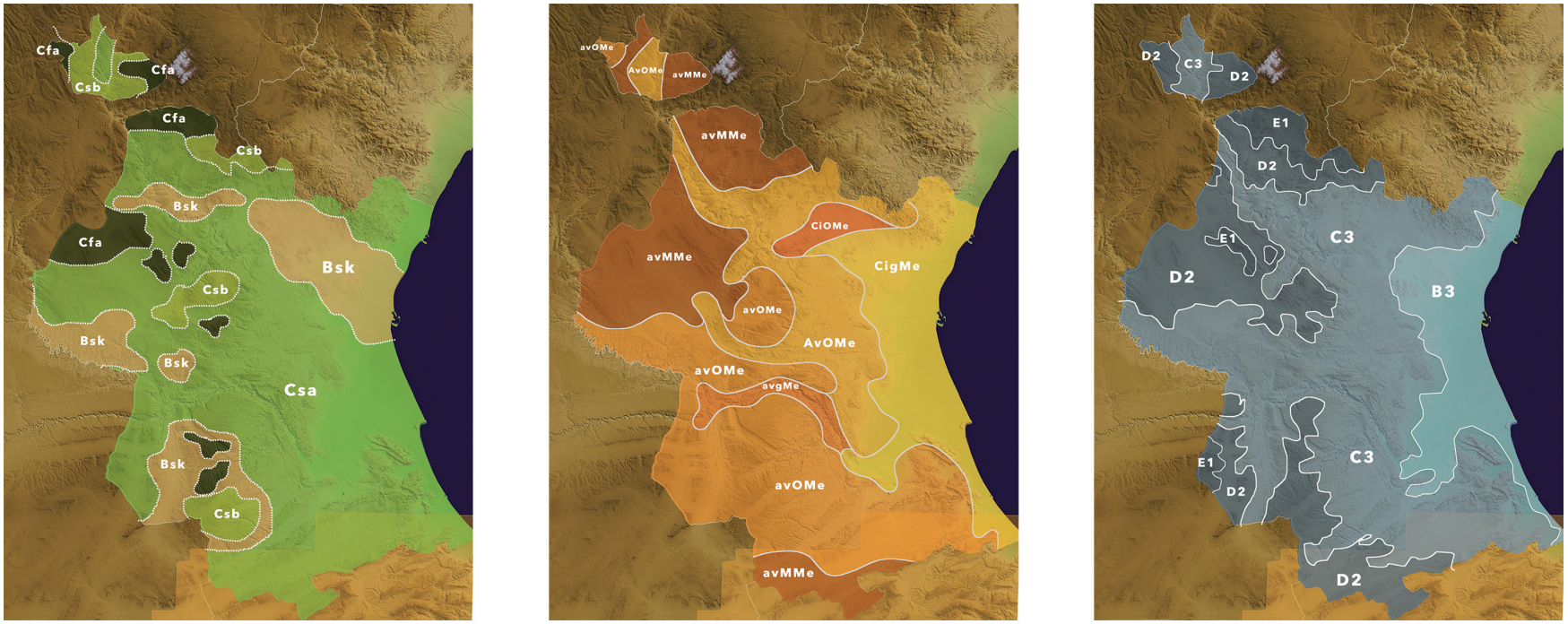


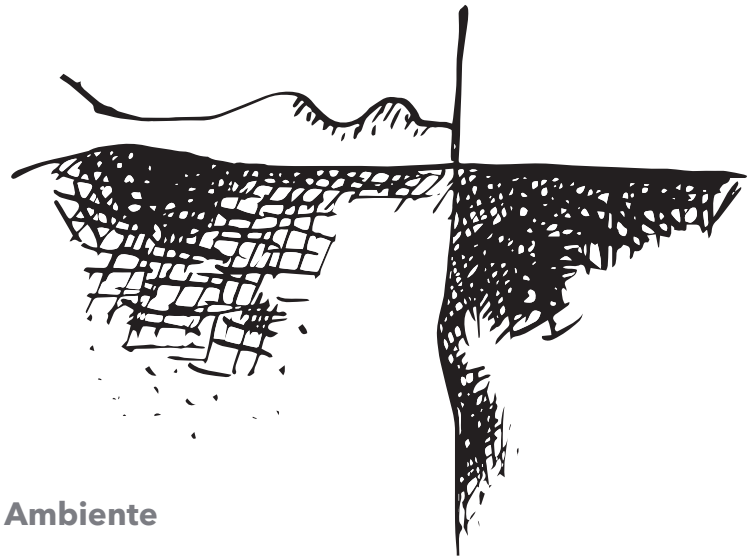
Fig. FA.1.09. Comparativa clasificaciones climáticas de la Provincia de Valencia sobre base topográfica. De izquierda a derecha: Köppen-Geiger, Papadakis, CTE.

Adicionalmente, tal y como hemos visto, es un sistema que basa sus variaciones, a nivel provincial, en la diferencia de altura. Como demuestran las otras clasificaciones, este es un parámetro importante pero no único; y aunque responde de manera similar con variaciones ligeras, tal vez debería tenerse en cuenta para próximas revisiones del documento.

Respecto de las implicaciones proyectuales, sería pertinente validar qué áreas resultan homogéneas frente a la aplicación de estrategias bioclimáticas y si tienen correlación con alguna de las clasificaciones climáticas.

A.2
milieu

A.2
ambiente



A.2. Ambiente

En la introducción del capítulo A se ha planteado el enfoque de la problemática analizando el término ambiente desde la semántica. También se ha tratado la percepción ambiental, comprobando que es compleja, multisensorial y variable en función de las personas, los lugares, el tiempo y las culturas. Esto no quita que para la sistematización, el aprendizaje y la puesta en práctica de la definición de un ambiente concreto, este deba traducirse en parámetros que podamos cuantificar y cualificar, al menos parcialmente. Por ello este apartado se plantea en términos físicos, concretamente termodinámicos.

Indudablemente la relación del ambiente térmico con el confort y su percepción es íntima, puesto que utilizar parámetros que reflejen una realidad que no percibimos se antoja insuficiente. Por ejemplo, con respecto a la percepción térmica, la temperatura del bulbo seco (medida con un termómetro de uso común), por sí sola, no refleja la sensación térmica; es necesario vincularla con otros parámetros como temperatura radiante, humedad relativa o temperatura de bulbo húmedo. También ocurre lo mismo con la evaluación acústica; la

medición estrictamente energética, en dB, no refleja las sensaciones sonoras; para ello se establece una escala de medida en dB(A) (decibelios audibles) que tiene una relación logarítmica, estrictamente matemática, con los decibelios energéticos.

Esta forma de actuar también se utiliza en otras energías ambientales, intentando establecer escalas de medición que relacionen parámetros físicos con los de percepción, realizando una corrección fisiológica en función del fenómeno. El problema es que, al contrario que ocurre con la audición, la percepción térmica no es sensiblemente igual en todos los seres humanos.

Aun así, en el ámbito térmico se ha realizado un gran esfuerzo en este sentido. De hecho, en los últimos 150 años se han establecido más de 100 índices térmicos – la mayoría de ellos basados en dos parámetros—intentando describir las condiciones complejas de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el entorno (Jendritzky, Maarouf et al. 2001:1). El último de ellos es el UTCI (*Universal Thermal Climate Index*), que se encuentra en sus últimas fases de desarrollo, utilizando información recogida a nivel estadístico en todo el mundo, y sobre el que tampoco existe completa unanimidad científica.

En el apartado A.1 la escala de análisis era global y en términos macroclimáticos, pero el comportamiento climático que más influye sobre la actividad humana es el denominado "clima cerca del suelo" (Geiger 1950:XVIII). Para caracterizarlo realizamos un recorrido del exterior al interior, repasando todos los parámetros en torno a los ambientes térmicos.

A.2.1. Preexistencias ambientales

En el ambiente natural de cada lugar existen manifestaciones energéticas típicas que podemos denominar "preexistencias ambientales". Estas características son básicamente climáticas, geográficas y urbanas, pero también pueden ser de otra

índole como social, cultural, económica, etc. (Serra Florensa, Coch Roura 1995:169)

Las preexistencias ambientales nos permitirán escoger una respuesta integrada climática, lumínica, acústica para cada lugar y son:[70]

Para el ambiente térmico:

- Radiación solar directa e indirecta (bóveda celeste)
- Pérdida de calor por radiación
- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Presión atmosférica y vientos
- Condensación y precipitaciones

Añadiendo desde el punto de vista global:

- Luminancia
- Composición y pureza del aire
- Sonido (acústica del lugar)
- Paisaje (entorno visual)

Radiación solar

Es un parámetro que se define como una radiación electromagnética emitida por el sol con diferentes longitudes de onda (desde 0,28 a 3,00 micras[71]). El espectro solar se divide en tres partes: la ultravioleta (rayos uva), la visible y la infrarroja. El ojo humano solo es capaz de captar una pequeña sección del total de ondas, parte visible, entre 0,4 y 0,76 micras de longitud de onda. Por debajo de 0,4 micras de longitud de onda nos encontramos en el rango ultravioleta y por encima de 0,76 micras en el rango infrarrojo. (Fig. FA.2.01)

En términos energéticos, el máximo de energía que recibimos se encuentra en el rango visible aunque más de la mitad es radiación infrarroja (Fig. FA.2.02). En la parte superior de la atmósfera la energía recibida oscila entre [1090 – 1200]

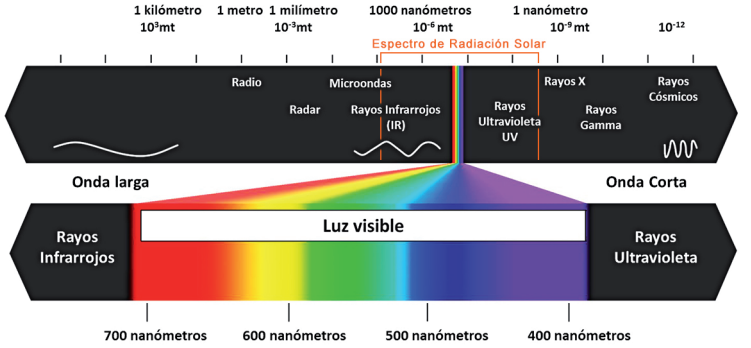


Fig. FA.2.01. Espectro electromagnético

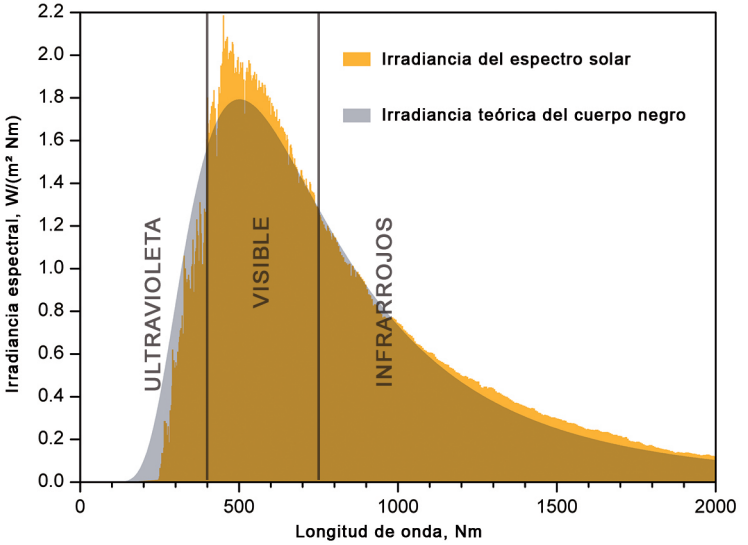


Fig. FA.2.02. Curva de energía/longitud de onda del espectro solar

70. Clasificación base tomada de (Serra Florensa, Coch Roura 1995) y modificada por el autor.

71. Micra: millonésima parte de un metro o milésima parte de un milímetro.

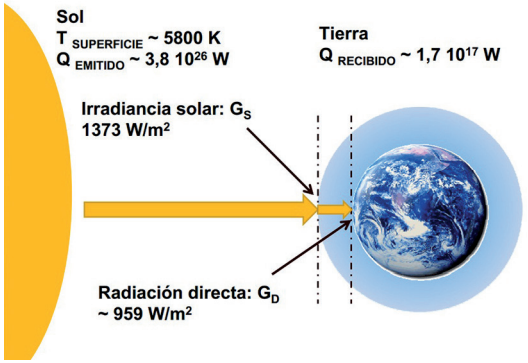


Fig. FA.2.03. Energía solar recibida. Constante solar

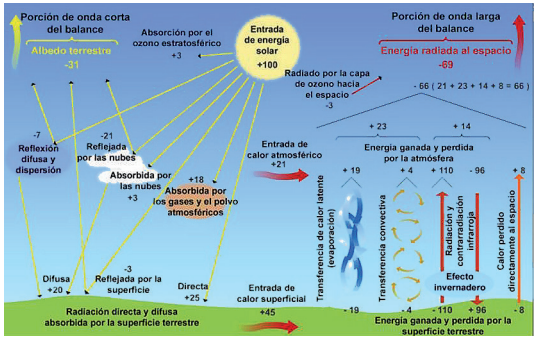


Fig. FA.2.04. Balance energético de la Tierra

72. En realidad, la constante solar, no es una constante puesto que, como ya hemos visto, varía. De todos modos, esta es la denominación que se le da en el ámbito científico y el valor que se utiliza para los cálculos climáticos puesto que sus márgenes de oscilación son estrechos.

73. Todos los porcentajes dependen del modelo utilizado y de la radiación total recibida, pueden oscilar entre un 41% - 51%.

74. La radiación total que incide se denomina Radiación Global y está compuesta por una parte directa y otra difusa, proveniente de la bóveda celeste, que es la parte reflejada por las nubes y el vapor de agua.
Radiación global (G) = Radiación directa (I_D) + Radiación difusa (I_d)

Kcal/h/m² (aprox. [1270 – 1400] W/m²), dependiendo de la distancia de la Tierra al Sol y de la actividad solar. La media, denominada constante solar[72] y que en la actualidad se calcula con satélites es de 1200 Kcal/h/m² (1373 W/m²) (Fig. FA.2.03). Pero esta no es la radiación que llega a la superficie terrestre puesto que debe atravesar 8 Km de atmósfera terrestre donde se produce un fenómeno de absorción y otro de reflexión.

Parte de la radiación es absorbida selectivamente en función de la longitud de onda. La mayoría de rayos ultravioleta y todas las ondas con longitud de onda menor a 0,288 micras son absorbidas por el ozono (O_3). Además una parte apreciable de los rayos infrarrojos son absorbidos por el vapor de agua (H_2O) y el dióxido de carbono (CO_2). En total, aproximadamente un 21% de la energía total es absorbida por la atmósfera (18%) y las nubes (3%).

Otra parte de la radiación es reflejada principalmente por el agua en suspensión en la atmósfera y es un efecto no selectivo, es decir afecta a todas las longitudes de onda por igual y por tanto la parte visible reflejada es luz blanca. Otra parte también es reflejada por partículas y moléculas más pequeñas del aire y en este caso sí que es un fenómeno selectivo que depende de la cuarta potencia del inverso de la longitud de onda lo que supone que se reflejan más las longitudes de onda pequeñas, azules y violetas, que le da el color característico del cielo. Ninguna de las dos reflexiones es direccional, es decir se produce en todas direcciones y parte se refleja hacia el interior y otra parte hacia el exterior. Cuantitativamente, hacia el exterior, un 21% de la energía es reflejada por el vapor de agua y un 7% por el resto de partículas de la atmósfera.

Finalmente se produce otro efecto de reflexión sobre la superficie de la tierra que devuelve un 3% de la energía recibida al espacio, que se denomina "albedo". En definitiva, a los continentes y océanos llega un 45% de la energía total (25% directa y 20% difusa)[73] [74].

Este balance térmico (Fig. FA.2.04) se completa con las radiaciones de onda larga que hacen que la tierra ceda calor al espacio, si no fuera así estaría cada vez más caliente, aunque el efecto invernadero parece que ha roto este equilibrio. Aun así sigue siendo un sistema muy eficiente de enfriamiento que es válido también para los edificios.

Como es sabido, la radiación solar es un parámetro básico a tener en cuenta en la disposición y orientación de edificios, probablemente el más importante de todos ellos porque con un buen diseño en este aspecto, es posible minimizar muchísimo las necesidades de calefacción y refrigeración de los edificios.

La cantidad de energía que llega a la tierra hemos visto que es "constante", pero en cada punto concreto de la superficie terrestre, la cantidad de energía disponible depende del ángulo con el que la radiación incide y es necesario considerarlo como dato de partida. El ángulo de incidencia solar depende de dos tipos de parámetros:

- Espaciales: A menor latitud (más cerca del ecuador) la altura angular del Sol es mayor, por consiguiente la cantidad de energía recibida es mayor.
- Temporales: La posición relativa del Sol y la Tierra a lo largo del año va variando lo que se traduce en la modificación de la trayectoria solar en el cielo. En las horas centrales del día la cantidad de energía disponible es mayor, así como en las estaciones de primavera y verano.

Para el cálculo de la posición exacta del Sol en una latitud y tiempo concretos existen múltiples herramientas gráficas, las cartas solares. Las más habituales actualmente empezaron a desarrollarse a principios del siglo XX pero tienen sus orígenes mucho antes. Es bien sabido que en todas las civilizaciones prehelénicas que han dejado vestigios arquitectónicos, se puede constatar el hecho de que el conocimiento de las trayectorias solares era un dato de partida para sus proyectistas (Higón Calvet 2003:15).

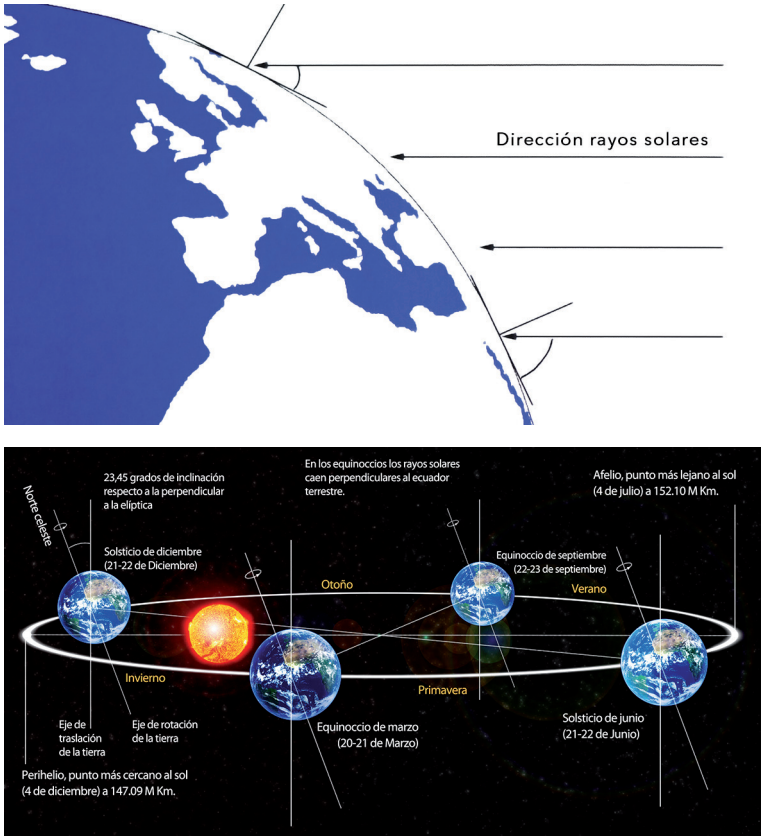


Fig. FA.2.05. (arriba) Variación del ángulo de incidencia solar en función de la latitud (abajo) Posiciones relativas Sol-Tierra en las diferentes épocas del año

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

En *Let it Shine: The 6000-Year Story of Solar Energy* (2013), John Perlin realiza un detallado repaso del uso de la energía solar para el beneficio humano, donde demuestra como en la antigua China (6000 a.C.) se hicieron estudios de la posición del sol y sus recorridos con lo que se dedujo que las casas debían estar orientadas al sur para captar el sol de invierno. También resalta como Aristóteles enseñaba a sus alumnos el valor de diseñar casas que aprovecharan el máximo de sol en inverno pero permanecieran en sombra y frescas en verano (Perlin 2013:22). Continúa con Vitrubio[75] y la arquitectura solar romana de las termas[76] hasta llegar hasta nuestros días.

Fig. FA.2.06a. Termas de Diocleciano (arriba, 298-305 d.c.) Fachada principal orientada a SO.

Fig. FA.2.06b Termas de Caracalla (212-217 d.c.) Fachada principal orientada a SO.

75. La preocupación por las relaciones entre el lugar y el proyecto de arquitectura, con relación a la incidencia solar, además del concepto de gnomónica como disciplina pueden encontrarse por primera vez en Los diez libros *De Architectura* de Vitrubio (Higón Calvet 2003:23).

En la traducción al castellano de Joseph Castañeda de 1761, a partir de la versión en francés de Claude Perrault, puede leerse en el Libro Primero, Capítulo Tercero, Artículo Segundo:

La posicion de una Ciudad depende de su situacion relativa al Cielo y respecto a los ayres.

La posicion de las Casas y de sus partes pende de dos cosas, á saber:

I. De sus calidades y usos, según los cuales se deben situar diversamente.

Lugares para encerrar frutos

Salas de comer en Invierno y Baños

Bibliotecas

Salas de comer en Primavera y Otoño

Quartos de Verano

Los Gavinetes de Pinturas y Obradores de Pintores

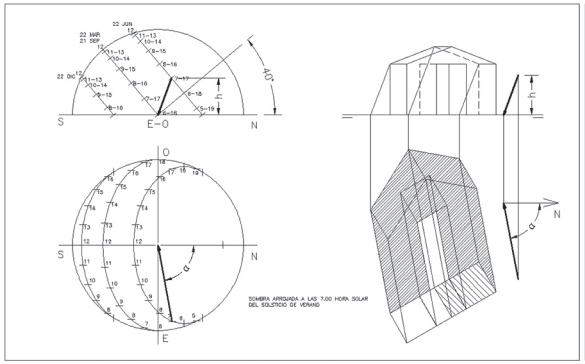
II. De la naturaleza de los Paises

Para cada una de las estancias, según su uso,da las indicaciones adecuadas con respecto a asoleamiento y ventilación. Además en el apartado II. reconoce la diferencia de unos países a otros:

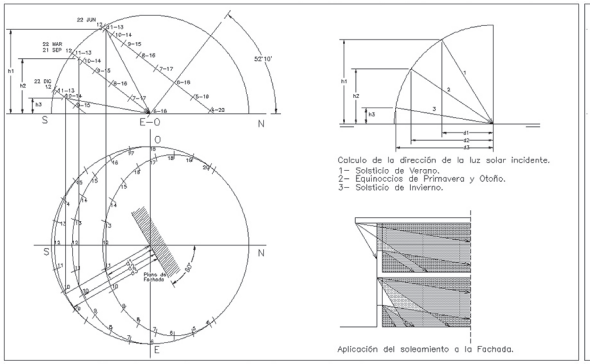
"No menos atencion merecen los diversos Paises, en que los Edificios, por los excesos de calor ó frio, requieren situaciones, posiciones y disposiciones diversas. En los Paises Septentrionales deben estar la Casas embobedadas, tener pocas aberturas, y estar vueltas ácia las partes del Mundo en donde mas reyna el calor; y al contrario, en las Regiones calurosas y Meridionales deben tener grandes aberturas que miran al Septentrion, para que el arte y la industria remedien las incomodidades que tienen los sitios por naturaleza."

76. En su libro, Perlin, dice que los romanos colocaban huecos más grandes y acristalados en las fachadas suroeste de sus edificios de baños y termas. Estas eran las fachadas principales y su orientación se tenía en cuenta para la disposición del edificio. Además indica que Séneca dejó escrito que "esas ventanas gigantes atrapaban tanto calor solar que a última hora de la tarde los bañistas se hervían dentro de los baños" (2013:28).

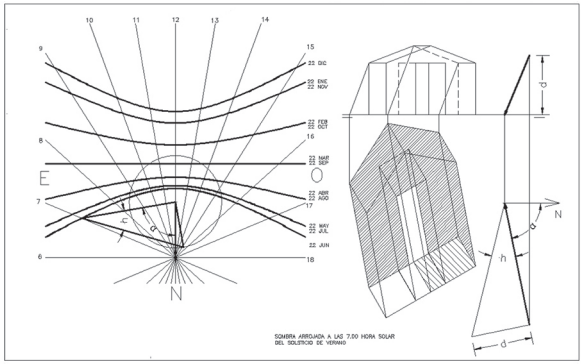
Es destacable también el sistema de calefacción con el que contaban las termas romanas denominado hipocausto y que consistía en un sistema de conductos que discurrían por el interior de los muros y por los que circulaba agua caliente y aire caliente proveniente de la quema de grandísimas cantidades de madera. Así se aprovechaba el efecto de temperatura radiante, muy efectiva para la calefacción de espacios grandes.



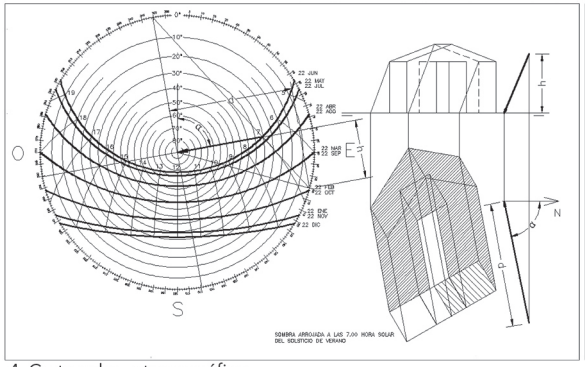
1. Carta solar de Fischer - cálculo en planta



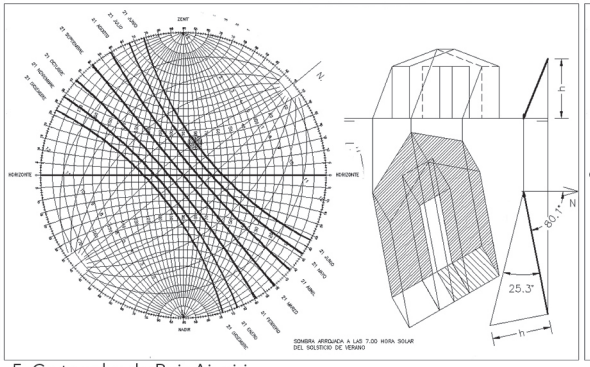
2. Carta solar de Fischer - cálculo en alzado



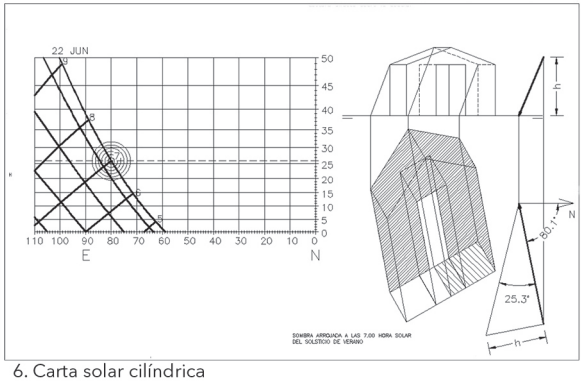
3. Diágrama gnomónico



4. Carta solar estereográfica



5. Carta solar de Ruiz Aizpiri



6. Carta solar cilíndrica

Todas las cartas solares resultan de la proyección de las trayectorias solares sobre distintos tipos de superficies (planas, cilíndricas, esféricas) y finalmente lo que permiten es el cálculo del vector solar que define el ángulo de incidencia de los rayos y por consiguiente, calcular la entrada de radiación directa a través de los huecos y las máscaras de obstrucción solar.

En términos no geométricos, la energía que llega a una superficie puede ser calculada en base a la constante solar, a las reducciones por los fenómenos ya

Fig. FA.2.07. Clasificación de cartas solares. Dibujos y esquemas extraídos de:

Higón Calvet, José Luis, 2003. *Contribuciones al estudio del asoleo geométrico. Procedimientos para el cálculo del factor de obstrucción solar. Aplicaciones.*

En el capítulo B se realiza un análisis más detallado de las cartas solares incluyendo *Les épures du soleil*, herramienta desarrollada por Ianis Xenakis en el *Atelier Le Corbusier* a principios de la década de los cincuenta.

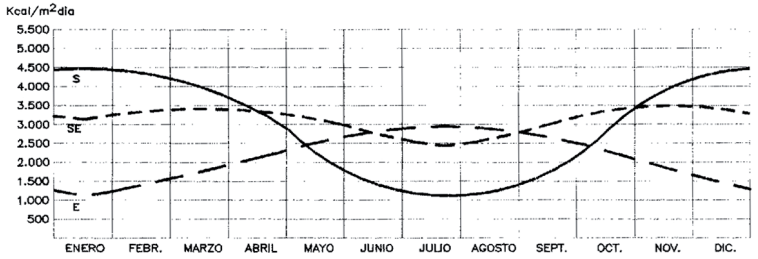


Fig. FA.2.08. Radiación para un muro vertical a lo largo del año para latitud 40°

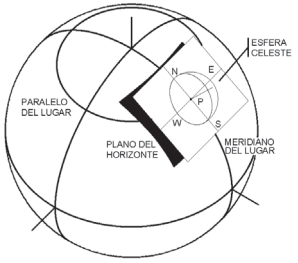


Fig. FA.2.09. Plano horizontal sobre una latitud terrestre concreta

reseñados y según el ángulo de la superficie, pero este cálculo es teórico puesto que sólo representa la radiación directa y en la realidad hay otras tres componentes: la radiación difusa, el albedo y la cobertura nubosa. Para la obtención de estos datos es habitual recurrir a la información facilitada por entidades públicas que cuentan con series estadísticas de datos lo suficientemente amplias como para considerar válidos los valores promedio.

Estos datos, aunque se puedan obtener también para un plano vertical en diferentes orientaciones (Fig. FA.2.08), se dan habitualmente para una superficie horizontal (Figs. FA.2.10 y FA.2.11). Los redacta la Red Radiométrica Nacional (RRN) que depende de la AEMET y los datos medidos son la irradiancia global y la directa (la difusa debe calcularse por resta de las otros dos ya que no es posible medirla directamente). Además se publican mapas para periodos anuales, estacionales y mensuales, así como diagramas de barras con los mismos parámetros para las capitales de provincia.

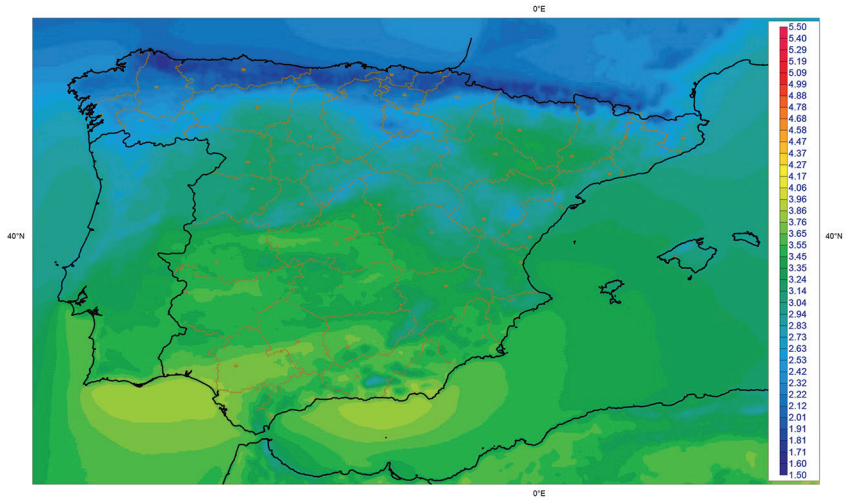


Fig. FA.2.10. Irradiancia directa media. Periodo [1983-2005]. (Kwh/m²dia)

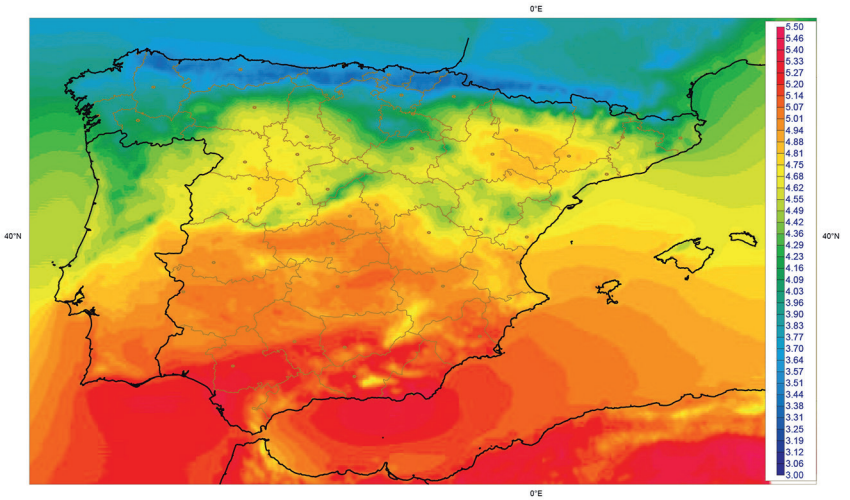


Fig. FA.2.11. Irradiancia global media. Periodo [1983-2005]. (Kwh/m²dia)

Pérdida de calor por radiación

En la Fig. FA.2.04 podíamos observar como en el balance térmico de la tierra, además de la energía recibida se produce una cesión de calor. Esta se realiza principalmente por radiación de onda larga y depende de la ley de Stefan-Boltzman, por tanto de la diferencia de temperatura de la superficie de la tierra y del medio de absorción que en este caso es la atmósfera y el espacio exterior.

Los gases que componen la atmósfera absorben y emiten energía, pero no como un cuerpo negro (en todo el espectro) sino que de manera selectiva, tal como veíamos antes, de manera que dejan pasar prácticamente todo el espectro ultravioleta, absorbiendo parte del infrarrojo y transmitiendo el resto hacia el espacio exterior.

Así la energía descargada por la tierra menos la recibida de vuelta por el efecto de la atmósfera se denomina "enfriamiento radiante neto". Cuando el cielo está muy nublado sus valores son muy reducidos. Esto se debe a que las partículas de agua de las nubes absorben y emiten todo el espectro de onda larga emitido por la tierra, en contraste con la absorción selectiva del vapor de agua, y entonces toda la radiación cedida es completamente absorbida por la base de la nube. Por el contrario cuando la atmósfera está clara y seca los valores de enfriamiento se elevan.

Los valores de reducción del enfriamiento por la cobertura nubosa son según Rudolf Geiger:

Nubosidad (1-10)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% de radiación	100	98	95	90	85	79	73	64	52	35	15

Tabla TA.2.01 Porcentaje de enfriamiento radiante neto según la cobertura nubosa (Givoni 1969:6)

También influyen decisivamente en este efecto la polución y los gases invernadero, que de ahí reciben su nombre, puesto que no permiten que la

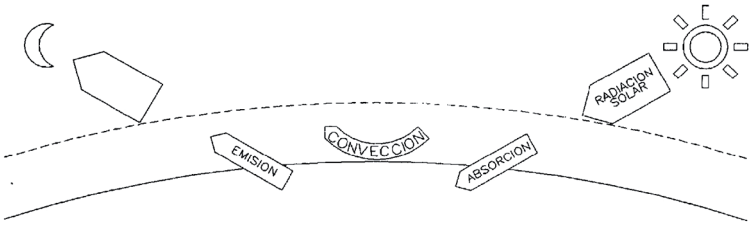


Fig. FA.2.12. Ciclo calentamiento-enfriamiento del aire atmosférico

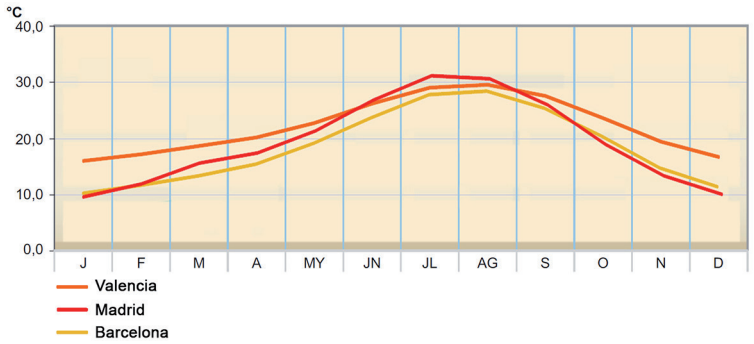


Fig. FA.2.13. Media mensual de temperaturas en Valencia-Madrid-Barcelona

tierra se enfríe lo suficiente durante la noche desequilibrando el balance energético con el consiguiente sobrecalentamiento del planeta.

Este efecto, aunque es mayor en climas desérticos y se torna básico para afrontar las altas temperaturas diurnas, puede utilizarse en muchos climas ya que tal y como vemos en la Tabla TA.2.01 hasta con coberturas nubosas de 5 sobre 10 se produce un enfriamiento del 79%, siempre que la humedad ambiental no sea muy elevada porque reduce sensiblemente su efecto también.

Temperatura del aire

Se entiende como tal, la temperatura de bulbo seco o temperatura seca y se puede medir con un termómetro convencional. Debe ser considerada junto con otros parámetros para definir correctamente las sensaciones térmicas pero, por su facilidad de obtención, es el parámetro más directo y utilizado en los estudios iniciales de adecuación y confort ambientales.

Se trata de una característica que depende del clima a diferentes niveles (clima, topoclima y microclima) y principalmente del asoleo. En realidad su influencia es indirecta puesto que el aire es transparente a casi toda la radiación solar y su grado de calentamiento depende fundamentalmente de la temperatura de la superficie terrestre que, durante el día, especialmente en verano y primavera, calienta las capas inferiores por conducción (Fig. FA.2.12). Posteriormente, debido al efecto de convección el calor se transmite a capas superiores mediante corrientes ascendentes y vientos. Por las noches, más intensamente en invierno, cuando la temperatura de la superficie terrestre es habitualmente menor a la del aire, debido al efecto de enfriamiento radiante, el flujo de intercambio de calor se invierte y con él toda la secuencia.

La temperatura varía siguiendo aproximadamente dos ciclos, uno de periodo diurno y otro anual (Fig. FA.2.13), más o menos homogéneos, similares a los de potencia radiativa del sol. La distribución también es sinusoidal, pero con

máximos y mínimos que se encuentran retardados respecto a los máximos y mínimos del asoleo. Este efecto se denomina "*decalage* de temperatura" y se debe a la capacidad calorífica o inercia de la superficie terrestre que, una vez alcanzado el máximo de radiación, sigue aumentado su temperatura y empieza a cederla al aire más tarde.

En el ciclo de veinticuatro horas, la temperatura máxima diaria tiene lugar a media tarde y la mínima aproximadamente al amanecer mostrando un retraso con el flujo neto radiativo (Fig FA.2.14). En el anual, la temperatura máxima en el hemisferio norte se alcanza en julio con casi un mes de retraso con respecto al máximo de insolación que se produce en el solsticio de verano (20-21 junio). La temperatura mínima se alcanza a finales de enero o en febrero siendo que el mínimo de insolación se produce en el solsticio de invierno (21-22 diciembre).

Como vemos la inercia es básica en las oscilaciones térmicas. Las grandes masas de agua tienen un índice de reflexión muy bajo, absorben prácticamente toda la radiación que les llega, pero sobre su superficie se produce evaporación en la que se emplea gran parte del calor incidente y en consecuencia experimentan menos variaciones de temperatura. Es decir, su menor amplitud térmica produce un efecto amortiguador que se extiende a las regiones cercanas y las variaciones de temperatura día-noche, en los climas oceánicos o mediterráneos, son pequeñas (3ºC en días nublados, 10ºC en días claros). Por el contrario en las áreas continentales y desérticas las oscilaciones térmicas son más acusadas, tanto en el ciclo diario como en el anual.

A escala geográfica, la temperatura del aire depende de:

- La latitud: con ella varía el ángulo de incidencia solar y con él su capacidad de calentamiento. Además a menor ángulo mayor es el espesor de atmósfera que tiene que ser atravesado.

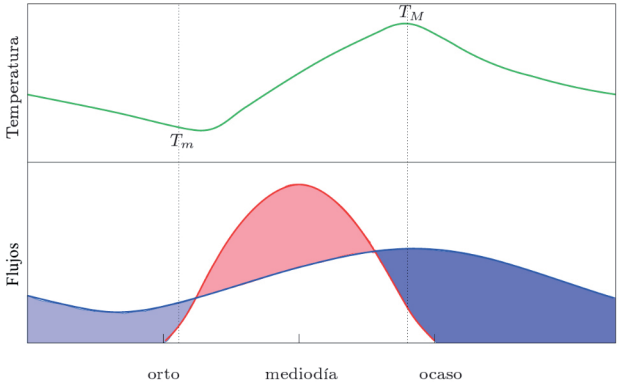


Fig. FA.2.14. *Decalage* radiación-temperatura en el periodo diario

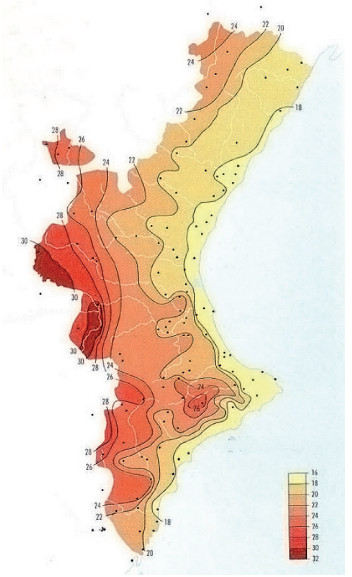


Fig. FA.2.15. Índice de continentalidad de Gorezynski para la Comunidad Valenciana. Se define en base a la amplitud térmica (A) y la latitud (L):

IC = 1.7*(A) / sen(Lat) - 20.4

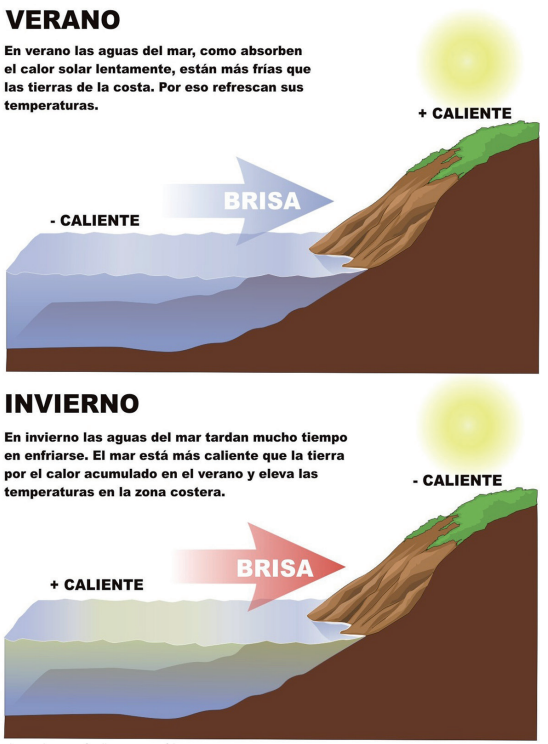


Fig. FA.2.16. Efecto de masas de agua sobre la temperatura del aire y la amplitud térmica

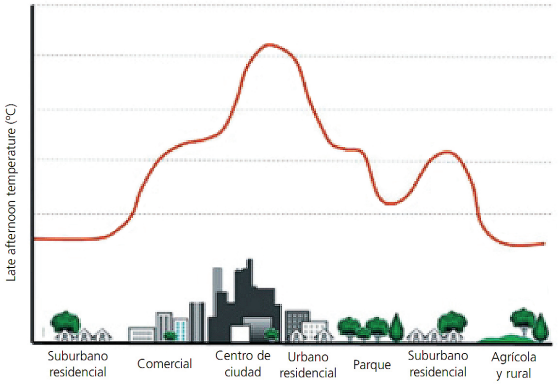


Fig. FA.2.18. Isla de calor en áreas urbanas. Gráfica de temperatura al final de la tarde. En ingles se denomina *Urban canopy layer*

- La elevación sobre el nivel del mar: cada 100m de altura se reduce la temperatura 0,5°C. A mayor altura la presión es menor con lo que el aire se expande y enfría.
- La cercanía de masas de agua: debido a su inercia térmica y su influencia en los rangos de amplitud térmica.
- La morfología del terreno: que puede condicionar fuertemente la capacidad de recibir radiación y otros fenómenos climáticos como,
- La exposición al viento: según la situación puede enfriar o calentar, reducir la humedad o aumentarla.

A escala topográfica:

- Relieve: situaciones concretas de orientación, altura relativa respecto al entorno, protección o exposición a vientos influyen ampliamente en este parámetro hasta el punto de cambiar totalmente las características climáticas con respecto a un área mayor. Por ejemplo durante el proceso de inversión conductiva, cuando el aire en contacto con la superficie terrestre se enfría y por tanto se hace más denso, se elimina la convección y tiende a quedarse en áreas bajas, como los valles, donde la temperatura puede ser varios grados más baja que en zonas cercanas pero más altas.

Figura FA.2.17 Estratificación térmica local en valles

- Tipo de terreno: Es importante por el efecto de absorción de la radiación solar. Los terrenos urbanizados se calientan mucho más que el natural, pero no almacenan ese calor sino que lo reemiten rápidamente. Esto produce el efecto denominado isla de calor que se da en las ciudades. (Fig. FA.2.18)

- Vegetación: Produce sombra reduciendo la radiación y en general permite una atenuación de la oscilación térmica. Aumenta la humedad ambiental en el entorno inmediato y modifica las corrientes de aire.

Humedad del aire

La humedad atmosférica es el contenido de vapor de agua en el aire, adquirido por evaporación principalmente de la superficie oceánica pero también del agua presente en los acuíferos, la vegetación y masas pequeñas de agua como ríos y lagos.

La capacidad del aire de almacenar vapor de agua se incrementa progresivamente con el aumento de la temperatura. Por consiguiente la distribución de vapor en la atmósfera terrestre no es uniforme sino que es mayor en las zonas ecuatoriales y va reduciéndose hacia los polos, variando en paralelo a la distribución de radiación solar y de temperatura.

Para medir la cantidad de humedad en el aire se utilizan varios parámetros como humedad absoluta, humedad específica, presión de vapor o humedad relativa.

La humedad absoluta es la masa de vapor de agua por volumen de aire (g/m^3) mientras que la humedad específica relaciona las masas de ambos (g/Kg)[77]. La presión de vapor es la parte de toda la presión atmosférica que se debe exclusivamente al vapor de agua (mmHg) y en realidad es el parámetro que fisiológicamente mejor define la sensación de humedad en el aire porque el ratio de evapotranspiración de nuestro cuerpo es proporcional al diferencial de presión de vapor entre la superficie de la piel y el aire circundante. Aun así, el parámetro más utilizado es la humedad relativa (%) que mide, en porcentaje, la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, referido al máximo que podría contener para una temperatura.

La humedad relativa está sujeta a amplias variaciones diarias y estacionales sobre las que influyen la cercanía al mar, los vientos, la altura relativa, la vegetación

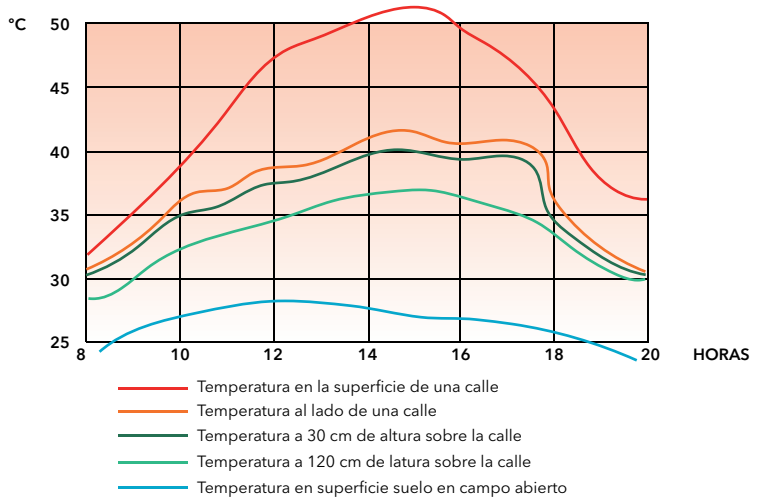


Fig. FA.2.19. Comparativa de temperatura en zonas con pavimento urbano y con cobertura vegetal.

77. La unidad de masa del Sistema Internacional es el kilogramo (Kg), pero en la literatura científica se utiliza habitualmente el gramo (g) en estas magnitudes.

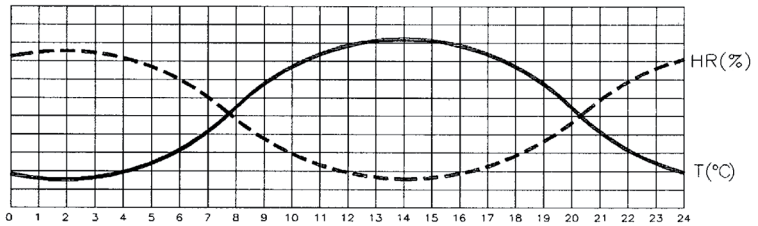


Fig. FA.2.20. Variaciones diarias de temperatura y humedad relativa

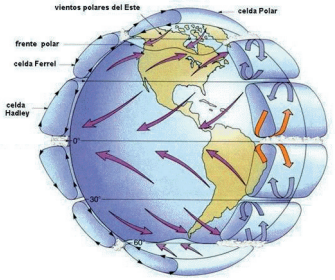


Fig. FA.2.21. Sistema planetario de vientos

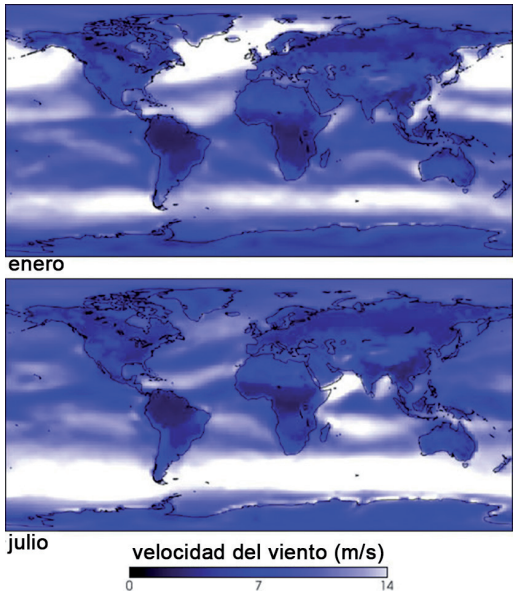


Fig. FA.2.22. Velocidad del viento en enero y julio. Modelo informático según datos estadísticos de estaciones meteorológicas

y obviamente la temperatura. Las oscilaciones se manifiestan en general en sentido contrario a las oscilaciones de esta, como es lógico la humedad relativa es mayor de noche que de día, en invierno que en verano, en otoño que en primavera. (Fig. FA.2.20)

Debido a que la humedad relativa depende de la temperatura, puede sufrir variaciones amplias mientras que la presión de vapor permanece prácticamente constante. Esto explica que con bajas temperaturas podamos notar sensación de incomodidad por la humedad, aunque en cualquier caso la sensación térmica global principalmente depende de la temperatura modificada por la humedad relativa como parámetro que mide la capacidad del aire para absorber la humedad que genera nuestra sudoración.

Presión atmosférica y vientos

> "El signo de hoy es el aire, donde la arquitectura podrá encontrar la trascendencia que encontró en la luz"
>
> Manuel Casanueva Barroso (1992)

La distribución y características de los vientos en una región están determinadas por varios parámetros globales y locales. Principalmente por la existencia de masas de aire a diferente temperatura y presión, pero también por la rotación terrestre, la presencia o ausencia de masas de agua y particularmente por la topografía de la región o área estudiadas.

El viento puede afectar a las características de temperatura, puede favorecer la ventilación de espacios interiores y reducir la humedad, así como dispersar la cantidad de contaminación atmosférica o modificar la percepción de ruidos locales.

El sistema planetario de vientos se divide en tres anillos en cada hemisferio (Fig. FA.2.21) donde se producen los vientos: alisios (entre las latitudes 30°N-30°S)

que giran en sentido contrario en cada hemisferio, del oeste (entre las latitudes 30°N-60°N y 30°S-60°S) y polares. Adicionalmente existen los vientos monzónicos que son el resultado de las diferencias anuales de temperatura entre el mar y los continentes.

A nivel de la edificación y las ciudades, más que estos vientos planetarios, son influyentes los vientos regionales y los locales con mayor grado de variabilidad. Es necesario conocer sus regímenes en las zonas donde actuemos puesto que es el factor principal para determinar la posibilidad de aprovechamiento de la ventilación natural como mecanismo de disipación del calor almacenado.

En los datos que recogen las estaciones meteorológicas es habitual recoger los datos de dirección y velocidad del viento, traduciendo los datos de manera estadística a altos porcentajes de probabilidad. Se clasifican en función, por un lado, de su velocidad según diferentes escalas de medición (como por ejemplo la de Beaufort, tabla TA.2.02; o la simplificada, tabla TA.2.03) y, por otro lado, según los datos de dirección, frecuencia, intensidad, temperatura y humedad que se representan de forma gráfica con las rosas de los vientos para diferentes periodos (años, estaciones, meses) (Fig. FA.2.22).

GRADO	TIPO	VELOCIDAD
0	calma	0 - 1 Km/h
1		2 - 6 Km/h
2		7 - 12 Km/h
3	flojo	13 - 18 Km/h
4		19 - 26 Km/h
5		27 - 35 Km/h
6	fresco	36 - 44 Km/h
7		45 - 55 Km/h
8	duro	56- 65 Km/h
9		66 - 77 Km/h
10	temporal	78 - 90 Km/h
11	borrasca	91 - 104 Km/h
12	huracán	> 105 Km/h

TIPO	VELOCIDAD
débil	< 12 Km/h
medio	12 - 30 Km/h
sostenido	31 - 50 Km/h
fuerte	51 - 70 Km/h
temporal	71 - 90 Km/h

Tabla TA.2.02. (izq.) Clasificación de viento de Beaufort ; Tabla TA.2.03. (dcha.) Clasificación simplificada

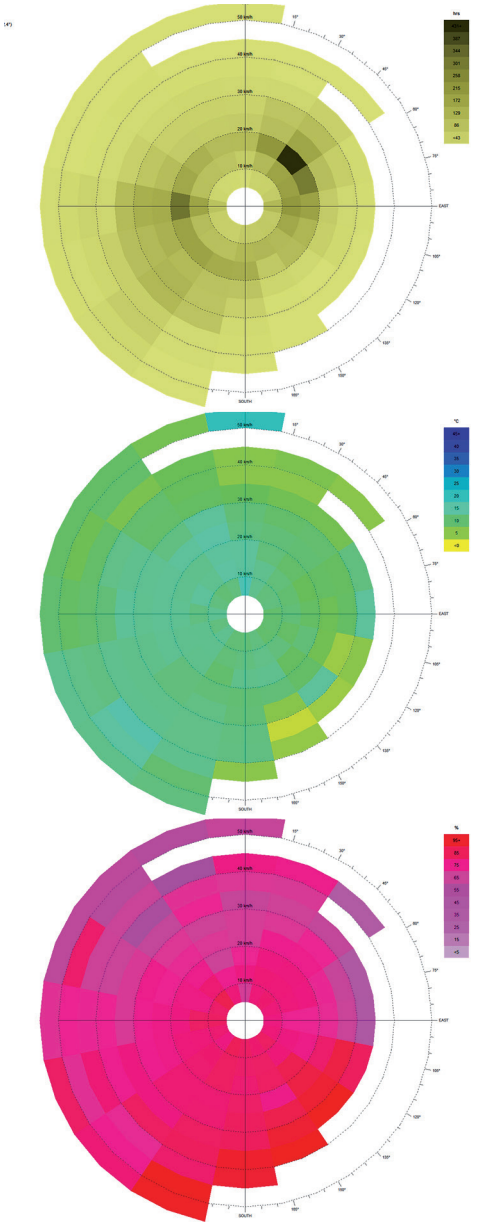


Fig. FA.2.22. Rosas de los vientos de la ciudad de París.
Arriba. Frecuencia - Medio. Temperatura media - Abajo. Humedad relativa media

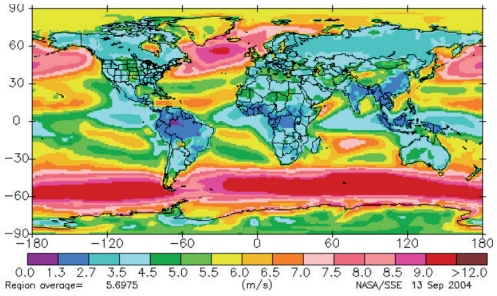


Fig. FA.2.23. Velocidad del viento. Altura 10 m, estaciones de toma de datos en aeropuertos

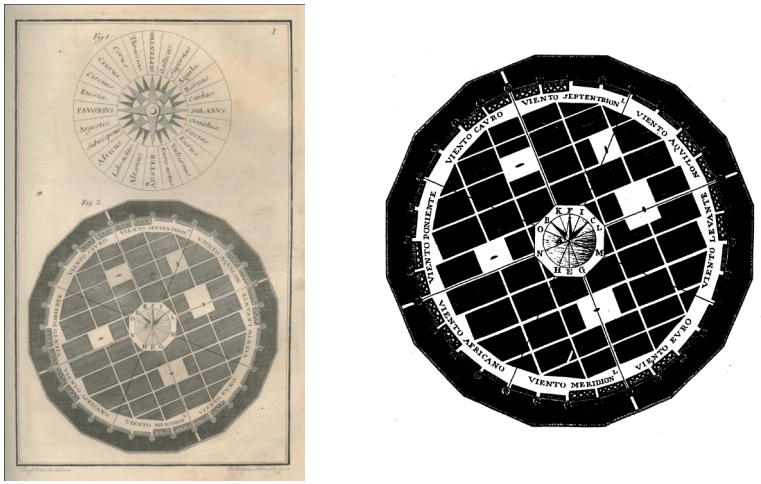


Fig. FA.2.24. Rosa de los vientos y planta tipo de ciudad diseñada para protegerse del viento. (Lámina y detalle) Incluida en Los diez libros *De Architectura* de Vitrubio. (De Architectura I, 6).

Los principales vientos son ocho: Solano (E), Euro (SE), Austral (S), Ábrego (SO), Favonio (O), Cauro (NO), Septentrión (N) y Aquilón (NE); pero el tratadista llega a nombrar veinticuatro vientos, dividiendo cada uno de los ocho sectores circulares en tres partes iguales, estableciendo doce ejes que nombra con las letras del abecedario y que permiten identificar los vientos por su dirección además de por su nombre. También reconoce que hay vientos específicos en ciertas localizaciones que los oriundos saben nombrar y que no están incluidos en su clasificación.

Las mediciones, por norma general, se realizan en campo abierto a una altura de diez metros, donde no haya obstáculos, muy por encima de la altura a la que las personas van a percibir el viento y en consecuencia, debido a la especificidad de las zonas urbanas construidas, los valores frecuentes es normal que puedan verse sustancialmente alterados.

El estudio del comportamiento de las corrientes de aire en entornos urbanos es en la actualidad un campo reciente de investigación abierto en el que se proponen nuevas metodologías para aplicar los principios de la aerodinámica y mejorar el uso de los espacios públicos aumentando la permanencia en ellos y mejorando las posibilidades de ventilación de edificios (Bustamante, Jans et al. 2014:28).

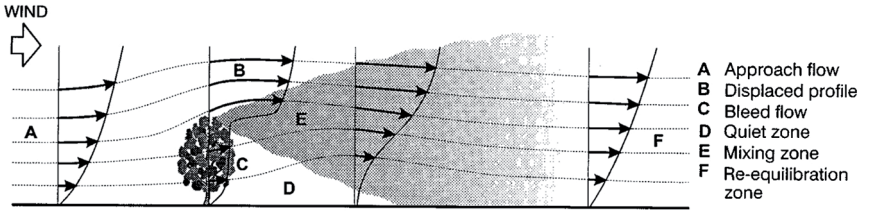


Figura FA.2.25. Influencia de la vegetación en el viento. Zonas modificadas por la presencia de una sola fila de árboles con permeabilidad media.

Vitruvio, en sus tratados, ya establece una relación directa entre el viento y otros fenómenos atmosféricos de modo que debe tenerse en cuenta a la hora de proyectar. El arquitecto, Fernando de Terán planteó diseños urbanos de manera que se establece la orientación de las calles para mejorar la penetración de las brisas del verano, mientras que proporciona refugio contra los vientos del invierno frío, al igual que ocurre en muchos de los pueblos pesqueros del Mediterráneo.

Para el diseño de edificios y espacios urbanos, el desafío es grande, debido a la influencia de distintas variables poco estudiadas. De entre las variables

meteorológicas menos estudiadas en relación a las ciudades se encuentra el viento y acaba siendo imprescindible tenerlo en cuenta, porque es básico para mejorar el diseño y por tanto mejorar la calidad de vida en las ciudades. Se define así una nueva disciplina que podemos denominar "urbanismo aerodinámico" (Higueras García 2013) y que necesariamente debe apoyarse en los modelos digitales 3D y en los cálculos realizados por ordenador debido a su carácter dinámico.

Condensación y precipitaciones

Cuando el aire que contiene una determinada cantidad de vapor de agua se enfría, su capacidad de almacenar agua se reduce, incrementando la humedad relativa. Cuando esta es del 100% el aire se considera saturado y si sigue bajando la temperatura del aire se produce condensación en forma de rocío, niebla o lluvia. La temperatura a la que el aire o cualquier otro material se saturan se denomina punto de rocío y depende únicamente de la presión de vapor, es decir de la cantidad de agua que hay en el aire.

El enfriamiento del aire se puede producir por tres procesos:

- Contacto con superficies más frías. Por ejemplo la superficie de la tierra por efecto del enfriamiento radiante y por conducción.
- Mezcla con volúmenes de aire más frío.
- Expansión asociada con corrientes ascendientes de conducción (enfriamiento adiabático).

Los dos primeros generan rocío y niebla y el tercero es la principal causa de las precipitaciones. Todos ellos no afectan directamente a las condiciones ambientales, pero sí indirectamente por su influencia sobre la humedad relativa, la vegetación, la contaminación y, de modo muy importante, en el diseño de soluciones constructivas para evitar que se produzcan condensaciones intersticiales.

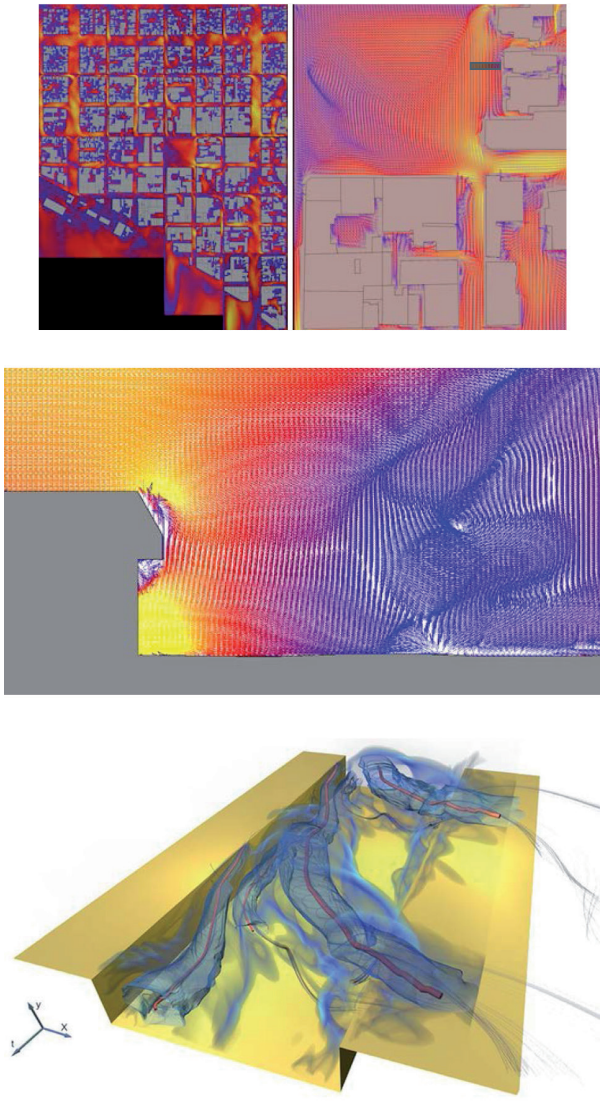


Figura FA.2.26. Estudios de viento urbano mediante CFD (*Computational Fluid Dynamics*, Dinámica de fluidos por ordenador)

Planta (arriba) - Sección (medio) - Perspectiva, tunel de viento virtual (abajo)

Fuente: Bustamante, Carlos; Jans, Margarita; Higueras, Ester, 2014. "El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estancial del espacio público, Punta Arenas, Chile". *Revista Aus*, 15, 28-33

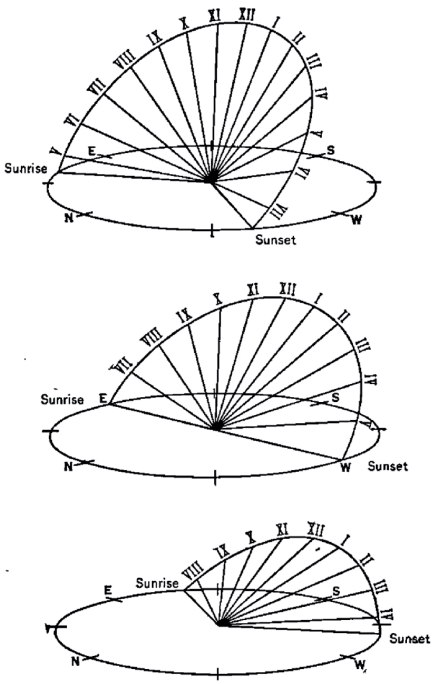


Fig. 2. — Perspective diagrams showing the apparent path of the sun, and the angles of sunlight at the different hours of the day, for Lat. 42°-0′ N. The upper diagram is drawn for the summer solstice, the middle diagram for the vernal and autumnal equinox, and the lower diagram for the winter solstice.

Fig. FA.2.27.Diagramas de trayectoria solar. Atkinson, William; 1912. *The Orientation of Buildings or Planning for Sunlight,* p. 6.

78. En la década de los años veinte, en Alemania, se utilizaba el *Zeilenbau* (traducción literal: casa en hilera). Era una normativa que obligaba a que todas las viviendas sociales tuvieran al menos dos orientaciones opuestas y que además estuvieran orientadas de manera que tuvieran acceso solar garantizado. Anteriormente, la arquitectura sanitaria, en concreto la de los sanatorios de tuberculosos, había desarrollado ejemplos de arquitectura con acceso solar en todas las habitaciones. *Les Frênes* (1911; Leysin, Suiza) fue probablemente el primer sanatorio construido para practicar la helioterapia. El Dr. Auguste Rollier, director de *Les Frêres*, publicó en 1914 *La cure du soleil* y en 1923 *L'Heliotherapie (Denzer 2015).* Aun así, un poco antes, en 1912, William Atkinson escribe *The Orientation of Buildings or Planning for Sunlight* en el que hace un repaso maravilloso de cómo realizar cálculos solares y de sombras, así como de todas las estrategias para diseñar, en concreto sanatorios, calles y rascacielos, teniendo en cuenta el sol. Hace estudios de forma y orientación de edificios para que todas sus fachadas reciban incidencia solar directa al menos unas horas al día. Así concluye que las geometrías rectangulares o en ele giradas 45° respecto a la norte son las que mejor funcionan (Atkinson 1912). También propone la creación de normativas que obliguen a orientar los edificios correctamente dando ejemplos concretos para París y Boston.

A nivel ambiental, será interesante conocer los valores globales de precipitación junto con su distribución estacional, valores que recogen detalladamente los servicios meteorológicos.

Otros parámetros no térmicos

La luminancia, no es un parámetro térmico pero está íntimamente ligado a la accesibilidad solar. Aunque el sol no incida directamente en el interior de un espacio, gracias a la radiación difusa proveniente de la bóveda celeste se obtiene iluminación. Esto no quita que, desde los primeros planteamientos higienistas, se tenga claro que la incidencia directa del sol, cuando así se desea por las condiciones ambientales, es beneficiosa para la salud y placentera[78]. Este parámetro está fuertemente influido por el clima local ya que, aunque la iluminancia del sol no varía excesivamente, la global sí que cambia en función de la nubosidad del cielo.

Existen diferentes modelos de luminancia con cielo cubierto (uniforme y no uniformemente), cielo claro y cielo nublado. En el primer caso, los modelos de cielo cubierto uniforme consideran que toda la bóveda celeste emite la misma cantidad de energía lumínica para una cierta hora, independientemente de la orientación y la altura. Se calcula según la fórmula:

$$Eh = \pi L \qquad \text{Ec. EA.2.01} \qquad [W/m^2]$$

Siendo:

Eh: iluminancia sobre el plano horizontal (lux)

L: Luminancia media del cielo (cd/(m²) tomada de la tabla TA.2.04

solsticio de invierno			equinoccios			solsticio de verano		
8-16 h	10-14 h	12 h	8-16 h	10-14 h	12 h	8-16 h	10-14 h	12 h
1 750	3 200	4 700	3 200	4 600	6 200	6 000	7 600	8 600
4 600	21 000	24 000	22 000	28 000	30 000	27 000	31 000	32 000

Tabla TA.2.04 Valores de luminancia de la bóveda celeste para la longitud 40°

Este cálculo es menos ajustado a la realidad que el modelo no uniforme de cielo cubierto estándar (CIE) en el que la luminancia cambia con la altura –en el cénit el cielo se considera tres veces más luminoso que en el horizonte–y con la orientación, que se concreta en una ganancia en el horizonte del 20% en la dirección hacia el Ecuador y una disminución también del 20% hacia el polo, con un decrecimiento de estas variaciones al aumentar la altura. Se utiliza la fórmula Moon-Spencer corregida:

$$L_{\alpha,\beta} = L_z \left((1+\text{sen}\,\alpha)/3\right) \times (1+0{,}2\cos\beta) \qquad \text{Ec. EA.2.02} \qquad [W/m^2]$$

Siendo:

$L_{\alpha,\beta}$: luminancia del cielo para una altura β respecto de la dirección del ecuador (α)
L_z: luminancia en el cénit

En el segundo caso se considera por un lado la incidencia directa del sol con las variaciones correspondientes según su posición en la época del año y la hora con una intensidad del orden de 100.000 cd/m². También se considera la bóveda celeste que tiene una iluminancia decreciente al alejarnos del sol con valores variables entre [2.000-9.000] cd/m² y finalmente se añade el valor del albedo que tiene como valor típico el expresado por:

$$L_a = (E_h \times r)/\pi \qquad \text{Ec. EA.2.03} \qquad [W/m^2]$$

Siendo:

E_h: iluminancia que reciben las superficies (100.000 lux con cielo claro)
r: coeficiente de reflexión de las superficies (0,2, pudiendo llegar hasta 0,7 en superficies muy claras)
L_a: iluminancia de albedo

Finalmente, el caso del cielo con nubes, que es una situación intermedia entre las dos anteriores y que refleja mejor la realidad de latitudes medias, es complejo de modelar debido a su variabilidad. En realidad como los casos anteriores son situaciones extremas, no es necesario estudiar este tipo de cielo más allá de

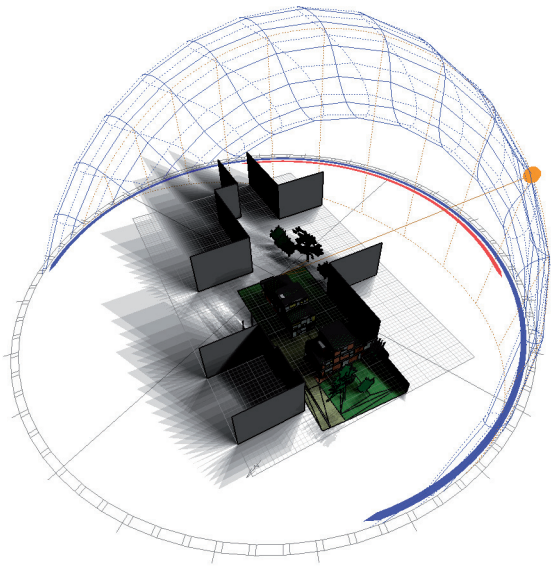


Fig. FA.2.28. Ejemplo de cálculo de iluminación exterior y sombras

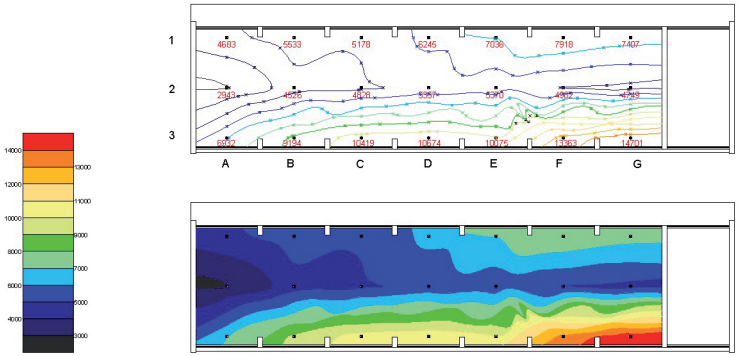


Fig. FA.2.29. Ejemplo de cálculo de iluminación interior mediante isolíneas

conocer su frecuencia para cada época del año (Serra Florensa, Coch Roura 1995:189).

En el alumbrado natural en los interiores existe tanta variabilidad que los sistemas de evaluación son poco exactos y lo que se suele hacer es calcular los resultados en porcentajes respecto al nivel exterior. Existen métodos de predimensionado, métodos punto por punto, sistemas de evaluación en modelos a escala y finalmente los cálculos exactos por ordenador.

Otro parámetro importante, es la contaminación del aire, producida por las actividades humanas de industria y transporte. Se produce y concentra principalmente en los núcleos urbanos y tanto la lluvia como el viento favorecen la limpieza y dispersión de las partículas contenidas en el aire. El problema radica en que es poco transparente a la radiación y puede generar fenómenos de inversión térmica que, además del sobrecalentamiento por efecto invernadero, estabilizan las masas de aire reduciendo la probabilidad de precipitaciones, con lo que se prolonga y agrava la situación.

Los ruidos, psicológicamente muy importantes para la percepción del confort y el descanso, suelen ser un parámetro ambiental no natural ya que generalmente están producidos por la propia actividad humana. No son objeto de estudio, pero no podemos olvidarlos en el proceso de diseño. La normativa española así lo refleja; el CTE (Código Técnico de la Edificación) tiene un apartado específico de justificación de las exigencias en este aspecto y además la Ley del Ruido[79] española obliga a las poblaciones de más de 100.000 habitantes a disponer de un mapa de ruido que permita tomar medidas correctoras en el proceso de edificación, así como establecer estrategias para paliar los focos contaminantes existentes.

El paisaje, aunque no se trata de un parámetro ambiental, es una característica del lugar suficientemente importante como para tomarla en consideración (Serra Florensa, Coch Roura 1995:190). Las formas de estudiarla pueden ser

79. Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Se redacta para trasponer las obligaciones impuestas por la Directiva Europea 2002/49 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

Fig. FA.2.30. Le Corbusier dibuja el paisaje

múltiples, desde fotografías a dibujos. En el discurso teórico de Le Corbusier, el paisaje tiene un valor visual y vivencial muy importante. Dibujó en multitud de ocasiones sus planes urbanísticos desde la percepción del habitante, así como defendió la introducción de la naturaleza y el paisaje dentro de la arquitectura (Le Corbusier, Pierrefeu 1942).

Análisis de preexistencias ambientales

El conocimiento de todos estos parámetros que hemos visto, y que resumen las características de un emplazamiento, es necesario para la realización de un proyecto (Serra Florensa, Coch Roura 1995:191). En este sentido sería necesario disponer de un documento resumen, al igual que se obtienen los estudios geotécnicos para conocer las características del terreno sobre el que se actúa. Más siendo que, tal y como comentábamos al principio del apartado, los datos globales no suelen reflejar bien la realidad climática y ambiental de cada

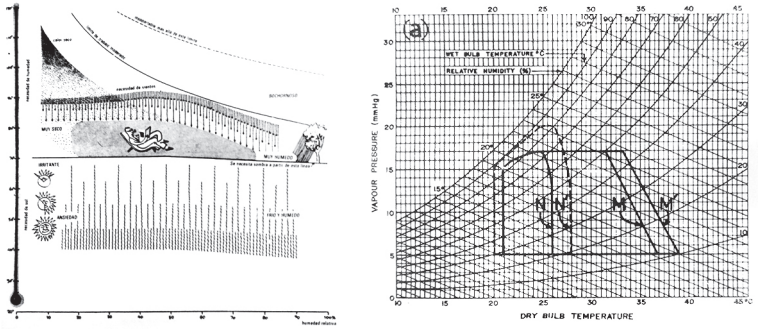


Fig. FA.2.31. (izq.) Tabla de Índice bioclimático de Olgyay (1963)
Fig. FA.2.32. (dcha.) Carta bioclimática de Givoni (1969)

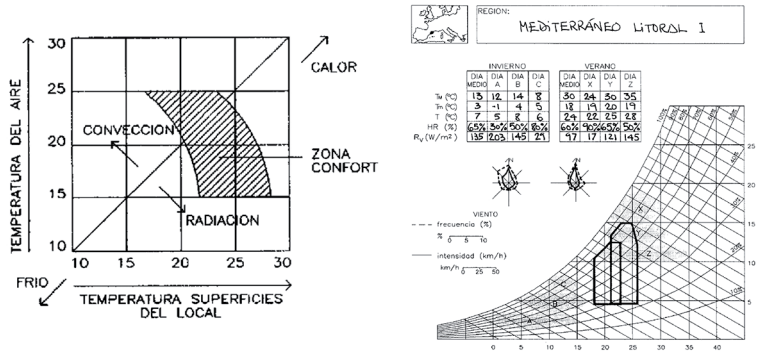


Fig. FA.2.33. (izq.) Ábaco de Missenard (1937)
Fig. FA.2.34. (dcha.) Ficha resumen de datos y gráficos de acciones ambientales, Serra y Coch (1995)

80. En la página web de la AEMET (Asociación española de meteorología) se pueden obtener datos climáticos detallados de toda la red de estaciones meteorológicas de España. http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos

81. La termodinámica es la ciencia que trata la transferencia de energía, pero siempre en referencia a sistemas en equilibrio. Esta se complementa con la disciplina denominada transferencia de calor proporcionando métodos de análisis que pueden utilizarse para predecir la velocidad de transmisión de calor y otros parámetros variables, introduciendo el tiempo en la ecuación.

situación y entorno detallado[80]. Y aunque es difícil recomendar una forma específica, sí que parecería necesario algún tipo de obligación normativa.

Son muy útiles al respecto los gráficos de análisis higrométrico como el ábaco psicométrico de Givoni, la gráfica de Olgyay, la *grille climatique* de Le Corbusier, el ábaco de Missenard, las fichas resúmenes de datos y gráficos de acciones ambientales que plantean Serra y Coch en su libro *Arquitectura y energía natural* (1995:197). Estas herramientas centrarán el análisis del capítulo B y en detalle la *grille climatique* el capítulo D.

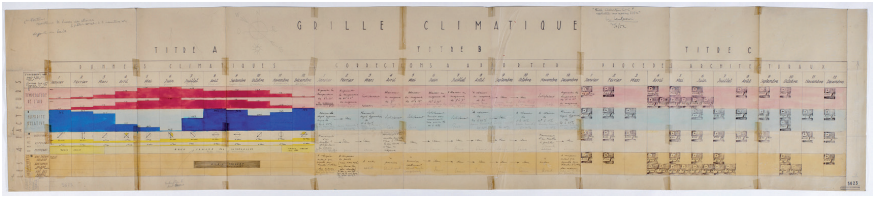


Fig. FA.2.35. Grille climatique del atelier Le Corbusier (1951)

A.2.2. Procesos de transmisión de calor

Una vez fijadas las condiciones exteriores, entra en juego la definición arquitectónica y su relación y respuesta frente a acciones termodinámicas. Por ello es pertinente el planteamiento de unas bases científicas que encuadren la temática, puesto que en el lenguaje común los conceptos de calor y temperatura, habitualmente, se confunden.

El calor, según la termodinámica[81], es la energía cinética de todos los átomos o moléculas de una sustancia.

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio de los átomos y moléculas individuales de una sustancia. Cuando se cede calor a un cuerpo, sus

átomos o moléculas se mueven más rápido aumentando su temperatura, y viceversa.

En conclusión, la temperatura es una magnitud física que se refiere a la cantidad de calor que tiene una sustancia mientras que el calor es una transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre cuerpos, producida por una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a otra de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la zona más fría y reduce la de la zona más cálida hasta alcanzar el equilibrio energético. Por tanto cuando dos cuerpos con temperaturas distintas se ponen en contacto, se produce una transferencia de calor del cuerpo más caliente al más frío mediante tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación. Además existe un mecanismo adicional que influye en el proceso denominado acumulación.

Conducción y Acumulación

Es el modo de transferencia de calor entre dos zonas de un mismo cuerpo o entre dos cuerpos que están en contacto (como entre las diferentes capas de un cerramiento) desde las áreas con una temperatura determinada a otras con temperatura inferior. Depende del área de la superficie de transmisión y de la conductividad térmica del material que incluye el espesor del cuerpo y sus características físicas, siempre para un tiempo dado. Queda dado por la ley de la conducción del calor de Fourier:

$$H_{cd} = dQ/dt = -k\,A\,(dT/dx)^{82} \qquad \text{Ec. EA.2.04} \qquad [W/m^2]$$

donde:

H_{cd}: calor transferido, por conducción.

k: conductividad térmica del material (W/mK) Depende de sus características físicas y representa la capacidad de conducción de calor

A: sección transversal del cuerpo en perpendicular al flujo de calor

dT/dx: gradiente de temperatura por unidad de longitud (K/m)

82. El signo menos significa que la dirección de conducción del calor es opuesta a la de aumento de temperatura.

De manera general para un cerramiento, cuyas caras están a diferentes temperaturas T_1 y $T_2 > T_1$ se suele expresar:

$$H_{cd} = -k\,A\,((T_2 - T_1)/L) \qquad \text{Ec. EA.2.05} \qquad [W/m^2]$$

Cuando un cuerpo parte de un estado inicial en el que se le aplican dos fuentes de calor a temperaturas distintas en cada uno de sus lados empieza a producirse un flujo de calor y al cabo del tiempo se alcanza un estado de equilibrio térmico y el sistema se encuentra en régimen estacionario. Entonces la temperatura en cada punto del cuerpo es constante (no varía con el tiempo) y por tanto el flujo de calor (H) también.

En la edificación, esta situación es teórica puesto que es prácticamente imposible que a los dos lados de un cerramiento se dé una temperatura constante en el tiempo. Entonces no hay equilibrio y el proceso se denomina transmisión en régimen transitorio, caracterizado porque la temperatura en cada punto del cerramiento varía con el tiempo. Como consecuencia se produce acumulación de calor, debido a la propiedad de los materiales de absorber o disipar energía cuando varía su temperatura, lo que se denomina calor específico.

Convección

Es un mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de una sustancia; solo se produce en líquidos y gases. En nuestro ámbito la situación más habitual es que una masa de aire esté en contacto con la superficie de un cerramiento con una temperatura distinta a este.

Cuando el movimiento de aire se produce exclusivamente por su diferencia de densidad al variar su temperatura por estar en contacto con la superficie a diferente temperatura, el proceso se denomina convección libre o natural. En caso de existir una fuerza motriz externa entonces el proceso se denomina convección forzada y permite una mayor transmisión de calor, pero lo habitual es que se produzca una convección mixta que combina los dos efectos. El fenómeno se puede evaluar por la Ley de Newton del enfriamiento:

$H_{cv} = h\ A\ (T_A - T)$ Ec. EA.2.06 [W/m²]

donde:

H_{cv}: calor transferido, por convección. Se considera positivo cuando el flujo se produce desde la superficie al fluido y negativo al contrario.

h: coeficiente de convección (W/m²K)

A: área del cuerpo en contacto con el aire o fluido

T_A: temperatura de la superficie A

T: temperatura del aire o fluido

Radiación

Es la absorción o cesión de calor de un cuerpo mediante ondas electromagnéticas. Mientras que los dos procesos anteriores necesitan de la existencia de materia para el transporte de energía, las radiaciones electromagnéticas pueden hacerlo a través del vacío o atravesando un medio transparente como el aire. Sin embargo, la velocidad, la intensidad y la dirección de su flujo sí que se ven influidos por la presencia de materia.

Todas las superficies opacas emiten energía radiante en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, y en un rango de longitudes de onda inversamente proporcional a su temperatura absoluta. Como las temperaturas habituales de nuestro entorno material son pequeñas (en la escala absoluta Kelvin) las longitudes de onda que se emiten son de onda larga, correspondientes al espectro infrarrojo lejano, en función de una propiedad superficial denominada emitancia. Se calcula mediante la Ley de Stefan:

$H_{em} = \varepsilon\sigma AT^4$ Ec. EA.2.07 [W/m²]

donde:

H_{em}: calor transferido, por radiación

σ: es la constante de Stefan-Boltzman de valor $5{,}67 \times 10^{-8}$ W/(m²K⁴)

ε: emisividad. Propiedad radiativa que depende del material. Sus valores están en el rango $0<\varepsilon<1$
A: área superficial del cuerpo
T: temperatura del cuerpo

De forma simultánea, los cuerpos absorben las radiaciones similares emitidas por las superficies circundantes. Si no fuera así perderían toda su energía y su temperatura llegaría al cero absoluto. Por tanto la ecuación EA.2.04 se modifica para representar la energía neta ganada o perdida:

$$H_{emN} = \varepsilon\sigma A(T^4 - T_0^4) \qquad \text{Ec. EA.2.08} \qquad [W/m^2]$$

donde:

H_{emN}: calor neto transferido, por radiación
T_0: temperatura ambiente

Cuando un cuerpo es un absorbedor perfecto se llama cuerpo negro porque absorbe toda la radiación que le llega a la superficie y su emisividad tiene valor la unidad. Es un concepto teórico puesto que en la realidad no existe ningún material así. El cuerpo negro también puede ser un emisor perfecto cuando su emisividad tiene valor cero. Mediante este constructo teórico y la Ley de Planck se tiene que la cantidad de energía emitida por un cuerpo negro está únicamente determinada por su temperatura. Este hecho nos permite medir con los termómetros de globo negro la temperatura radiante de los cuerpos sin necesidad de realizar un cálculo de la energía que reciben y emiten.

Adicionalmente en nuestro ambiente existen radiaciones de onda corta que se corresponden con el espectro visible e infrarrojo cercano, procedente del sol y del alumbrado artificial, para las que los cerramientos se comportan solo como absorbedores. Se calcula con la ecuación EA.2.05 afectada por el valor de la propiedad superficial denominada absortancia.

Mecanismos combinados

Conducción, convección y radiación, junto con la eventual acumulación, se producen de forma simultánea y concurrente con lo que en las situaciones reales, incluso en el laboratorio, es difícil discernir la contribución exacta de cada uno de los mecanismos. Toda esta complejidad ha llevado en la práctica a definir un coeficiente de transferencia superficial de calor (h), de fácil aplicación en casos simplificados habituales, que integra el efecto de la convección y la radiación con valores típicos. Por tanto se realiza un cálculo combinado de ellas, en base a:

$$H_{cv+rd} = (h_{cv} + h_{rd})\,(T - T_0) \qquad \text{Ec. EA.2.09} \qquad [W/m^2]$$

donde:

H_{cv+rd}: calor transferido, efecto combinado de convección y radiación
h_{cv}: coeficiente de transferencia superficial de calor por convección
h_{rd}: coeficiente de transferencia superficial de calor por radiación
T: temperatura del cuerpo
T_0: temperatura ambiente

Con respecto a la conducción a través de cerramientos, es muy importante además tener en cuenta la existencia de sumideros de calor en los puentes térmicos que condicionan profundamente el comportamiento global de las fachadas. En configuraciones habituales, según algunos estudios, a través de los puentes térmicos se produce una pérdida de calor del 20% de la energía total del edificio (Carrión, Sancho 1988:117).

A.2.3. Parámetros e Índices de evaluación térmica

El deseo de crear espacios libres de los caprichos del clima, donde las personas puedan disfrutar de un entorno constante y predecible es posiblemente uno de los sueños más antiguos de la humanidad, y con la llegada de esa especie de

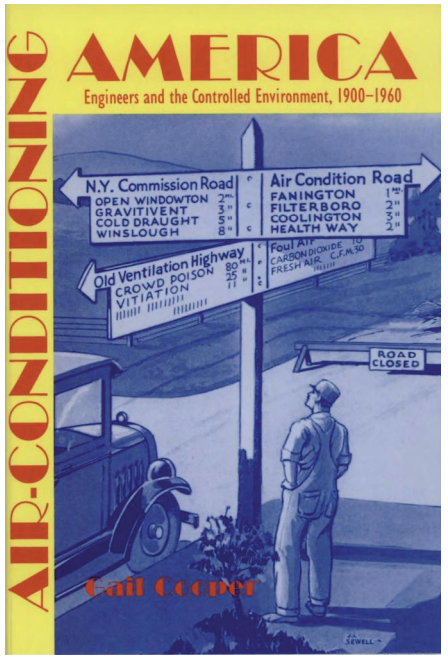


Fig. FA.2.36. Portada de *Air conditionning America*, Gail Cooper (1998)

paraíso tecnológico de principio del siglo XX, finalmente fue posible. No podemos olvidar que Le Corbusier a finales de la década de los veinte, centro su esfuerzo en diseñar edificios "isotérmicos" que independientemente del ambiente exterior, tuvieran una temperatura interior contante de 18ºC. Confiaba para ello, enteramente, en los sistemas mecánicos de tratamiento de aire (*mur neutralisant* y *respiration exacte*).

El interés por el estudio del ambiente interior surgió inicialmente por cuestiones higienistas, es decir estaba más basado en la salud que en el confort. Las primeras investigaciones se realizaron en el ámbito médico pero rápidamente los ingenieros asumieron el papel de conocer qué condiciones eran necesarias para un interior saludable.

Y en la corriente de estandarización y modernización –conceptos sinónimos durante la mayor parte de los siglos XIX y XX y concebidos como el camino del futuro (Cooper 1998:32)–el objetivo fue "construir" un ambiente interior estándar moderno. Es decir, abrir una ventana o encender un ventilador se hubieran vinculado con un periodo artesanal, ya superado; mientras que la idea de una comodidad "manufacturada", con completa desconexión de los elementos naturales, resultaba moderna y atractiva (Wagenfeld 2013:47).

En un catálogo promocional de aire acondicionado de 1912, la compañía declaraba que, con su equipo, el industrial tenía la posibilidad de desafiar las condiciones climáticas o las fluctuaciones meteorológicas, obviando la localización geográfica (Cooper 1998:31)[83]. Luchar contra esta nueva realidad era complicado; tal y como comenta Cooper:

> *[contra] tanta perfección ningún clima natural podía competir […] El cambio en los estándares bajo los cuales juzgar el clima, tanto natural como artificial, fue crucial para el éxito de los ingenieros en convencer a los reguladores gubernamentales para convertir en normativa la superioridad de los sistemas mecánicos sobre las ventilación natural […] El trabajo de los laboratorios permitió*

83. Traducción del autor: "with our equipment the manufacturer is enabled to defy climatic conditions or weather fluctuations and discount geographical location"

> *sustituir los modelos naturales […] por un clima ideal expresado en términos cuantitativos.* (Cooper 1998:79)

Así, las primeras teorías del confort, surgieron en el primer cuarto del siglo XX y para mediados se habían convertido en una ciencia con un campo de investigación muy amplio[84]. Es entonces cuando se revelan los parámetros descriptores del ambiente térmico y su influencia junto con otros sobre el confort.

En la actualidad, desde el enfoque cuantitativo, existe unanimidad científica respecto a los parámetros necesarios para caracterizar un ambiente desde el punto de vista térmico, también denominados parámetros primarios térmicos. Son:

- Temperatura seca
- Temperatura media radiante
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Tasa metabólica
- Aislamiento térmico de la vestimenta

De estos seis parámetros, los cuatro primeros dependen exclusivamente del ambiente y los dos últimos dependen de la persona y de la actividad que esté desarrollando. Con ellos podemos definir perfectamente cualquier situación; ahora bien, la sensación térmica no se puede vincular con uno sólo de ellos sino que surge de la combinación de todos, y la influencia de cada uno en la sensación final depende de los niveles de los otros (Givoni [1969] 1976:75).

Por tanto, para abordar el estudio y evaluar el efecto combinado de los parámetros ambientales en las respuestas fisiológicas y sensoriales, es necesario establecer una fórmula que permita combinarlos todos y que se denomina índice térmico.

84. La ASHVE (*American Society of Heating and Ventilating Engineers*) que posteriormente se convirtió en la actual ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*) fue una de las primeras en realizar y promover investigación científica en este campo. Las primeras publicaciones al respecto son de 1923 en la revista científica *Transactions*, y aunque no existe índice publicado digitalmente de artículos anteriores a 1930, Victor Olgyay hace referencia a varios artículos de esa época en *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* (1963).

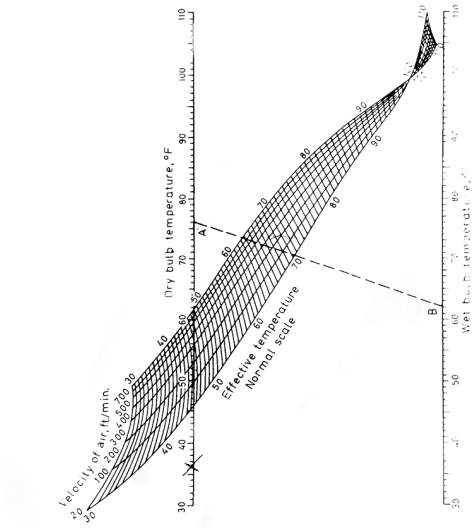
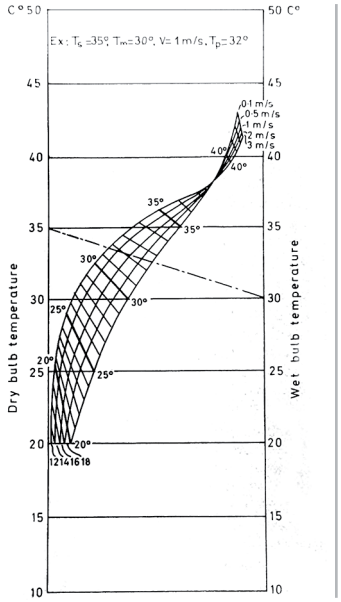


Fig. FA.2.37. Gráfica del Índice de Temperatura efectiva



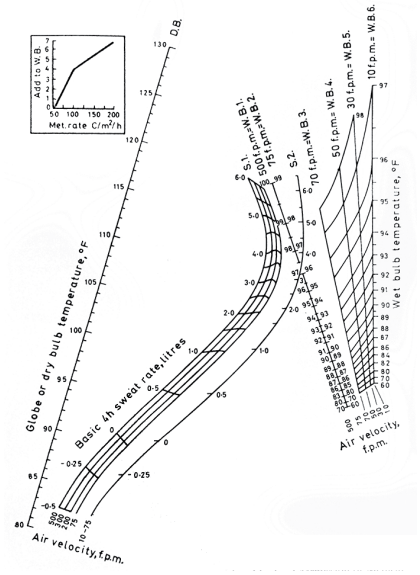


Fig. FA.2.38. (izq.) Gráfica del Índice de Temperatura resultante
Fig. FA.2.39. (dcha.) Gráfica del Índice de Tasa de sudoración

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

Se han realizado muchos esfuerzos por desarrollar índices térmicos. Inicialmente su objetivo se limitaba a estimar el efecto combinado de la temperatura y velocidad del aire y la humedad en la sensación térmica para personas descansando o en actividades sedentarias. Posteriormente se vio la importancia de la temperatura radiante y también fue introducida en la ecuación, al igual que factores como la tasa metabólica, el aislamiento de la vestimenta o incluso la incidencia directa de radiación solar.

La diferencia entre los índices existentes radica en cómo plantean la problemática, en las unidades usadas como base para expresar la combinación de los distintos parámetros, en el rango de condiciones de aplicación y en el peso relativo que le atribuyen a cada uno de los factores así como a su interdependencia.

Desde este punto de vista, los diferentes modelos matemáticos buscan establecer estándares de condiciones ambientales consideradas confortables para el ser humano. Como veíamos hay cientos, pero los índices que han tenido mayor repercusión son:

- Temperatura efectiva (T_{EF})
- Temperatura resultante (T_R)
- Tasa de sudoración (S_R, *Sweat Rate*)
- Índice de estrés calórico (HSI, *Heat Stress*)
- Índice de estrés térmico (TSI, *Thermal Stress Index*)
- Voto medio estimado (PMV, *Predicted Mean Vote*)
- Porcentaje previsto de personas insatisfechas (PPD, *Predicted Percentage Dissatisfied*)
- Temperatura efectiva normalizada (SET, *Standard Effective Temperature*)
- Temperatura aparente (AT, *Apparent Temperature*)
- Temperatura fisiológica aparente (PET, *Physiological Equivalent Temperature*)
- Temperatura de enfriamiento por viento (WCT, *Windchill Temperature*)

El primero de ellos, temperatura efectiva (T_{EF}), surge de los trabajos de Houghton y Miller en 1925 y con métodos de desarrollo similares Bedford (1950), Brooks o Markham encontraron temperaturas de confort para Gran Bretaña, que diferían unas de otras. Por otro lado, en Alemania, Estados Unidos o en las zonas tropicales las temperaturas de confort también eran diferentes (Olgyay 1963 en Gómez Azpeitia, Bojórquez Morales et al. 2007:47). Se evidencia, pues, teniendo en cuenta solo un índice la variabilidad existente en función no solo de las áreas geográficas sino de los propios investigadores.

De todos los índices, en la normativa de la mayoría de países[85], los más utilizados son los establecidos por Fanger en 1970, el voto medio estimado y el porcentaje de personas insatisfechas. Concretamente, de aplicación en España tenemos:

- UNE-EN ISO 7730. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bien estar térmico.
- RITE 2007, consolidado. Reglamento de Instalaciones Térmica de la Edificación. Recoge las exigencias y metodologías de la UNE-EN ISO 7730 y tiene en cuenta adicionalmente la posibilidad de malestar térmico en partes concretas del cuerpo producidas principalmente por corrientes de aire, gradiente vertical de temperatura o asimetría de temperatura radiante, para los que fija valores máximos y mínimos en función de la categoría de uso de los espacios.

Y en los EEUU, en la que se basan la mayoría de normativas posteriores:

- ANSI ASHRAE 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.[86]

Todas las temperaturas o situaciones de confort establecidas por estos índices son modelos de aproximación racional y en los últimos treinta y cinco años están siendo cuestionados. Las temperaturas de confort que determinan están muy por debajo de los estudios de campo realizados, especialmente en ciudades y

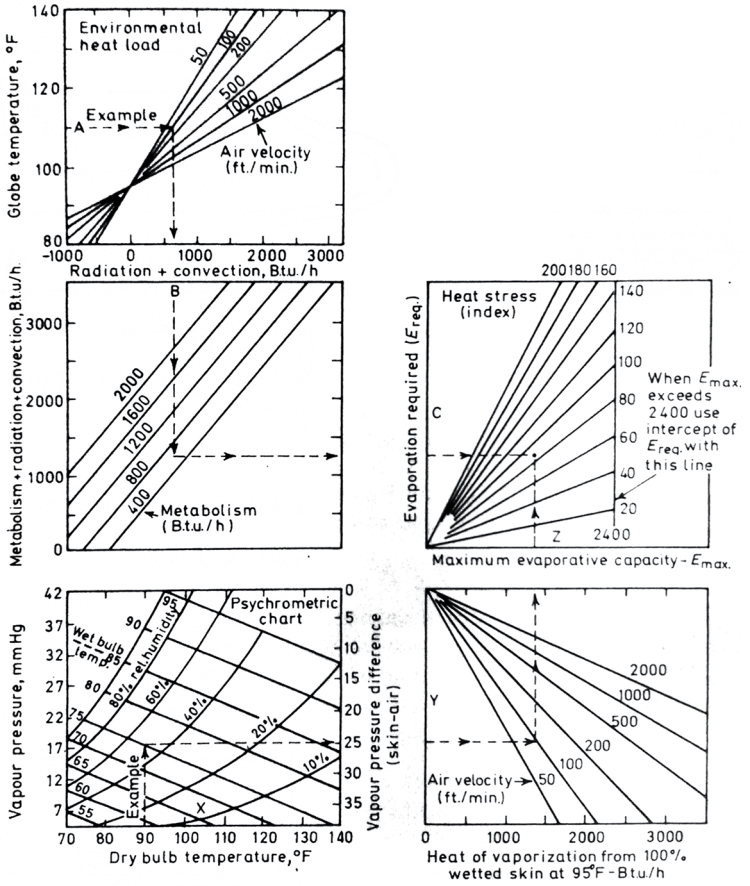


Fig. FA.2.40. Gráficas del Índice de estrés calórico

85. La ASHRAE fue la sociedad que primero adoptó esta metodología y ciertamente muchas de las normativas mundiales toman sus procedimientos y normativas como base.

86. La ANSI/ASHRAE 55 se publicó por primera vez en 1966 y en la posterior revisión de 1974 implementó los métodos desarrollados por Fanger. La versión vigente en la actualidad (2013) ya incluye un nuevo estándar de confort adaptativo que tiene en cuenta los planteamientos cualitativos sobre el confort que se incluyó en la revisión de 2004.

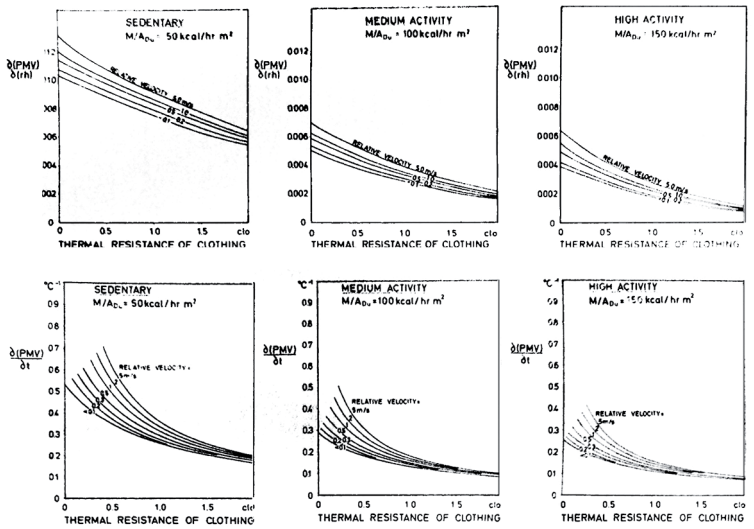


Fig. FA.2.41. Gráficas de PMV (Predicted Mean Vote, Voto medio previsto) expresado en función de otros parámetros como la humedad relativa (Hr, arriba) o el tiempo (t, abajo) para diferentes actividades metabólicas y velocidades de aire. P.O. Fanger (1970)

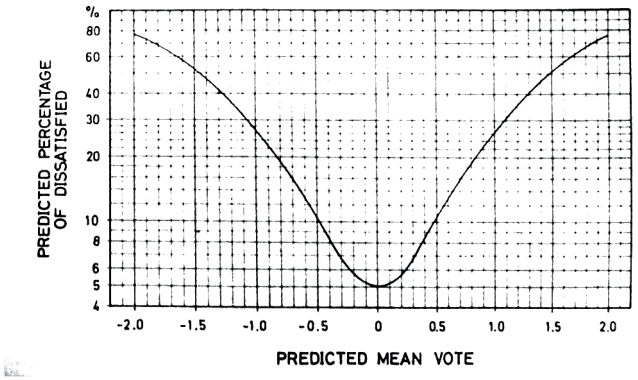


Fig. FA.2.42. Gráfica de distribución estadística del PMV, obteniendo el PPD (Predicted Percentage of Disatisfied, Porcentaje previsto de personas insatisfechas). P.O. Fanger (1970)

países de clima tropical y en edificaciones ventiladas naturalmente (Busch 1995:121). De hecho diferentes investigaciones demuestran que los índices de la ISO 7730 y ANSI/ASHRAE-55 no describen adecuadamente las condiciones de confort de las personas "reales", pues subestiman la capacidad adaptativa del cuerpo humano, particularmente en situaciones de temperatura y humedad altas (Gómez Azpeitia, Bojórquez Morales et al. 2007:49).

Los planteamientos científicos alternativos al enfoque cuantitativo son los modelos cualitativos. Buscan desentrañar realidades cuyos patrones no necesariamente constituyen fenómenos regulares y cuyos sistemas son complejos con muchos componentes interrelacionados. Su explicación suele ser inestable, por tanto huyen de principios universales y recurren a explicaciones teóricas múltiples (Groat, Wang 2002:38).

Los índices que reflejan planteamientos adaptativos son:

- Temperatura de neutralidad o confort (Tn)
- Estándar de Confort Adaptativo (ACS; *Adaptive Comfort Standard*)
- Índice universal de confort térmico (UTCI, *Universal Thermal Comfort Index*)

Todos ellos están basados en estudios estadísticos y mediante modelos de regresión lineal plantean una temperatura de neutralidad que depende (como variable externa) únicamente de la temperatura exterior promedio (T_{em}). Es decir, no valoran el confort según la temperatura interior del edificio sino respecto a la exterior y este es un cambio radical en el planteamiento que vincula la arquitectura, y sus implicaciones, profundamente al lugar.

Una propuesta ambiciosa que se desarrolla en esta línea es la creación del UTCI. Este índice, que está basado en los más avanzados modelos multimodales, es un estándar complejo y se encuentra desde su planteamiento bajo continuo análisis científico.

La pretensión de su creación es que pueda sustituir a cualquier otro índice anterior. Así, debe tener en cuenta todos los mecanismos posibles de intercambio de calor, como el único camino:

> *[para] que sea universalmente válido y pueda aplicarse a todos los climas, a todas las regiones, a todas las estaciones, en cualquier escala, y en general, a todas las aplicaciones biometeorológicas.* (Jendritzky, Maarouf et al. 2001:1)

Para ello es necesario que cumpla ciertos requerimientos:

- Termofisiológicamente relevante en todo el rango de intercambio de calor.
- Válido en cualquier lugar y situación.
- Útil para su utilización en las previsiones meteorológicas, en el diseño e ingeniería de los espacios interiores y exteriores, estudios epidemiológicos, investigación en cambio climático, etc.

En el apartado A.3 se hace un repaso más detallado de estos índices debido a que en definitiva lo que pretenden es medir el confort térmico.

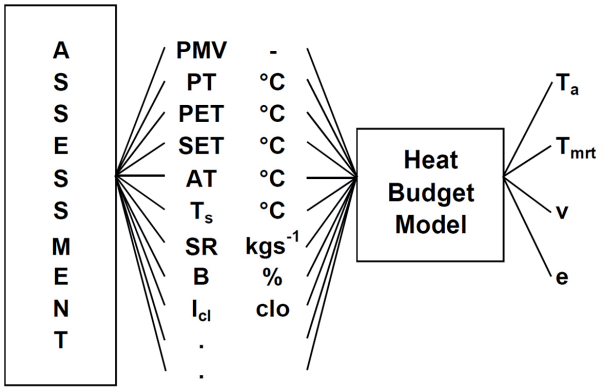
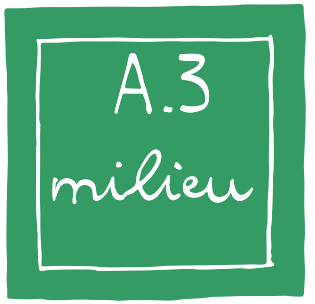
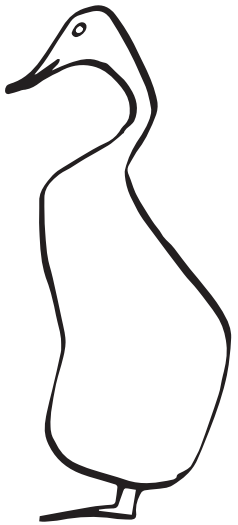


Fig. FA.2.43. Mapa conceptual del diseño del UTCI para evaluación del ambiente térmico, incluyendo los componentes parciales relevantes. (Jendritzky, Maarouf et al. 2001:1)


A.3
milieu

A.3
confort



A.3. Confort

A.3.0. Introducción

El control del ambiente térmico para aunar los estándares de confort actuales junto con la moderación del gasto energético es en la actualidad una cuestión prioritaria desde el punto de vista perceptivo y medioambiental. De hecho establecer temperaturas de confort dos grados superiores en verano y dos grados inferiores en inverno puede suponer un ahorro de hasta el diez por ciento, en términos energéticos, tal y como destaca el informe *IEA World Energy Outlook* 2008 (IEA, 2008).

Por un lado, existen estudios que concluyen que las personas que viven en países en vías de desarrollo experimentan una creciente falta de confort térmico y que la tendencia es la incorporación de dispositivos de climatización que utilizan fuentes energéticas contaminantes. Por ello, la modificación del estándar térmico en el que se alcanza el confort es una cuestión que *a priori* puede

parecer complicada; pero por otro lado, las nuevas vías de investigación demuestran que en los edificios naturalmente ventilados, en los que los usuarios tienen capacidad de interactuar con la envolvente, el rango de aceptabilidad aumenta considerablemente.

Sin duda, sería necesario hacer modificaciones en el diseño arquitectónico y de las instalaciones de los edificios a los que nos referimos, incorporando estrategias pasivas y también activas alimentadas con energías no contaminantes; pero también modificar la concepción general existente sobre los parámetros de confort y de percepción térmica. En consecuencia, la determinación de una temperatura ideal de diseño se torna en todos los casos una cuestión fundamental para la toma de decisiones.

La respuesta no es sencilla y para poder alcanzarla es necesario que los agentes involucrados en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los edificios tengan en cuenta los dos planteamientos científicos que existen sobre la temática: el cuantitativo y el cualitativo. De la conjunción de los dos enfoques, tal y como veremos, se puede concluir que existen medidas alternativas, y muy baratas, para alcanzar el confort que no se centran únicamente en alcanzar una temperatura interior específica mediante climatización sino que buscan una modificación de hábitos de conducta (como la vestimenta) o de estrategias de diseño.

Cuando el ocupante de un espacio ya no es un mero observador y se convierte en parte activa de la compleja problemática del confort, el ámbito de estudio se desplaza de lo eminentemente fisiológico a lo psíquico o incluso sociológico y por tanto el arquitecto además de utilizar herramientas proyectuales que definan el objeto construido debe pensar en el usuario y en su capacidad de acción. En este sentido, lo cualitativo no puede sustituir exclusivamente a lo cuantitativo pero sí puede complementarlo.

A.3.1. El enfoque cuantitativo. Predicción numérica del confort

El estudio cuantitativo de la realidad es altamente exitoso en los sistemas simples con pocos componentes y procura alcanzar principios universalmente aceptables (Groat, Wang 2002:174). Esta perspectiva es la más extendida desde el inicio del análisis científico del confort. Así, lo considera como un objeto de conocimiento que mantiene sus características separadamente de la posición del investigador, que es un sujeto independiente del fenómeno que se estudia. Por tanto los procesos de adquisición de resultados son deductivos y unívocos, buscando el establecimiento de relaciones de causa y efecto entre las variables detectadas como influyentes. Podemos decir que se considera determinista y fenomenológico.

Este enfoque es habitual en las ciencias físicas y biológicas y aunque el confort se estudia desde diversas disciplinas, la bioclimatología es la más habitual. Su cometido es el estudio de la relación entre las condiciones del clima y el desempeño de los seres vivos (Auliciems 1997:1) y por tanto la sensación térmica humana se inserta en este amplio campo de estudio.

Los bioclimatólogos han desarrollado, desde principios del siglo XX, diversos modelos matemáticos cuya finalidad es el establecimiento de los límites de las condiciones ambientales que sitúan al ser humano en condiciones consideradas confortables. Estas condiciones se combinan de manera que se produce una sensación térmica en el organismo cuya cuantificación ha ido cambiando con la ampliación del conocimiento sobre su funcionamiento.

La práctica consistió en la creación de un índice que aglutinara los parámetros y factores de confort térmico, resultando una variable compleja que ha tenido multitud de formulaciones. La primera fue la realizada por Houghton y Yaglou, publicada en el artículo *Determination of the Comfort Zone* en *ASHVE Journal* en 1923, en la que elaboraron el índice de "Temperatura Efectiva" (*Effective temperature,* E_T), combinando únicamente temperatura y humedad.

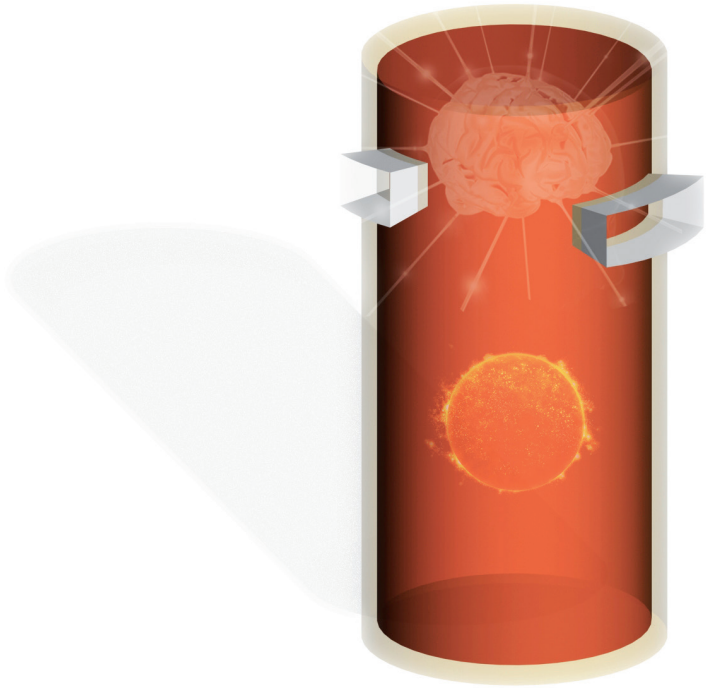


Fig. FA.3.01. Esquema del modelo de dos nodos

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

La Temperatura Efectiva se definía como la temperatura de un ambiente al 50% de humedad relativa en el que una persona experimenta el mismo intercambio de calor que con un ambiente a temperatura y humedad relativa determinadas. Es decir, la E_T determina el valor de la temperatura que las personas realmente sienten por efecto de la humedad relativa, aunque no sea la misma que se registra con el termómetro.[87]

Con un amplio estudio experimental en cámaras de condiciones climáticas controladas, además, los autores concluyeron que la temperatura de la piel podía ser un buen indicador de la sensación térmica en ambientes fríos, pero que en el caso de ambientes calurosos, la humedad de la piel era más apropiado porque el sudor es un fenómeno más observable que los cambios de temperatura epidérmica.[88]

El modelo desarrollado por Houghton y Yaglou es conocido como el de dos nodos (*2-node model*) y simplifica el cuerpo humano en dos cilindros concéntricos, uno interior y otro exterior de radio y altura ligeramente superiores cuya superficie es igual a la de la piel del ser humano. Se supone que la vestimenta y la sudoración se distribuyen uniformemente sobre la superficie del cilindro exterior que sometido a un ambiente uniforme durante un periodo de tiempo específico resulta en una temperatura exterior final de la superficie, para ambientes fríos, y en una temperatura exterior final de la superficie humedecida, para ambientes cálidos. Con estos datos se calcula la E_T, que fijaron en 18,9ºC con un rango entre 17,2ºC y 21,7ºC tanto para hombres como para mujeres, en reposo y con vestimenta habitual.

Catorce años después del estudio de Houghton y Yaglou, en 1937, André Missenard realizó un avance, incluyendo el efecto de la temperatura radiante en el índice que creó: la "Temperatura resultante".

Utilizando el mismo modelo de los dos nodos, pero formulaciones distintas, otros autores obtuvieron resultados dispares que se contextualizaban en los

87. Este planteamiento, que en la actualidad se conoce que no es completamente exacto, sigue siendo muy utilizado en los ámbitos no profesionales de la meteorología cuando se expresa la "sensación térmica" como una temperatura afectada por la humedad relativa existente.

88. Con estas conclusiones introducían parámetros de manera intuitiva como son la evapotranspiración y la tasa metabólica que hoy en día sabemos son clave para la definición de los rangos de confort térmico.

países en los que se había realizado el estudio. Olgyay en *Design with Climate* (1963) recoge los datos: para Gran Bretaña, Bedford estableció la temperatura de confort en 18ºC, Brooks la incluyó en el rango entre [14-21,1]ºC, Markham en [15,6-24,4]ºC; para Alemania, el estándar se situaba en 20,8ºC; para Estados Unidos en el rango [20,5-26,7]ºC y para las zonas tropicales dentro de [23,3-26,7]ºC

A partir de aquí, las investigaciones se realizaron principalmente en dos grupos. El primero en la Escuela de Berkeley, donde destacan los investigadores Allen, Gugler, Hurchinson, Langley, Manley y Zom (Tornero, Pérez Cueva et al., 2006:150). De este grupo destaca especialmente Victor Olgyay, que definió como índice de confort la Temperatura Operativa, que publicó en el libro reseñado anteriormente y que le sirvió de base para la delimitación del polígono de confort de su método bioclimático[89]. Con el índice de Temperatura Operativa se concretaron todos los parámetros y factores de la ecuación del confort térmico que se utilizaron por autores posteriores y que se siguen utilizando en la actualidad. Del ambiente climático exterior los parámetros son: la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad relativa y el aire en movimiento; y del cuerpo humano los factores son: la evapotranspiración, la conducción, la convección y la radiación.

El otro grupo destacado fue el del *British Department of Scientific and Industrial Research*, que dirigido por los profesores Vernon y Bedford, llegó a definir condiciones de confort de una manera muy similar a como lo hizo Olgyay.

Desde el punto de vista cuantitativo, un poco después, Givoni definió la sensación térmica como la percepción del calor o frío del ambiente a partir de la actividad neurálgica provocada por los termorreceptores situados en la piel (Givoni 1969: 126). Planteó una ecuación de confort con los mismos parámetros que Olgyay, pero concretó los procesos de transmisión de calor del cuerpo humano[90] en la tasa metabólica y el aislamiento de la vestimenta. La explicación operativa del confort térmico se redujo a un estado de equilibrio del balance de

89. Este método, con las herramientas gráficas desarrolladas se estudian en el apartado B.3.1 (pág. 201)

90. Conducción, convección y radiación.

cargas térmicas que se intercambian entre el cuerpo humano y el ambiente exterior, debido al metabolismo y al proceso fisiológico de termorregulación. La fórmula planteada fue:

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} - E_{res} - E_d \pm C_{cond} \pm C_{cond.clo} = A \qquad \text{Ec. [EA.3.01]}$$

M = Energía metabólica producida por el organismo
W = Trabajo mecánico desarrollado
R = Intercambio de calor por radiación
C = Intercambio de calor por convección
E = Pérdida de calor por evaporación de sudor
C_{res} = Intercambio de calor por convección respiratoria
E_{res} = Pérdida de calor por evaporación respiratoria
E_d = Pérdida de calor por difusión de vapor
C_{cond} = Intercambio de calor por conducción
$C_{cond.clo}$ = Intercambio de calor por conducción a través del vestido
A = Pérdida o ganancia de calor del cuerpo

De este modo cuando el balance arroja un valor nulo (A=0; el cuerpo no gana ni pierde calor) se deduce, según este enfoque teórico, que las personas experimentan un sensación térmica de confort objetivo. Por el contrario, cuando el resultado es diferente a cero el sujeto experimenta una sensación objetiva de incomodidad. Con un balance negativo (A<0; el cuerpo pierde calor) se tiene una sensación térmica de frío y con un balance positivo (A>0; el cuerpo gana calor) se tiene sensación térmica de calor.

De este modo, según Givoni, cuando el balance térmico no está en equilibrio se desencadenan los diferentes procesos fisiológicos para mantener la temperatura adecuada en el interior del cuerpo (sudoración y vasodilatación en caso de calor, tiritar y vasoconstricción en caso de frío) pero que producen una sensación de incomodidad.

Índices más recientes derivados del modelos de dos nodos son: la Temperatura Efectiva Estándar (*Standard Effective Temperature*, SET), definida por Gagge, Stolwijk y Saltin en 1971, que tiene la ventaja de permitir comparaciones térmicas con cualquier combinación de las variables influyentes pero la desventaja de que solo considera personas "estándar" y el E_T-DIC (ASHRAE, 1985) que ejecuta las simulaciones de la E_T en periodo dinámico (Gómez, Bojroques et al. 2007:47).

Desde la perspectiva físico-química, estos planteamientos consideran a todos los seres humanos iguales, equiparando los mecanismos de percepción del confort, sin tener en cuenta las diferencias biológicas o fisiológicas de cada individuo. Es un tratamiento extremadamente racional de la problemática y que ha sido ampliamente utilizado por los ingenieros especializados en la climatización artificial. A pesar de ello, y aunque se incluye en el mismo enfoque teórico, el método que más influencia ha tenido es ideado por P.O. Fanger en 1970 y que incluye un avance: considera mediante distribución estadística que frente a una misma situación no todas las personas opinarán igual y que adicionalmente es imposible para una situación mayoritariamente confortable que no existan personas insatisfechas.

Ecuación de confort y Método de predicción de Fanger

La hipótesis planteada por Fanger, y que es la que en la actualidad recogen todas las normativas a nivel internacional[91] se basa en definir la situación de confort térmico en términos físicos personales y no ambientales. La consecuencia es que la ecuación de balance térmico puede expresarse en función de factores humanos (actividad como tasa metabólica y aislamiento de la ropa), acotando los valores de temperatura media de la piel y de la sudoración.

Registrando multitud de datos de temperatura de la piel y pérdidas de calor por evapotranspiración de individuos en cámaras climáticas, cuando estos decían encontrarse dentro del área de confort, y aplicando la regresión estadística de

91. La norma internacional ISO 7730 (2005), la europea EN 15251 (CEN 2007) y la americana ASHRAE 55 (2010) se basan en este método. Se estudian sus implicaciones en el apartado E.3.4 (pág. 411)

los resultados en función de la tasa metabólica, alcanzó una ecuación de balance térmico que se conoce como la Ecuación de Confort de Fanger:

$$L_o = H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L - R - C \qquad \text{Ec. [EA.3.02]}$$

L_o = Acumulación de calor en el cuerpo
H = Producción interna de calor
E_d = Pérdidas de calor por la difusión de vapor de agua por la piel
E_{sw} = Pérdidas de calor debidas a la sudoración
E_{re} = Pérdidas de calor latente debidas a la respiración
L = Pérdidas de calor por respiración seca
R = Pérdidas de calor por radiación de la superficie del cuerpo vestido
C = Pérdidas de calor por convección de la superficie del cuerpo vestido

La importancia del método de Fanger estriba en que no definió solamente esta ecuación. Tal y como el mismo indicaba:

> *The satisfaction of the comfort equation is a condition for optimal thermal comfort. However, the equation only gives information as to how the variables should be combined in order to create optimal thermal comfort, and it is thus not directly suitable for ascertaining the thermal sensation of a person in an arbitrary climate where the variables cannot be expected to satisfy the equation.*[92] (Fanger 1970: 110)

Entonces, con la ecuación del confort como punto de partida, Fanger deriva un índice que permite hacer una posible predicción de la sensación térmica para cualquier combinación del nivel de actividad, del Clo[93] y de los cuatro parámetros ambientales[94].

Retomando las experiencias de Bedford realizadas en 1936, utilizó una escala de siete valores en la que los usuarios escogían el que más se ajustaba a su sensación térmica. Esta escala ya se encontraba recogida en los estándares de la época de la normativa de la ASHRAE y Fanger consideró que las personas se encontraban

92. Traducido por el autor: La satisfacción de la ecuación del confort es condición para un confort térmico óptimo. A pesar de ello, la ecuación solo da información de cómo las variables deben combinarse para alcanzar el confort térmico óptimo, y por tanto no es apropiada para predecir la sensación térmica de una persona en un clima arbitrario donde no puede esperarse que las variables satisfagan el equilibrio.

93. Clo: valor de aislamiento térmico de la vestimenta

94. Temperatura del aire, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire.

en confort térmico no sólo con la posición central (neutral), sino que añadió los dos escalones inmediatos (“ligeramente freso” y “ligeramente caluroso”) y así trató de absorber los posibles desajustes entre la realidad objetiva y la opinión subjetiva de las personas.

Este desarrollo teórico se concretó en una ecuación con la que se obtenía el Voto Medio Previsto (PMV, *Predicted Mean Vote*) en base a la carga térmica acumulada en el cuerpo:

$$PMV = (0{,}303e^{-0{,}036M} + 0.025)\ Lo \qquad \text{Ec. [EA.3.03]}$$

PMV = Voto Medio Previsto
M = Tasa Metabólica
Lo = Acumulación de calor en el cuerpo

En su libro, Fanger recoge comparaciones con los resultados de estudios similares al suyo desarrollados en Dinamarca y Estados Unidos, y las diferencias encontradas le conducen a implementar otro índice adicional que denomina Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas (PPD, *Predicted Percentage of Dissatisfied*) y que le permite complementar el resultado. Cuando el PMV se aleja del valor neutral, el PPD aumenta, estableciendo además que incluso en el punto central de la gráfica, que refleja el estado neutral (confort térmico) es imposible alcanzar un 100% de personas satisfechas y que al menos un 5% estarán fuera del confort. La ecuación del PPD es:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0{,}03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \qquad \text{Ec. [EA.3.04]}$$

El método de Fanger se basa en la física de transferencia de calor pero reconoce el componente subjetivo de la apreciación personal y hace una adaptación empírica para evaluar la posible sensación. Tiene una característica principal y es que las diferencias de sus resultados por motivo de nacionalidad, sexo, edad y hora del día no son significativas, por tanto su aplicabilidad puede ser casi universal.

Sin embargo, el modelo presenta dos limitaciones claras. La primera es la restricción explícita de los valores de la temperatura media de la piel y la pérdida de calor por evapotranspiración en un nivel dado de actividad. La segunda, empírica, es que el estudio solo se realizó con humanos expuestos durante un largo periodo de tiempo a condiciones constantes cuyas características podían ser medidas con exactitud.

Otros índices que se han desarrollado siguiendo el modelo de Fanger son:

- Tasa de Sudoración (S_R, *Sweat Rate*, 1992)
- Temperatura Aparente (A_T, *Apparent Temperature*, 1994)
- Temperatura Fisiológica Equivalente (PET, *Physiological Equivalent Temperature*, 1999)
- Temperatura de Enfriamiento por Viento (WCT, *Wind-chill Temperature,* 2001).

Otros autores han formulado su propia ecuación de confort siguiendo la concepción del balance térmico como causa de la sensación de bienestar, tales como Jendritzky et al. (1979, 1991), Steadman (1984, 1994), Höppe (1984, 1999), Gagge et al. (1986), Blazejczyck (1994), Horikoshi et al. (1995, 1997) así como Pickup y De Dear (2000).

A.3.2. El enfoque cuantitativo en crisis

Los modelos de confort térmico desde el punto de vista cuantitativo adquirieron una gran difusión y aceptación durante la segunda mitad del siglo XX y aun la mantienen hoy en día; así lo refleja su inclusión en las normativas. Pero en los últimos años su fortaleza se ha visto reducida ante la evidencia de que los resultados que ofrecen no siempre se ajustan con exactitud a la realidad y por tanto su aplicabilidad universal no es completa.

A finales del siglo XX, empezó a denotarse con evidencia científica que las temperaturas de confort que ofrecían los modelos teóricos, se encontraban muy por debajo de los datos obtenidos en estudios de campo realizados especialmente en climas calurosos, como los tropicales, en edificaciones ventiladas naturalmente. Busch (1995) demostró que la temperatura de confort para Singapur se estimaba entre 26,0 y 27,2ºC; para Irán de 32,5ºC; para la India de 31,1ºC; para Tailandia de 27,4ºC y para Dhaka (Bangladesh) de 26,5ºC.

Las nuevas metodologías que incluyen estudios de campo, con respuestas de usuarios reales en situaciones reales, han permitido comparar la respuesta de sensación térmica de individuos residentes en diferentes países con los resultados esperados mediante la aplicación del modelo de Fanger y de sus versiones de la ASHRAE-55 e ISO 7730. Las conclusiones obtenidas permiten aseverar que existe una cierta inexactitud respecto a las condiciones de confort "reales"; se desestima la capacidad adaptativa de las personas que habitan en climas tropicales, especialmente en condiciones de temperatura y humedad altas. Adicionalmente se ha destapado una variabilidad entre localizaciones geográficas, ambientes climáticos y estratos socio-económicos y culturales que no puede ser obviada.

Las críticas que sufren los modelos de aproximación racional se centran en tres aspectos:

- Los estudios, en base a los cuales se obtuvieron los modelos teóricos, se realizaron en cámaras climáticas, con condiciones muy estables y larga exposición. Se suponía así que las respuestas emitidas por los sujetos serían la mismas que darían en situaciones reales, algo que ha resultado ser incierto.

- Las predicciones de estos modelos solo son aplicables a personas que están acostumbradas a desarrollar su actividad en edificios altamente estancos con climatización artificial. Por el contrario, para personas que ocupan edificios con posibilidad de ventilación natural no responden a la realidad. De este modo no

tienen en cuenta cuestiones como la aclimatación y la expectativa térmica que son claves para reducir el consumo energético de un edificio.

- Cuestiones poco controlables y difíciles de estimar en situaciones cotidianas como son el aislamiento de la ropa y la tasa metabólica de los sujetos tienen una grandísima influencia sobre los resultados reales. La necesidad de establecer un valor preciso para desarrollar el modelo, hace impráctica su aplicación y, en cualquier caso, la vuelve subjetiva al fijar valores que en el modelo real son variables. [95]

A.3.3. El enfoque cualitativo. Modelos de adaptación

El enfoque cualitativo es la alternativa para el estudio de sistemas complejos con muchos componentes interrelacionados, cuya explicación suele ser inestable por lo que no propone principios universales sino interpretaciones teóricas múltiples (Groat , Wang 2002:215).

Este enfoque, que está siendo utilizado por muchos autores en los nuevos estudios sobre el confort, permite entonces estudiar problemáticas complejas en las que no existen patrones claros que definan el comportamiento de las variables, que además son de naturaleza distinta, tales como las físicas y biológicas, cuantificables (clima, metabolismo, aislamiento térmico, tasa metabólica) a la vez que psicológicas, cualificables pero no cuantificables (adaptación, tolerancia, experiencia, expectativa)

Desde este punto de vista, el confort térmico se concibe como un estado mental en que se involucran variables subjetivas, no solo físicas. Si observamos las definiciones que se incluyen en las normativas respecto al confort térmico, veremos que son conceptualmente sencillas y probablemente compartidas por la mayoría de las personas, pero son difícilmente cuantificables y traducibles a parámetros físicos.

95. En el apartado E.3.4 (pág. 411) se realiza un análisis crítico del confort en los edificios analizados en base a estos planteamientos.

Por ese motivo, desde el enfoque cualitativo se plantea que para la caracterización del confort térmico no puede tenerse en cuenta únicamente el intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente, sino que deben incluirse adicionalmente una serie de acciones que el ser humano realiza para alcanzarlo. Estas pueden ser internas mediante procesos fisiológicos y psicológicos, muchas veces inconscientes, o externas mediante la modificación del entorno de manera consciente. De hecho es habitual que en edificios en los que es posible modificar la apertura o cierre de huecos, así como la protección solar de los mismos, la gente reacciones de manera instintiva buscando obtener las mejores condiciones de comodidad tal y como demuestran los estudios de Humphreys y Nicol (1998:992).

Ellos mismos[96], fueron los primeros en sugerir, en 1972, que las acciones que realizan los seres humanos para buscar el confort pudieran ser el resultado de una regeneración iterativa entre la sensación de los sujetos y su comportamiento, debido a que se adaptaron a las condiciones climáticas variables del medio en que se efectuó su estudio de campo. De ahí se derivó el nombre de "adaptativo" con el que se conoce a los modelos e índices que se sustentan en el enfoque cualitativo.

En realidad, los modelos basados en enfoques cualitativos, nacieron mucho antes. En 1936, Bedford realizó estudios de campo para investigar la relación entre el ambiente térmico y los sentimientos personales de confort en los ambientes de trabajo; así estableció el Índice de Calor Equivalente. Sin embargo, debido al rápido desarrollo que experimentaron los modelos de aproximación racional y a lo incipiente del estudio en base a casos en este ámbito, la línea de investigación no fue continuada hasta muchos años después.

Otro nombre con el que se conocen los modelos adaptativos es el de modelos de neutralidad térmica. La denominación surge del concepto de "Temperatura de Neutralidad", asumida como la de confort y establecida por Humphreys en 1978. Es un valor que se obtiene mediante análisis de regresión lineal en función

96. Humphreys y Nicol, trabajando por separado antes de comenzar a colaborar.

de las respuestas dadas por personas en un estudio de campo y de valores de los parámetros climáticos medidos con instrumental. Así, y aunque pueda parecer contradictorio, se interrelaciona una temperatura del aire del ambiente exterior con una situación de confort, ya que en los estudios se observó, que independientemente del diseño y comportamiento de la envolvente, siempre que exista posibilidad de ventilación natural cruzada, existe una relación directa. En definitiva, la percepción del confort depende de la temperatura exterior, especialmente en los edificios naturalmente ventilados.

La gran diferencia estriba en que estos modelos no tienen una base termofisiológica sustentada en resultados experimentales de laboratorio, sino que se basan en estudios de percepción de confort térmico realizados en situaciones reales y bajo una amplia gama de condiciones climáticas. Humphreys y Nicol indican que los estudios hechos en laboratorio:

> *…revelan el efecto que ejercen las condiciones ambientales sobre la fisiología humana y la comodidad, pero si se desea entender el comportamiento humano –cómo la gente se adapta a su ambiente y cómo lo modifica para permanecer confortable—lo que se debe estudiar es a la gente en su hábitat natural.* (1998:998)

Según todos estos planteamientos, la temperatura de confort es un resultado de la interacción entre los sujetos y su ambiente térmico. Las reacciones de los individuos y las decisiones tomadas (a veces inconscientemente) son reflejo de su situación fisiológica, psicología subjetiva y psicología volitiva. En ese sentido, será menos probable que sufran incomodidad aquellos con más oportunidades de adaptarse al ambiente o de adaptarlo este a sus necesidades. (Fountain, Brager et al. 1996), (Humphreys, Nicol 2001), (Brager, Paliaga et al. 2004)

Muchos de los estudios realizados a partir de los planteamientos de Humphreys han reforzado sus conclusiones y parece establecido que existe una relación directa entre la temperatura ambiente promedio a la que están acostumbrados los individuos y su percepción térmica. Los modelos desarrollados determinan

la temperatura de neutralidad como función de la temperatura media exterior de cada lugar concreto, siendo el procedimiento más usado el de regresión lineal con lo que tienen la forma de la ecuación de una recta:

$T_n = b + (m\ T_{em})$

T_n = Temperatura de neutralidad
b = punto donde la recta de regresión corta el eje de ordenadas
m = pendiente de la recta
T_{em} = Temperatura exterior promedio

Para completar estos estudios, no es suficiente establecer una temperatura de confort en la que la sensación térmica se acerque a la neutralidad sino detectar en que situación deben encontrarse los individuos para poder situarse en ese rango de confort. Según los estudios de Humphreys (1981), para alcanzar el confort pueden realizarse cuatro tipos de acciones:

1. Modificación de la generación interna de calor.

Puede lograrse inconscientemente mediante respuestas fisiológicas como la vasoconstricción o tiritar, o conscientemente mediante la realización de movimientos rápidos (frotarse las manos) o dormir para reducir la producción de calor.

2. Modificación de la tasa de pérdida de calor del cuerpo humano.

De nuevo puede realizarse mediante procesos fisiológicos inconscientes (vasoconstricción para reducir la pérdida o sudoración para aumentar la pérdida de calor) y conscientemente con acciones como modificar la vestimenta o tomar una bebida caliente o refrescante.

3. Modificación del ambiente térmico.

Siempre que este lo permita, el usuario puede abrir o cerrar una ventana, quitar o poner una protección solar, etc.

4. Modificación de la posición relativa dentro del ambiente térmico.

El usuario puede desplazarse a una zona con temperatura diferente dentro del mismo cuarto o en espacios diferentes del mismo edificio.

Los modelos de adaptación plantean diversas ventajas que facilitan la práctica de la investigación:

> *…los proyectos de investigación pueden llevarse a cabo mediante presupuestos modestos, puesto que no implican la construcción, el equipamiento y la operación de cámaras de clima controlado, usualmente costosas. Esto hace que las investigaciones puedan extenderse a lo largo del tiempo y obtener así mayor cantidad de datos en un contexto de parámetros climáticos muy diverso. Por ese motivo se multiplican las evidencias provenientes de muchos lugares del mundo, que permiten integrar y enriquecer una base de datos global.* (Gómez, Bojórquez et al. 2007: 52)

No solo eso, sino que los factores de aislamiento de la ropa (clo) y tasa metabólica (met) no es necesario que sean medidos detalladamente puesto que la población estudiada vestirá y actuará con la normalidad que la actividad que estén desarrollando conlleve y por tanto se convertirán en factores que no influirán en la aplicabilidad de los resultados.

A causa de la aceptación mayoritaria de los resultados de los estudios con modelos de adaptación, las normativas basadas en los estándares cuantitativos han ajustado en estos últimos años sus procedimientos para incluir parte de los preceptos de la adaptabilidad de la percepción humana. En la norma internacional ISO 7730:2005, se ha incluido, siguiendo los estudios realizados por Fanger en 2001 y 2002, un factor de expectativa "e" que multiplica el valor del índice para obtener sensaciones térmicas más ajustadas a la realidad en edificios sin aire acondicionado en climas calurosos. Además existe una normativa, la ISO 105514:1995, que regula la evaluación de las condiciones de confort térmico en base a estudios de campo, pero que solamente es de

aplicación en lugares de trabajo. Por su parte, la ASHRAE 55:2004 incluye un Estándar de confort adaptativo (ACS, *Adaptive Comfort Standard*) para las edificaciones que permitan la ventilación natural en época estival que está basado en la fórmula propuesta por Brager y De Dear en 2001.

Pero en el ámbito donde los modelos de adaptación han encontrado mayor aplicabilidad es en los estudios de ahorro energético de la edificación. Gracias al planteamiento, a efectos prácticos, la realidad es que los seres humanos aumentan el rango de temperaturas en el que se encuentran confortables si son capaces de interactuar con la envolvente del edificio (especialmente para permitir la ventilación cruzada interior) y por tanto se reduce considerablemente la necesidad de climatización artificial y por consiguiente el gasto energético.[97] Todos los estudios de nuevo revelan que la temperatura operativa de confort tiene una relación directa con la temperatura exterior promedio.

Si bien es cierto, aunque se han realizado múltiples estudios sobre los modelos adaptativos, en la actualidad todavía quedan muchas localizaciones por ser evaluadas bajo este procedimiento y en cualquier caso lo que si se ha podido demostrar es que la percepción del ambiente térmico está muy lejos de ser estática y más bien responde a parámetros cambiantes al igual que lo hace la realidad.

A.3.4. El enfoque cualitativo en cuestionamiento

No existe duda de que los modelos de adaptación son, en la actualidad, el escalón más avanzado de los estudios sobre el confort térmico. Pero siguen existiendo detractores de sus planteamientos que prefieren el enfoque cuantitativo o un modelo mixto. Incluso las investigaciones en esta línea plantean varias debilidades que siguen a la espera de ser resueltas y que se pueden concretar en cuatro grupos: la subjetividad, la información todavía incompleta

97. Los trabajos de Auliciems y Szokolay (1997) y De Dear y Brager (1998) están dirigidos en esa línea y se centran además en cuestiones de diseño arquitectónico.

de la que se dispone, la excesiva amplitud del rango térmico y la parametrización del comportamiento del individuo.

La subjetividad

Por un lado, existe una tendencia general, en las disciplinas eminentemente numéricas a calificar los estudios cualitativos como "imprecisos" por la multiplicidad de métodos de interpretación con los que se llega a los resultados, son tantos casi como investigadores. Por otro, se acepta que los niveles de complejidad que necesitan las ciencias de las humanidades y sociológicas son extremadamente elevados en comparación con las físicas, hecho que ha resultado en un grado menor de desarrollo y que ha supuesto que las segundas progresaran más rápido y alcanzaran mucho antes una integración más completa y susceptible de análisis filosófico (Pérez 1988:113). Aun así, sigue existiendo una tendencia a pensar que cualquier fenómeno que ocurre en la realidad es posible reducirlo a modelos matemáticos que por muy complejos que sean, conceptualmente tienen una base relativamente sencilla.

En definitiva se trataría de utilizar un modelo mixto, que no se encuentra desarrollado todavía, que aplique de manera general un método cuantitativo en todos aquellos aspectos en los que sea posible, dejando las metodologías y tratamientos cualitativos solo para cuestiones psicológicas o que los numéricos no puedan abarcar.

Para ello sería necesario un estudio muy particular del fenómeno puesto que los estudios de confort basados en modelos adaptativos resultan más complejos que la simple búsqueda de una temperatura de confort, sino que van más allá intentando entender y clarificar comportamientos humanos en situaciones reales difícilmente estandarizables. Para lograr incluir el enfoque cuantitativo y considerar las interacciones entre la reacción individual y el entrono dentro de una formulación, es necesario introducir conceptos novedosos como

predictibilidad, retracción, variación y control (Gómez, Bojórquez et al. 2007: 52).

En esta línea están trabajando autores como Conte y Fato, que han buscado herramientas metodológicas que permitan una aproximación cuantitativa a la lógica del razonamiento confuso. Sin embargo, en general, no existe todavía alternativa al estudio empírico basado en el estudio de campo, que por el momento sigue siendo la herramienta más utilizada para la comprensión global del problema del confort térmico.

A pesar de las críticas existentes sobre los modelos adaptativos, se es consciente también en la comunidad científica que los modelos que han sido utilizados hasta el momento para el intercambio de calor del ser humano con el ambiente son estáticos y que serían necesarios modelos de análisis térmico dinámicos, pero en dos niveles, tanto para el cuerpo (en su interacción con el ambiente exterior) como para el propio ambiente exterior, y este hecho complica muchísimo la operativa. Si bien es cierto, los avances tecnológicos y de software actuales permitirán en breve realizar análisis que se ajusten más a la realidad del comportamiento térmico que se estudia.

En la actualidad, existe una propuesta muy ambiciosa que está a punto de concluir con la publicación de un Índice Universal de Confort Térmico denominado UTCI (*Universal Thermal Comfort Index*) en el que están trabajando varias instituciones a nivel internacional, utilizando modelos multi-nodales muy avanzados. En Europa, el principal estamento involucrado en su desarrollo es la *International Society of Biometeorology* (ISB) que apoya a investigadores de diversas universidades. El estándar que se pretende alcanzar resulta mucho más complejo que los modelos de predicción anteriores y tal vez, por ese motivo, pueda resultar igual de impreciso que ellos, sin haber avanzado en algunas de sus debilidades como puede ser la necesidad de estimar algunos valores de difícil medición en la realidad (tasa metabólica o coeficiente de aislamiento de la ropa).

Base de datos global incompleta

Poder definir valores de temperatura de neutralidad que tengan un error pequeño y que realmente reflejen la realidad requiere recoger un número muy alto de datos de diferentes poblaciones, localizaciones y regiones del planeta. Además debido al alto valor de variabilidad que tiene la percepción térmica, la cuestión resulta todavía de mayor importancia.

Cuestiones como la cultura, la formación, el nivel socio-económico o el lugar de nacimiento, y por supuesto cuestiones fisio-psicológicas individuales, todas ellas hacen necesaria una muestra amplísima para poder validar el estudio y que, además, recoja datos de todas las situaciones posibles que influyen en la percepción. Por ejemplo Humphreys concluyó que, por un lado, en edificios climatizados artificialmente, la temperatura de confort depende principalmente de factores sociales y económicos en vez de por variaciones del clima. Por el otro, en el caso de edificios con ventilación natural el valor de la temperatura de confort depende casi exclusivamente de la temperatura promedio exterior (1981:249).

En conclusión, para apoyar la creación de un modelo o índice único a nivel global es necesario investigar multitud de poblaciones y conformar una base de datos global que permita encontrar un patrón identificable que conduzca a la formulación de un modelo universal que refleje fielmente la realidad y que tendría como variables el clima local y las características del entorno de las personas, que además son difícilmente tasables.

Amplitud del rango térmico

Otro de los problemas que presentan los modelos adaptativos es que, al considerar que la temperatura de neutralidad no tiene un valor puntual definido sino que existe un rango en el que las personas pueden sentirse lo suficientemente cerca del confort, entonces introducen una nueva variable: la amplitud de ese

rango. Su valor no se ha determinado todavía mediante formulación matemática, algo que es necesario para la correcta definición de un modelo completo.

Algunos autores, como Nicol, plantean que dicha magnitud depende del tiempo de adaptación que tienen las personas en sus ambientes. Por este motivo, cuanto mayor tiempo tarde en modificarse una temperatura, mejor capacidad de adaptación tienen las personas para adaptarse al cambio sin que se produzca una modificación significativa de la percepción de confort. Propone que ±2ºK es un valor aceptable de variación para un periodo de 24 h, pero que puede ampliarse hasta 5±ºK si el periodo de análisis es mayor a una semana (Nicol 1993:126). Otros autores opinan que conforme se amplía el periodo de adaptación también se amplía el rango de confort y por consiguiente se pueden aceptar temperaturas más extremas. Auliciems y Szokolay proponen como valor una variación de ±2ºK para periodos anuales, y de ±1,75ºK para periodos de un mes o inferiores (1997:55)

Incluso autores tan importantes en la historia de la arquitectura bioclimática y del confort pero mucho anteriores a la extensión de los modelos adaptativos, como Olgyay y Givoni, plantearon rangos de confort al estudiar la temática.

En cualquier caso, observamos como las diferencias entre los valores propuestos son grandes y por tanto sería necesaria una investigación de mayor concreción.

Evans consideró la necesidad de definir el rango de confort como una función de las variaciones diarias de temperatura, en lugar de hacerlo con el promedio de la exterior como planteaban los modelos anteriores. En su línea de generar herramientas gráficas que permitan el trabajo del diseñador y del investigador, propuso una en la que se relacionan las oscilaciones diarias de temperatura con las zonas de confort según niveles de actividad (Evans 2003)

En todos estos ejemplos la amplitud que alcanza el rango de confort es equidistante respecto a la temperatura de confort, pero en algunos estudios

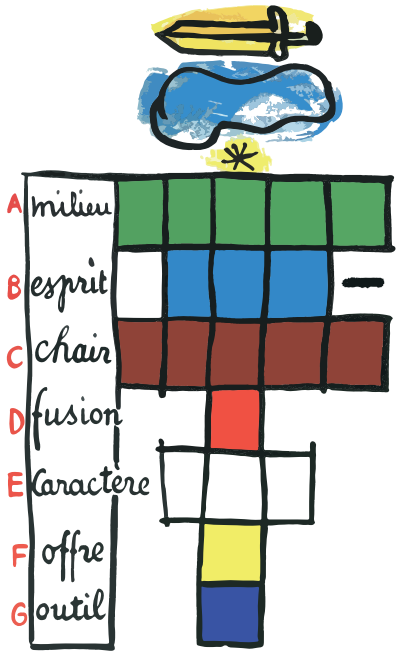
incluso se ha detectado que para lugares calurosos y con un alto nivel de humedad, el rango no es equidistante puesto que las personas admiten tener mayor tolerancia a las temperaturas altas que a las bajas.

Parametrización del comportamiento del individuo

Otra tarea que todavía queda pendiente es conseguir parametrizar de manera cuantificable el papel que el individuo juega en el proceso de adaptación al ambiente térmico. Entender cómo funciona la percepción de la comodidad de los usuarios pasa por entender las condiciones según las cuales las personas ocupan el lugar, operan los controles o incluso modifican las características de la envolvente del espacio que ocupan.

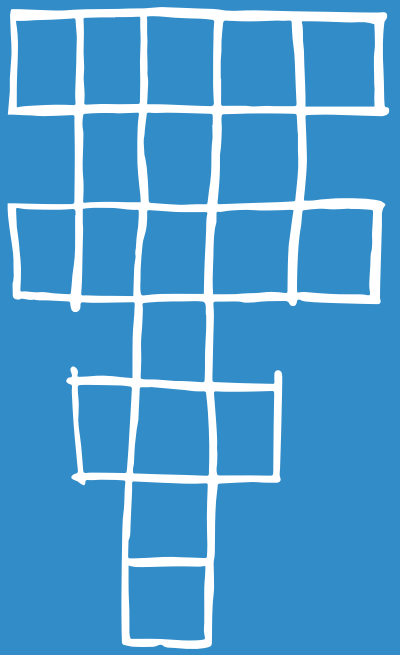
Aunque autores como Humphreys, en 1981, ya indagaron en las acciones voluntarias e involuntarias que las personas realizan para mejorar su estado de confort, estudiar este hecho es una tarea que todavía está por realizar. Especialmente si se tienen en cuenta procesos de aprendizaje mediante los cuales los usuarios alcanzan mayores niveles de confort estudiando los efectos que produce el abrir o cerrar huecos practicables.

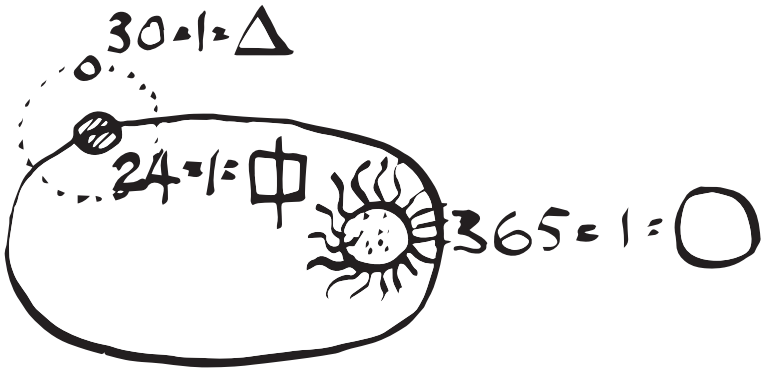
> *Las implicaciones de estándares de temperatura tan dinámicos deben conducir a un cambio en el método que los calculistas emplean para simular el desempeño térmico de los edificios. El reto es cómo incorporar en los procesos de cálculo las características cambiantes de los edificios naturalmente ventilados y la consiguiente variabilidad del umbral de confort.* (Gómez, Bojórquez et al. 2007: 54).



Cap. B

CAPÍTULO B.
CARACTERIZACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL HIGROTÉRMICO





B.0. Representación gráfica de datos

> *Le dessin est un langage, une science, un moyen d'expression, un moyen de transmission de pensée.*
>
> *Le Corbusier*[98]

En una entrevista concedida para *La Revue Art d'Aujourd'hui*, en 1965, Le Corbusier reconocía que no se le conocía por su pintura sino que por su arquitectura, admitiendo que a través de la primera era que había llegado a la segunda (Moreno Mansilla 2002). De hecho se consideró mucho antes pintor que arquitecto; el proceso de aprendizaje se remonta a su infancia, cuando de la mano de l'Eplattenier, su profesor de dibujo en la Chaux-de-Fonds, comienza a ver y dibujar el mundo, la naturaleza y las obras de arte de la antigüedad (Bravo Farré 1988:86) , todo ello en sintonía con el método de aprendizaje del dibujo que había establecido John Ruskin (1819-1900) en su libro *The Elements of Drawing* (1857). En este se describen una serie de ejercicios con el fin de lograr

98. Traducción autor: El dibujo es un lenguaje, una ciencia, un medio de expresión, un medio de transmisión del pensamiento. Texto de Le Corbusier, extraído de Le Corbusier(1968) *Dessins*, Genéve, Forces Vives en (Pauly 2006:8)

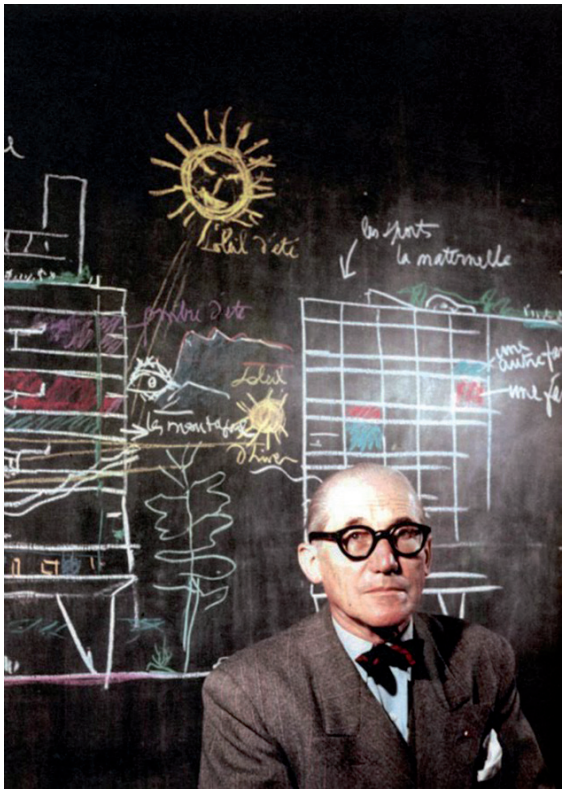


Fig. FB.0.01. Le Corbusier frente a uno de sus dibujos durante una conferencia

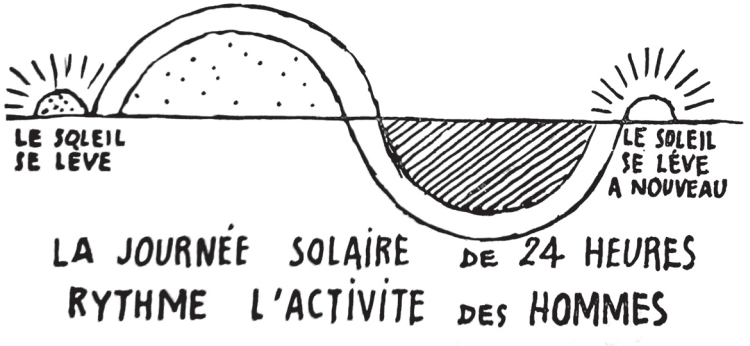


Fig. FB.0.02. *La journée solaire de 24 heures*. Le Corbusier.

esa actitud que postulaba el autor: dibujar lo que está delante de nosotros tal y como se ve la primera vez, sin incluir ningún conocimiento previo.

En su tesis, Bravo Farré alude al dibujo de Le Corbusier como medio de exploración, refiriéndose a él como un ejercicio de investigación (1988:23). Sin duda, el arquitecto dominaba el dibujo en términos plásticos, pero además lo utilizaba como canal de divulgación, junto a sus textos, para establecer y presentar las ideas que estructuraban su pensamiento teórico. Dibujaba, a menudo, el recorrido solar; especialmente el esquema de una línea horizontal con dos recorridos curvos por encima y por debajo del horizonte. Con esta imagen expresaba su idea de la naturaleza como reguladora de la vida y actividades del ser humano. En *La Maison des hommes* escribía:

> *El ciclo solar: un sol se levanta, ¡un sol vuelve a levantarse! He aquí las dos líneas de medida que cadencian las actividades de los humanos. Dentro del intervalo de esta medida, un ritmo de tres tiempos: trabajo, esparcimiento, reposo […] Sobre esta extensión rectilínea, medida de este modo por medio de la energía solar, se inscribe la melodía de la vida* (Le Corbusier, Pierrefeu 1942)

De este modo representaba mucho más de lo que era el propio dibujo. Y aunque tardó mucho tiempo en desarrollarlo verbalmente en el ámbito arquitectónico, en el pictórico representativo lo constató tempranamente. En uno de sus diarios escritos en su viaje a Oriente, Jeanneret (todavía no era Le Corbusier) decía:

> *He terminado ¿Por qué me he metido en este trabajo infructuoso? Quería "comprometerme para obligarme a ir hasta el final. Pensé que habría sido hermoso tener recuerdos de un viaje como este. Pero son notas muertas. Las bellezas vistas desaparecerán para siempre en mi pluma como asesinatos repetidos.* (1988:26)

Expresa las limitaciones de la representación como reflejo de las vivencias. Solo con el dibujo no puede alcanzarse esa realidad tangible (*espace indicible*) y tal vez por eso reconoció la arquitectura como la única creación humana capaz de

concentrar todos esos matices y exprimir las cualidades organolépticas de la materia (López Cotelo 2012:72).

Esta incapacidad de expresar todo el conjunto de las percepciones sensoriales, es probablemente el motor que llevó al arquitecto franco-suizo a interesarse por el cubismo ya que esta corriente pictórica fue la primera en querer hacer del cuadro un objeto y no esa especie de panorama que era el cuadro antiguo, ventana abierta sobre un escenario (Moreno Mansilla 2002:159).

Como sabemos Le Corbusier recurrió con frecuencia al dibujo. Por un lado, su legado documental (*carnets,* agendas, lo privado), sugiere un predominio del boceto como instrumento de análisis y conocimiento de lo existente; pero por otro lado, su legado editorial (libros, lo público) muestra una serie de signos repetidos casi obsesivamente, a los que también recurría en sus conferencias, que acabaron conformando un alfabeto de ideogramas que marcó, menos que sus obras, a los arquitectos de varias generaciones pero que tiene tanto peso como estas.

Puede plantearse entonces la duda de qué relación puede tener una herramienta como es la *Grille Climatique* con el universo formal y artístico de Le Corbusier. Pero es que:

> *Todo lo que sale de un arquitecto es arquitectura…cualquier explicación literaria o gráfica de un proyecto, cualquier dibujo sintético o cualquier dibujo evocativo es arquitectura* (Abalos 2007:36)

Toda esa capacidad de abstracción, de expresión, de síntesis que desplegaba para realizar cada uno de sus cuadros cubistas o de sus bocetos son necesarias para concretar una herramienta gráfica como la que estudiamos y otras más que también veremos. Al menos como base estructuradora de conocimientos más técnicos permitiendo que se introduzcan en el proceso de diseño como una herramienta más. Como veremos, en la ideación de la *Grille Climatique*

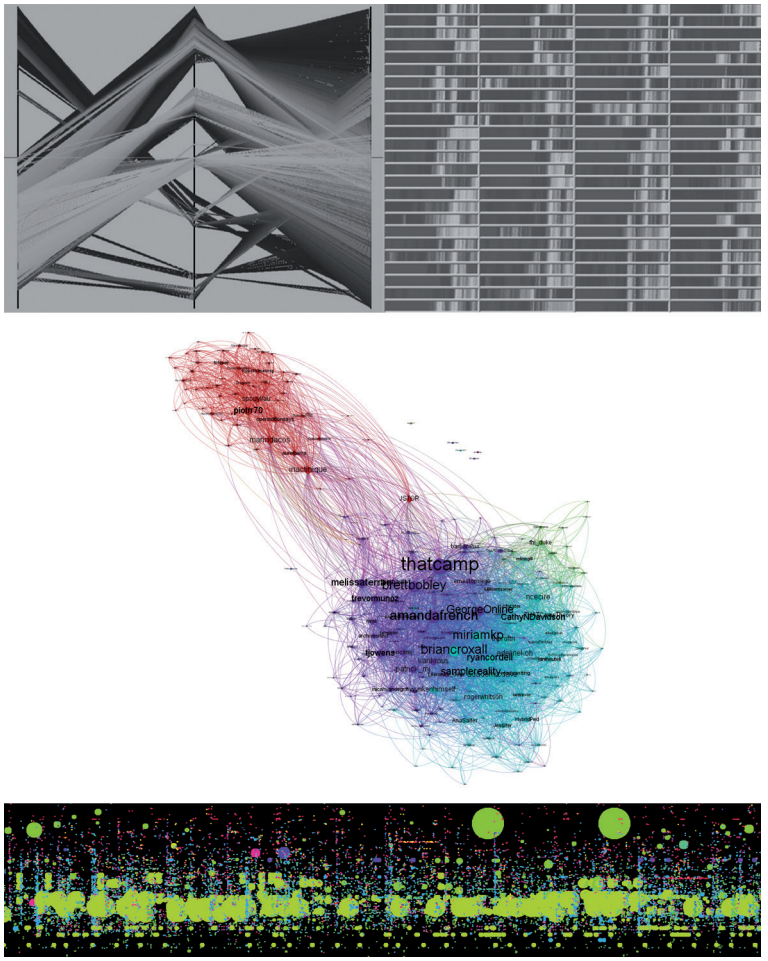


Fig. FB.0.03. Diferentes técnicas de visualización de datos

participaron personas con una vertiente técnica muy pronunciada[99], pero no fue ni mucho menos un hecho aislado un su trayectoria, de hecho fue la última de sus herramientas sistematizadoras después de la Grille CIAM o el Modulor.

En definitiva, la gestión de información tiene varios canales, uno de ellos es el dibujo, y por tanto el ser humano los utiliza para pensar. Siendo el universo gráfico uno de los más potentes en el ámbito del diseño arquitectónico. Dependiendo de la corriente teórica desde la que se analice la cuestión, se puede asegurar que el hombre piensa con palabras o con imágenes. En cualquier caso la traducción de unas en otras, especialmente de los números o conceptos abstractos en imágenes es muy importante, en algunos casos, para el análisis de esos números y para su rápida comprensión.

Tan importante es este planteamiento que, de hecho, en el contexto actual que vivimos, inundado de millones de datos y en el que se hace cada vez más difícil la gestión de la ingente cantidad de información existente, se han desarrollado disciplinas como el *data mining* o la *information visualization* que se centran en el estudio de cómo abordar el análisis de la información de modo que sea abarcable para la investigación (Shneiderman 1996:1). En ocasiones, las dos se han aunado generando una nueva vertiente denominada *visual data mining* que ha desarrollado diferentes estrategias para representar la información gráficamente y así poder descubrir patrones, nexos, cadencias.[100]

La visualización de datos depende de la caracterización de los mismos, de la técnica gráfica utilizada y de la capacidad de interacción o segregación con ellos. Existen representaciones planas, tridimensionales, multivariable; algunas son tan sencillas como la traducción de la información en un código cromático sobre un mapa, pero otras generan imágenes verdaderamente llamativas pero que tienen la capacidad de esclarecer realidades que de otro modo son tan amplias y abstractas que son difícilmente asimilables por la mente humana.

99. Dígase Ianis Xenakis, que trabajó en el atelier de Le Corbusier de 1948 hasta otoño de 1959, o André Missenard, ingeniero y científico que investigó sobre el confort humano y la climatización.

100. *Data mining*: minería de datos; *information visualization*: visualización de la información; *visual data mining*: minería visual de datos. Estos términos se utilizan habitualmente en inglés en las publicaciones científicas incluso aunque estén redactadas en castellano.

Algunas técnicas habituales en la gestión gráfica de la información son (Keim 2002):

- Visualización de coordenadas paralelas.
- Disposición densa de píxeles, técnica de patrones recursivos.
- Disposición densa de píxeles, técnica de segmentos circulares.
- Nubes de puntos o nodos.

Pero el planteamiento de estas ciencias no es realmente nuevo. En un análisis más amplio vemos que la historia está llena de situaciones en las que un análisis numérico traducido, de forma adecuada, en análisis gráfico, ha permitido tomar distancia y resolver un problema que *a priori* parecía complicado. Esto se debe a que lo gráfico tiene mayor relación con lo conceptual, permite más fácilmente la comparativa y porque sitúa, dentro del universo material de dos o tres dimensiones, datos abstractos que no siempre son fáciles de abordar de otra manera. Veamos algunos ejemplos.

B.0.1. Ejemplos históricos

Los árboles de Ramón Llull (1303)

El filósofo alquimista Ramón Llul es considerado uno de los grandes pensadores y científicos de la historia, incluso se le denomina el Leonardo español. Sus diagramas mecánicos del conocimiento sirvieron de inspiración para el desarrollo de la lógica simbólica de Leibnitz, madre de los lenguajes de programación. Dibujó catorce láminas denominadas árboles de la ciencia, en las que utiliza por primera vez la estructura orgánica de un árbol para representar el origen y desarrollo de las áreas del conocimiento.

En 1303, este planteamiento era completamente adelantado y su influencia ha sido enorme en la historia científica y también en el lenguaje. De estos dibujos

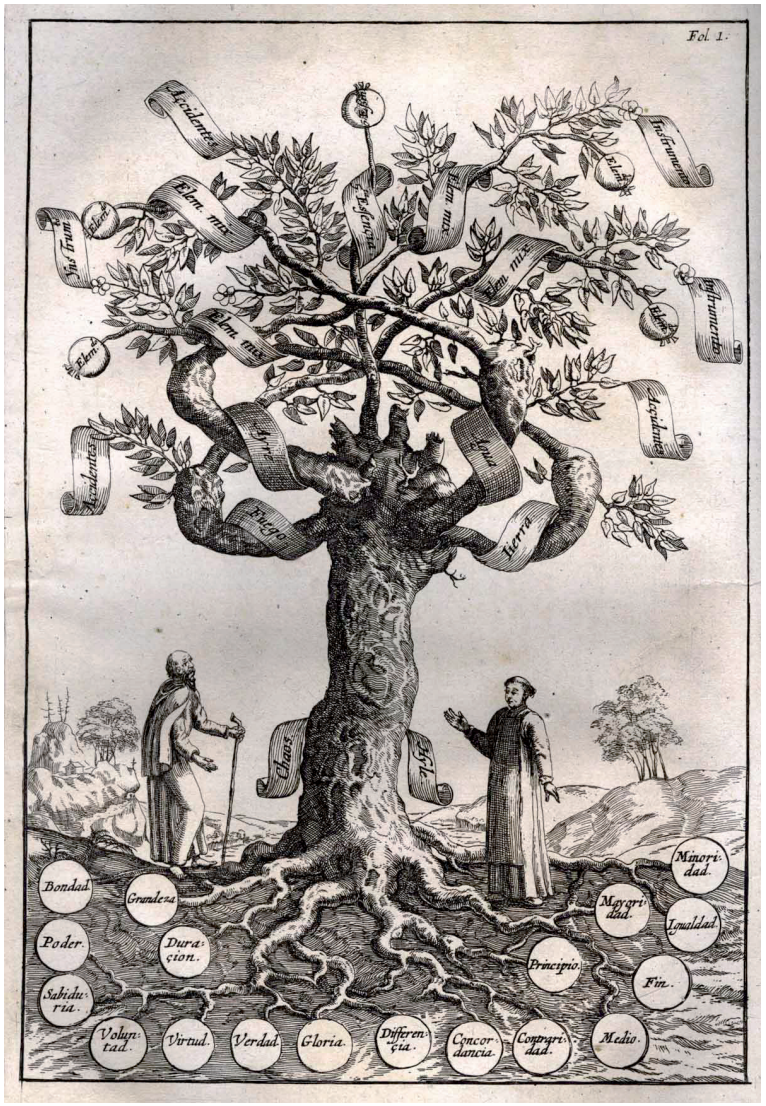


Fig. FB.0.04. Lámina de la serie *Los árboles de la ciencia* (1303) Ramón Llull

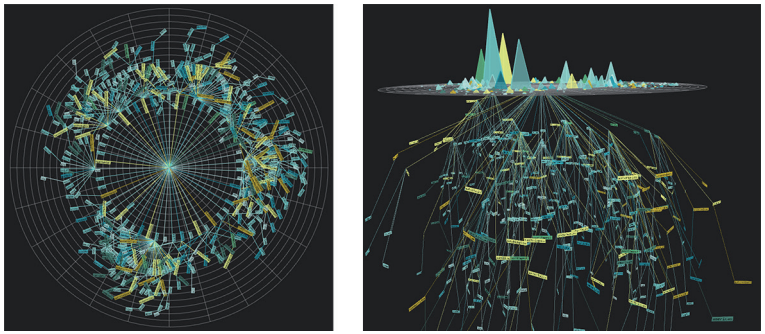


Fig. FB.0.05. Arbol tridimensional de nodos conceptuales. Técnica de visualización de datos que combina información legible en dos y tres dimensiones.

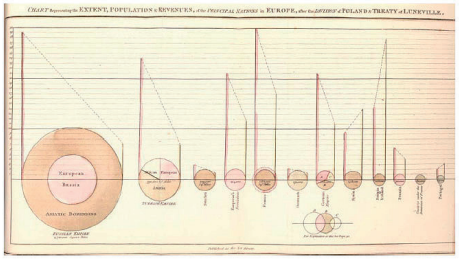


Fig. FB.0.06. Gráfico de sectores. Tabla mostrando la extensión, poblaciones e ingresos de las principales naciones de Europa tras la división de Polonia y el Tratado de Luneville (1801) William Playfair.

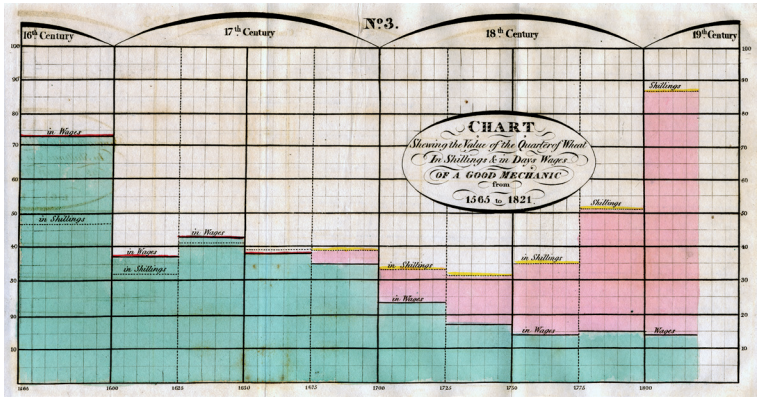


Fig. FB.0.07. Tabla mostrando el valor de un cuarto de trigo en chelines y en jornales de un buen mecánico desde 1565 a 1821. (1821) William Playfair.

de Llul vienen expresiones tan habituales como "la raíz del problema" o "asignatura troncal". En las ilustraciones, cada parte del árbol tiene una analogía:

- Raíces: grandes principios básicos
- Tronco: Estructura de la ciencia
- Ramas: géneros
- Hojas: especies
- Frutos: los seres humanos, última partícula indivisible del árbol del saber

La estructura en árbol sigue siendo hoy en día una de las más utilizadas para representar situaciones relacionales, incluso en tres dimensiones.

El precio del trigo de William Playfair (1821)

William Playfair es considerado habitualmente como el pionero de los gráficos estadísticos. En su libro *The Commercial and Political Atlas* (1787), ya había gráficos de barras. Pero fue con su siguiente libro, *Statistical Breviary* (1801), donde estableció las bases de la disciplina incluyendo: gráficos de barras, de tendencia y gráficos de sectores (Fig FB.0.06).

Playfair era un amante de la economía, especialmente de los estudios de contraste. Sus grabados más conocidos sobreponen recaudaciones de impuestos o saldos comerciales de diferentes países, reflejando el estado de los mercados de exportación e importación. En uno de sus grabados (Fig. FB.0.07) contrapone los ingresos de un "buen mecánico" con el precio de un cuarto de trigo en el periodo 1565-1821, obteniendo, con la contraposición el valor del poder adquisitivo, concepto al que ahora todos estamos muy acostumbrados y que en la época estaba limitado a los economistas.

Desde el mismo punto de vista también estudió comparativamente el declive de diferentes imperios económicos de la historia, extrayendo patrones similares que le permitieron aseverar que existían *permanent causes* (causas permantes) que se repetían en todos los casos.

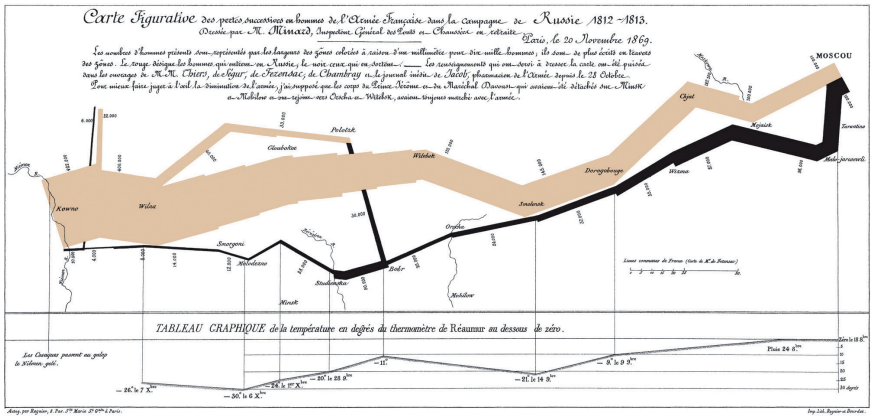


Fig. FB.0.08. Carta figurativa de las pérdidas sucesivas en hombre del ejército de la Armada Francesa en la campaña de Rusia 1812-1813. Dibujado por M. Minard, inspector General de Puentes y Carreteras, retirado. París, 20 de Noviembre de 1869.

Traducción texto incluido en la carta:

El número de hombres presentes es representado por la anchura de las zonas coloreadas a razón de un milímtero cada seis mil hombres, además se grafía transversalmente a las áreas. El color dorado designa los hombres que entraron en Rusia, el negro aquellos que salieron. Las referencias que se han utilizado para dibujar la carta han sido tomadas de las obras de M. M. Chiers, de Ségur, de Fezensac, de Chambray y del diario inédito de Jacob, farmacéutico de la Armada después del 28 de octubre.

Para juzgar mejor a simple vista la disminución de la armada, he supuesto que los cuerpos del Principe Jérôme y del Mariscal Davousi que habían estado apostados en Minsk y Mohilow y que se reunieron en Orscha y Witebsk, habían marchado junto a la armada desde el principio.

La marcha napoleónica de Minard (1869)

En junio de 1812, la *Grande Armée* de Napoleón cruzó el río Niemen en dirección a Moscú. Era el ejército más grande y mejor preparado del mundo, y las tropas del zar Alejandro no podían hacerle frente, pero sí retroceder dejando detrás de sí un sendero de destrucción utilizando la famosa táctica de tierra quemada. Incluso cuando llegaron a Moscú, los generales rusos antes de partir la habían quemado y las tropas francesas tuvieron que retornar ya que no tenían comida, ni pasto para los caballos, ni refugio para el invierno. A la vuelta, el ejército del comandante Mijaíl Kutúzov les esperaba en el río Bérézina donde se produjo una masacre.

De los 422.000 hombres que empezaron la campaña, solo 100.000 llegaron a su destino, y de los que dieron la vuelta, sólo 10.000 llegaron vivos a Francia. Esta historia de muerte y destrucción fue retratada por el ingeniero Charles Joseph Minard (1781-1870) en un documento que ha pasado a la historia de la visualización de datos, denominada incluso la Gioconda de la disciplina: la *Carta*

figurativa de las sucesivas pérdidas de hombres del Ejército francés en la campaña de Rusia de Napoleón en 1812.

La gráfica tiene una base geográfica geometrizada y simplificada (algo muy avanzado para la época) en la que se representa una línea (dorada a la ida, negra a la vuelta) que representa el trayecto de las tropas y cuyo grosor depende del número de hombres vivos. Gracias a la conjunción de esta doble información se puede observar como las mayores muertes se produjeron en el cruce de ríos, ya que con lo complejo que era entonces cruzarlos (no existían puentes), suponía una situación de debilidad para las tropas.

Pero el verdadero avance supone la conjunción de toda esta información con un mapa de temperaturas. Minard representa un gráfico cuyo eje de tiempo que, aún no estando estrictamente dibujado, se deduce que tiene una escala variable que se adapta a la geografía. Este hecho que aisladamente carece de sentido físico, en la lámina, permite dilucidar como las mayores muertes también se asociaron a las temperaturas extremas bajo cero.

El mapa del cólera de John Snow (1855)

El cólera es una enfermedad con gran capacidad epidemiológica; produce la muerte por deshidratación debido al cuadro tan fuerte de diarrea y vómitos. Aunque los primeros casos documentados en Europa son de 1831, el cólera tuvo su mayor incidencia con la industrialización de las primeras ciudades, de manera destacable en el Londres victoriano, donde mató a 14.137 personas sólo en 1848 y a otras 10.738 en otro estallido en 1853.

Los estudios de las instituciones científicas sabían que era una enfermedad infecciosa y pensaban que la vía de contagio era la inhalación de aire contaminado procedente de aguas estancadas o residuales. Su teoría se sustentaba en el hecho de que las zonas más afectadas eran siempre las zonas bajas de la

geografía urbana, donde se concentraban las miasmas y donde vivían los sectores más pobres de la población.

No todos los médicos apoyaban esta teoría, como el epidemiólogo John Snow (1813-1858), cuya hipótesis era que la enfermedad estaba causada por un germen y que se propagaba, no por el aire, sino por el agua. Cuando un brote especialmente violento acabó con la vida de 578 personas en una semana, Snow empezó a anotar en un mapa donde se producían las muertes. Así, cada fallecimiento se reflejaba con una raya negra que se apilaba encima de las anteriores y también representó los trece puntos de suministro de agua, con un círculo rojo.

Edward Tufte, profesor emérito de la Universidad de Yale, en la que daba cursos de evidencia estadística y diseño de información e interfaces, autor de varios libros sobre visualización de información cuantitativa, cuenta en su clásico *The Visual Display of Quantative Information que:*

> *[John] Snow se dio cuenta de que las incidencias de cólera ocurrían casi exclusivamente entre aquellos que vivían cerca del suministro de agua de Broad Street.* (Tufte [1987] 2001)

Gracias a los elementos representados en el mapa se supo que el suministro de *Broad Street* había sido contaminado con las heces de un bebé enfermo. Pero la valía del mapa de Snow no fue la realización del mapa sino el tratamiento de los datos. Es decir, eliminó todo lo que no era imprescindible. Con solo los tres datos escogidos, pozos de agua, lineas de edificios y fallecimientos, hizo visible lo que antes no lo era: que el origen de todos los males era una fuente específica. Lo cierto es que el las autoridades sanitarias no aceptaron su teoría hasta bien entrados los sesenta, cuando Snow llevaba más de una década muerto.

Fig. FB.0.09. Mapa del cólera (1855). John Snow

Fig. FB.0.10. Mapa del cólera (1855). John Snow. Detalle del pozo foco de la infección

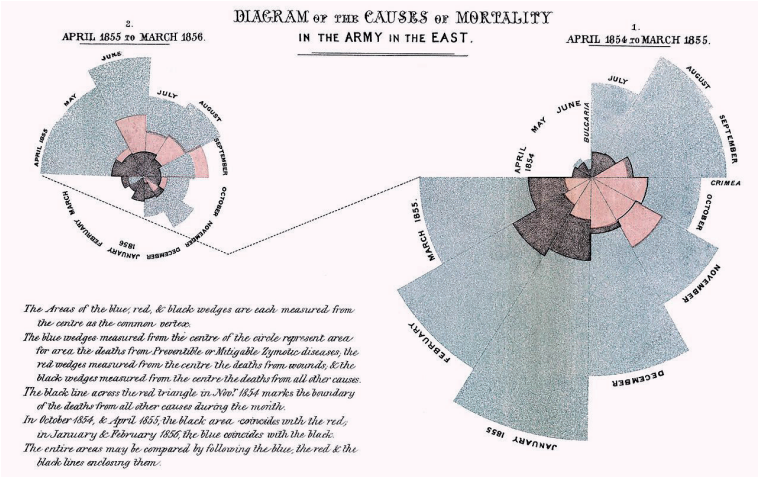


Fig. FB.0.11. Las flores de Florence Nightingale (1858). Diagramas de sectores.

Las flores de Florence Nightingale (1858)

Aunque, en España no sea un nombre habitual en la cultura popular, en el mundo anglosajón, la madre de la enfermería moderna, Florence Nightingale (1820-1910), es muy conocida. No fue la pionera en la utilización de tartas estadísticas, pero sí supone un hito porque le sirvió para cambiar la política sanitaria de todo un país.

Nightingale, fue enviada el 21 de octubre de 1854 a la guerra de Crimea con un equipo de 38 enfermeras voluntarias a atender a la multitud de heridos que se producían con una tasa altísima de muertes. Una vez allí, descubrió que dichas muertes no se producían, en la mayoría de los casos, por heridas de batalla sino por las deficientes condiciones de higiene que había en los barracones donde los soldados eran atendidos.

A raíz de su observación, escribió el informe *Notes on matters affecting the health, efficiency and hospital administration of the British army*[101], en el que incluyó diagramas de sectores en los que dividió las pérdidas en tres clases: muerte por herida (rojo), enfermedades infecciosas prevenibles o mitigables (azul) y todas las demás causas (negro). Cada sector corresponde a las bajas de un mes, y la diferencia cuando se aplicaban sus protocolos[102] resultó tal que causó un escándalo nacional y supuso la aplicación de nuevos procedimientos a todos los hospitales ingleses poniendo en marcha la reforma sanitaria y salvando miles de vidas.

B.0.2. Elección de herramientas para el estudio

Según hemos visto en los capítulos 1 y A, las variables y factores que influyen en el confort higrotérmico tienen comportamiento dinámico y muchas veces incluso complejo debido a su componente psicofisiológica y cultural. Por este motivo, la

101. Notas sobre cuestiones que afectan la salud, eficiencia y administración de la armada británica.

102. Nightingale defendía actos tan sencillos como lavarse las manos antes de atender al paciente o usar mascarillas o guantes cuando fuera posible.

gestión de sus valores es básica para que puedan ser incluidas correctamente en los procesos de diseño.

Obviamente, su cálculo exacto (distribución de temperatura o establecimiento de temperatura de confort, por ejemplo) necesita para las primeras, la utilización de herramientas de cálculo informático y, para las segundas, la implementación de los procesos propios de las ciencias sociales. Aun así, en el marco de la arquitectura sostenible o bioclimática, si queremos introducir estas componentes en las primeras fases del diseño, donde las posibilidades están abiertas y los caminos se toman de un modo generalmente intuitivo, es necesario dotarnos de conocimientos estructurados de un modo que permita su rápida traslación o modificación.

Este hecho ya se ha tenido en cuenta en la historia de la arquitectura y diferentes arquitectos o investigadores han desarrollado modelos "analógicos" que podemos clasificar en función de como gestionan la información. Estudiamos cuatro herramientas o procedimientos específicos para el diseño teniendo en cuenta el control higrotérmico y adicionalmente algunas herramientas para el control solar. Se organiza el análisis del siguiente modo:

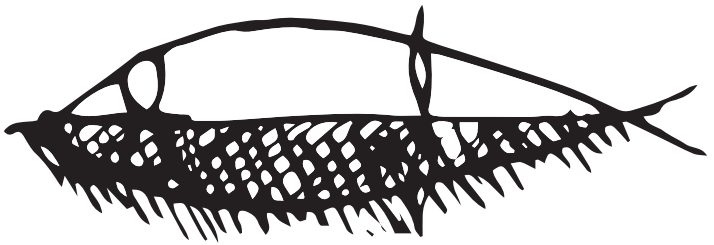
- Apartado B.2. Herramientas gráficas. Cartas solares, diagramas de máscaras de sombras, haciendo hincapié en los *épures du soleil* desarrollados por Ianis Xenakis en el *atelier* de Le Corbusier, coetáneos a la *Grille Climatique*.
- Apartado B.3. Herramientas conceptuales: Climograma de Bienestar (Olgyay 1963) y Gráfica Bioclimática (Givoni 1969). El estudio de la *Grille Climatique* (Le Corbusier, 1951), no se introduce aquí, se realiza separadamente en el capítulo D.3.
- Apartado B.4. Herramientas numéricas: Mahoney Tables (Carl Mahoney et al., 1971) y algunos apuntes sobre las herramientas informáticas.

El acercamiento desde el que se llega a este planteamiento (gestión gráfica y necesidad de procedimientos) ya aparece en los escritos de los autores de las herramientas que vamos a estudiar. Por ejemplo, Victor Olgyay comenta:

> *…architects tend to be visually inclined and do not readily imagine life in the form of cumbersome graphs. They prefer to look at assembled conclussions.* (Olgyay 1963:13) [103]

El planteamiento puede ser excesivamente generalista, arquitectos hay de muchos tipos, pero la componente gráfica de nuestra actividad es sin duda preeminente. También establece que el planteamiento del método debe ser en términos de confort, la presentación debe ser gráfica y, para ser fácilmente aplicable, debe derivar de los resultados empíricos científicos al alcance del arquitecto en activo. En la misma página dice que la adaptación del edificio al entorno ha sido un problema continuado a lo largo de la historia. Lo reconocía Vitruvio, y Le Corbusier se hacía eco:

> *The symphony of climate… has not been understood…The sun differs along the curvature of the meridian; its intensity varies on the crust of the earth according to its incidence… In this play many conditions are created which await adequate solutions. It is at this point that an authentic regionalism has its rightful place.* (Le Corbusier 1953:146) [104]



103.Traducido por el autor: ...los arquitectos tienden a una inclinación por lo visual y no se imaginan fácilmente la vida en la forma de un gráfico intrincado. Prefieren observar conclusiones estructuradas.

104.Traducido por el autor: La sinfonía del clima...no ha sido entendida...El sol varía a lo largo de la curvatura del meridiano; su intensidad cambia en la corteza terrestre dependiendo de su incidencia...En este juego muchas condiciones se han creado y esperan soluciones adecuadas. Es en este punto que un auténtico regionalismo encuentra su lugar adecuado.

Fuera de las herramientas estudiadas en este capítulo y el siguiente, existen otras que han sido importantes en el ámbito general de estudio de la tesis pero que se excluyen por diferentes motivos.

La primera es el Ábaco de Missenard, propuesta en su libro *L'Homme et le Climat* (1937). El ingeniero puede ser considerado un pionero en el estudio del confort humano y en el control de los parámetros ambientales. Desarrolló un ábaco en el que se relacionan dos parámetros de confort térmico expresables como temperatura, o sea, la temperatura de bulbo seco y la temperatura media radiante (Serra Florensa, Coch Roura 1995:86). Supuso un avance importante, más si tenemos en cuenta la fecha en la que se produjo. Se ha excluido del estudio porque se trata de una gráfica que no va acompañada de soluciones arquitectónicas concretas o un estudio de aplicación de estrategias. En cualquier caso, su idiosincrasia queda indirectamente incluida en el estudio de la *Grille Climatique* porque, tal y como veremos, Missenard colaboró con el *atelier* de Le Corbusier en su desarrollo.

La segunda herramienta es la compuesta por las ecuaciones de Fanger (1970). También se trata de una nueva forma, en este caso muy inclusiva, de cuantificar el confort y que estableció las bases de todas las normativas actuales que establecen rangos de confort. Su funcionamiento y las diferentes gráficas, que vimos en el apartado A.3, permiten realizar una valoración desde muchos puntos de vista, pero de nuevo no existe propuesta de correcciones concretada en elementos proyectuales.

Así, todas las herramientas, de un modo u otro, analizan el clima o ambiente exterior, establecen correcciones para alcanzar el confort y las concretan en elementos o estrategias proyectuales-arquitectónicas.

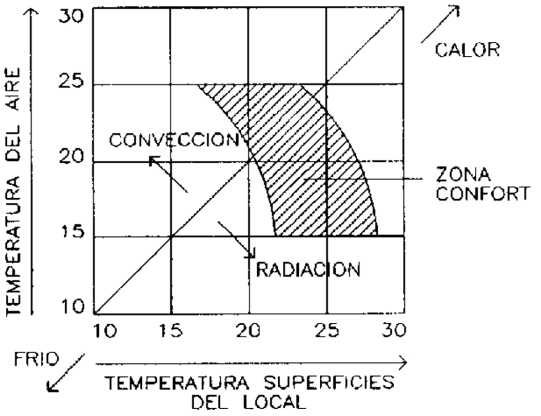
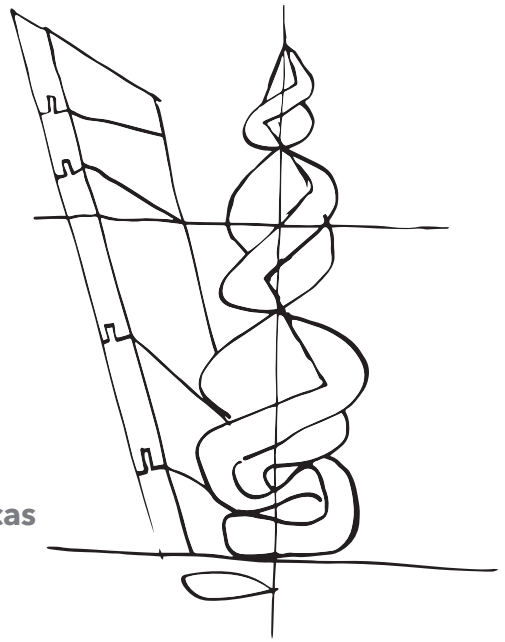


Fig. FB.0.12. Ábaco de Missenard (1937)

B.2
esprit

B 2
gráfico



B.2. Herramientas gráficas

B.2.1. Cartas solares[105]

Como ya se vio en el apartado A.2.1. Preexistencias ambientales, la radiación solar es uno de los parámetros más influyentes en el comportamiento energético y en el ambiente higrotérmico interior de la edificación. Está compuesta por una componente difusa que proviene de la bóveda celeste y otra componente directa que resulta de la incidencia directa del sol. La primera tiende a ser homogénea para todas las orientaciones, puesto que proviene del cielo, pero la segunda tiene un marcado carácter direccional. Su análisis no puede más que plantearse en términos geométricos, y por tanto gráficos, puesto que depende de la posición de la Tierra con respecto al Sol a lo largo de su trayectoria de traslación y rotación.

Su estudio, siempre se plantea desde una perspectiva geocéntrica, es decir, se supone que la Tierra está quieta y que el Sol dibuja una trayectoria "aparente" a

105. Clasificación extraída de (Higón Calvet 2003).

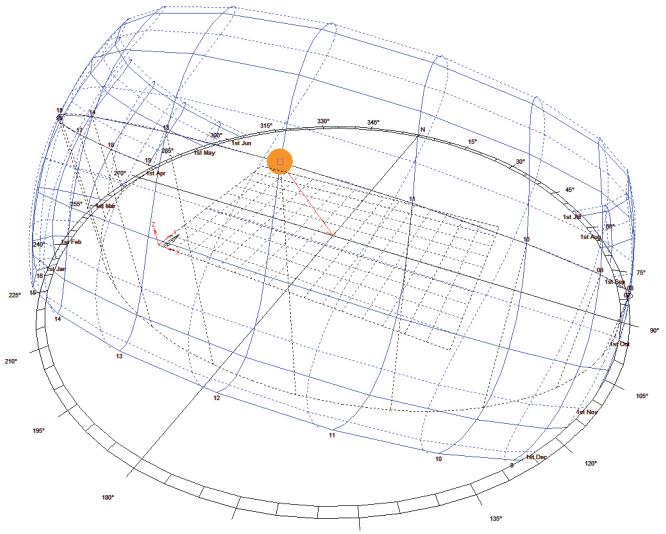


Fig. FB.2.01. Trayectoria solar a lo largo del año. Localización: París
Las cartas solares, en definitiva, son diferentes tipos de proyección de esta realidad, con condiciones concretas que facilitan los cálculos.

través de la bóveda celeste. La herramienta gráfica que refleja esta concepción se denomina carta solar y es variable con la longitud geográfica del punto exacto que se estudie.

El conocimiento de las bondades del sol y su influencia en cuestiones como la construcción de relojes de sol, la orientación de edificios o el trazado de asentamientos urbanos es conocido desde hace más de seis mil años tal y como indica John Perlin en *Let It Shine: The 6000-Year Story of Solar Energy* (2013). El conocimiento acumulado, aparte de unas "recomendaciones" generales que todo arquitecto debería conocer, se plasma en una serie de herramientas que en definitiva suponen la proyección de esta realidad (el sol parece desplazarse según una trayectoria circular a ojos del observador) en varios tipos de superficies.

Así tenemos, por un lado, cartas de proyección plana como lo es la carta solar de Fischer o los Épures *du Soleil* de Xenakis; por el otro, cartas solares de proyección cónica en las que, o bien, la superficie del cuadro es un cilindro: cartas solares de proyección cilíndrica; o bien, es un plano: diagrama gnomónico, carta solar estereográfica o carta de Ruiz Aizpiri. Su finalidad es calcular el vector solar con el que es posible obtener las sombras proyectadas por los objetos, las horas en las que incide radiación directa sobre una superficie o a través de un hueco u obtener las máscaras de sombras que se deducen de los cálculos anteriores.

Los primeros ejemplos, físicos y en tratados escritos, de la aplicación de la gnomónica[106] los podemos encontrar en el imperio romano, y casos destacables existen desde el siglo XV.[107] Todos ellos son principalmente proyecciones planas, pero a partir de los años cincuenta se proponen nuevos modelos de cartas solares, que además de permitir el cálculo de la dirección del vector solar, permiten cuantificar los periodos en que un punto concreto incluido en un entorno se encuentra expuesto al sol. Son las cartas de proyección cilíndrica y estereográfica, que en sus diversas variantes permiten la confección de los

106. La gnomónica es la ciencia encargada de la construcción de relojes solares y por tanto su base es el conocimiento de la trayectoria solar y de sus características geométricas variables intrínsecas.

107. Para un repaso detallado de la historia y ejemplos de relojes solares consultar (Higón Calvet 2003)

diagramas que se utilizan para el cálculo de obstrucciones solares (Higón Calvet 2003:36).

En la actualidad existen múltiples programas que permiten el cálculo de sombras, ya sea con cometidos visuales o térmicos de incidencia solar. Los específicos de simulación climática permiten, por lo general, obtener además las propias cartas solares en sus diferentes versiones.[108]

Carta solar de Fischer

Es una representación diédrica de la esfera celeste sobre la que están grafiadas las trayectorias solares correspondientes a los solsticios y los equinoccios. Estas se encuentran divididas en ángulos de 15° sexagesimales que representan las horas de tiempo verdadero.

El vector solar se calcula en proyección horizontal y vertical, determinando una fecha y hora, y uniendo el punto que la representa con el centro de la esfera. (Fig. FB.2.02)

Diagrama gnomónico

Se trata de una perspectiva cónica sobre un plano horizontal de la esfera celeste, con las trayectorias solares, en la que el centro de la proyección es el extremo de un vector vertical, el gnomon. Para su utilización es necesario tener también el círculo de distancias que se obtiene del abatimiento del gnomon sobre el plano del cuadro en todas las direcciones.

La imagen así obtenida representa las trayectorias solares como secciones planas de un cono de revolución que, para las latitudes comprendidas entre los círculos polares, son hipérbolas. Los meridianos se proyectan como rectas que concurren en el punto principal de la perspectiva.

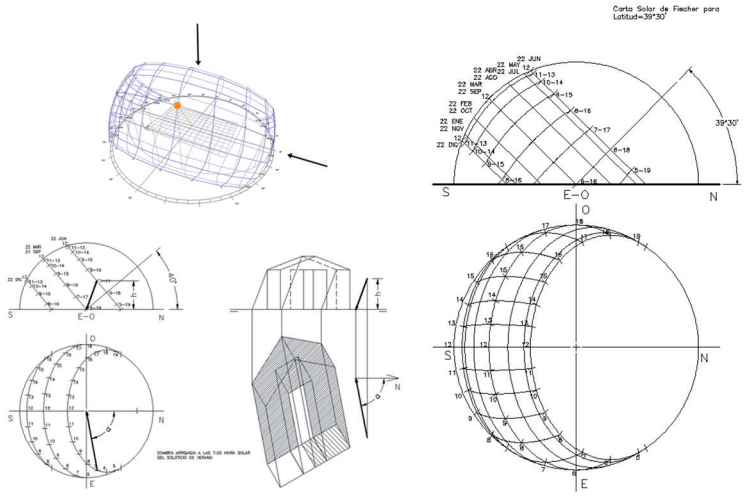


Fig. FB.2.02. Carta solar de Fischer. Direcciones de proyección y cálculo del vector solar

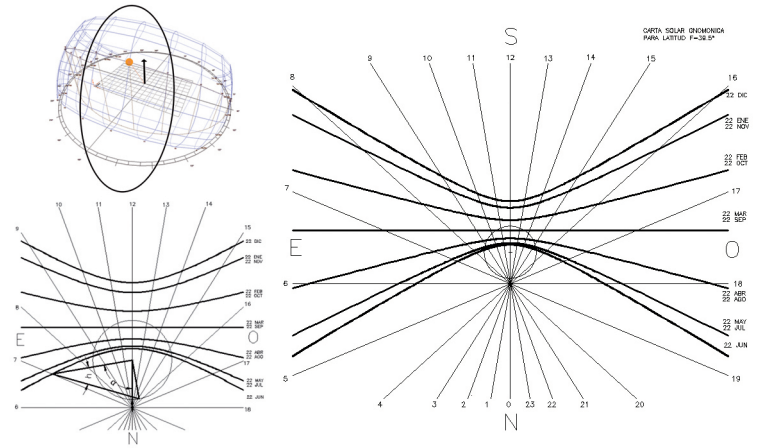


Fig. FB.2.03. Diagrama Gnomónico. Visual de la perspectiva y cálculo del vector solar

108. Para el dibujo geométrico de cartas solares se realizan una serie de suposiciones que permiten generar un modelo abordable desde el punto de vista gráfico. En general simplifican el sistema geométrico Tierra-Sol y además se desprecian efectos físicos y atmosféricos.

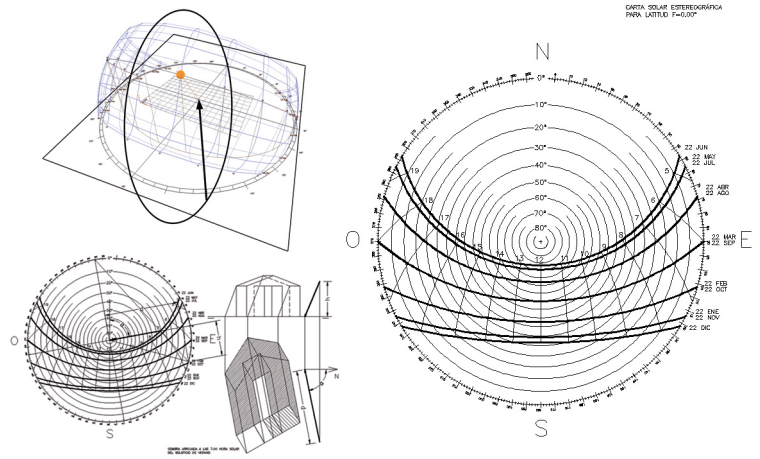


Fig. FB.2.04. Carta solar estereográfica. Visual de la perspectiva y cálculo del vector solar

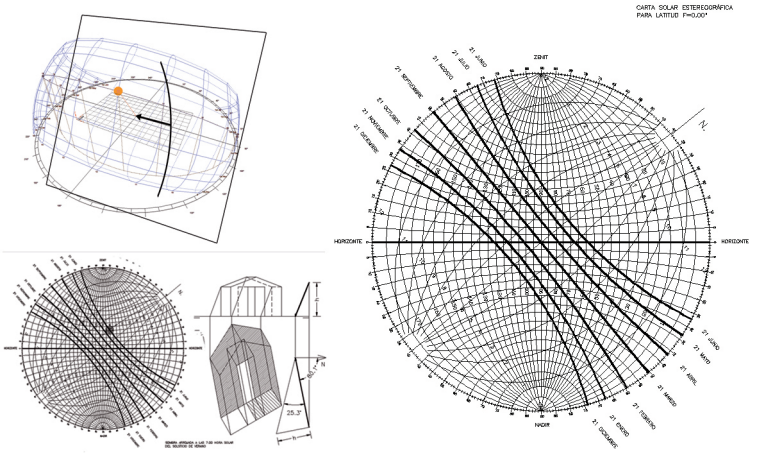


Fig. FB.2.05. Carta solar de Ruiz Aizpiri. Visual de la perspectiva y cálculo del vector solar

La proyección horizontal del vector solar se obtiene directamente dibujando el vector que une el punto de la trayectoria que representa la hora y fecha concretas, siendo su ángulo con el norte, en la proyección diédrica el mismo que en la carta. La proyección vertical se calcula abatiendo el vector antes dibujado sabiendo que la proyección horizontal, el vector abatido y el gnomon forman un triángulo rectángulo (ver Fig. FB.2.03)

Carta solar estereográfica

Se construye mediante una perspectiva cónica de los puntos situados sobre la bóveda celeste, cuyo centro es un punto cualquiera de la esfera y el plano del cuadro es el plano ecuatorial perpendicular al radio que une el punto centro de proyección y el centro de la esfera. La carta correspondiente a una latitud concreta se realiza utilizando como plano del cuadro, el ecuatorial que forma un ángulo con el plano horizontal igual a la colatitud de lugar.

Para trasladar el vector solar a una proyección diédrica, basta con grafiar el vector en planta, formando un ángulo igual al azimut respecto a la dirección norte, asignando al vector una longitud igual a su proyección ortogonal sobre el plano del cuadro. El alzado del vector se calcula por correspondencia diédrica de los puntos de origen y extremo que lo definen. (Fig. FB.2.04)

Carta solar de Ruiz Aizpiri

Se trata de una variante de la carta solar estereográfica. Se modifica la posición del punto de vista, de manera que no se coloca en el nadir de la localización concreta sino en el punto correspondiente al orto en los equinoccios. El resultado es que las trayectorias solares para cualquier latitud son siempre iguales, pero giran en función de esta. El ángulo de giro del ecuador celeste, que coincide con la trayectoria de los equinoccios y que se proyecta como una línea recta, se define mediante la colatitud del lugar.

Para la obtención del vector solar es necesaria la superposición de la red de verticales y almicarantes de las coordenadas horizontales sobre la esfera celeste, cuya proyección es siempre igual para cada punto. Esto obliga a realizar un cálculo numérico que puede derivar en algo de inexactitud. (Fig. FB.2.05)

Carta solar cilíndrica

También utiliza un sistema cónico, pero en este caso la superficie sobre la que se realiza la proyección es un cilindro de revolución cuyo eje coincide con la vertical del lugar y es tangente a la bóveda celeste, que se desarrolla posteriormente sobre un plano.

El dibujo, en planta, del vector solar correspondiente se realiza en este caso también por identificación numérica. El alzado se realiza por identificación diédrica conocido el ángulo de altura sobre el horizonte del punto determinado por la hora y fecha escogidas que también se obtiene numéricamente de la gráfica. (Fig. FB.2.06)

Cálculo de obstrucciones solares

Es un procedimiento mediante el cual se puede calcular el intervalo de tiempo, dentro del periodo anual, durante el cual un punto concreto del entorno (dada una localización geográfica) se encuentra en sombra, es decir, no recibe rayos solares.

Para ello es necesario realizar el cálculo pormenorizado para un punto incluido en un entorno a través de una perspectiva cónica y por tanto solo puede realizarse con las cartas solares que utilizan este sistema de proyección (todas excepto la de Fischer). El procedimiento supone superponer una proyección del entorno con mismo punto de vista y superficie del cuadro que tiene la carta solar escogida, para comprobar qué tramos de las trayectorias solares quedan ocultos por obstáculos. (Ver Fig. FB.2.06)

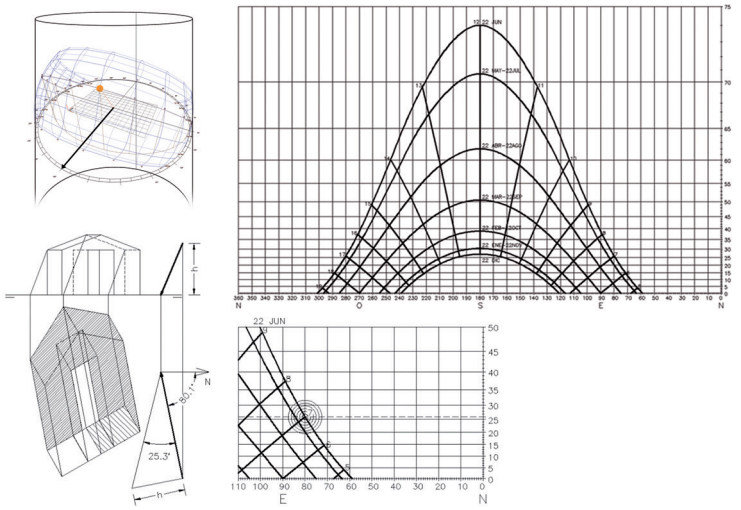


Fig. FB.2.06. Carta solar cilíndrica. Visual de la perspectiva y cálculo del vector solar

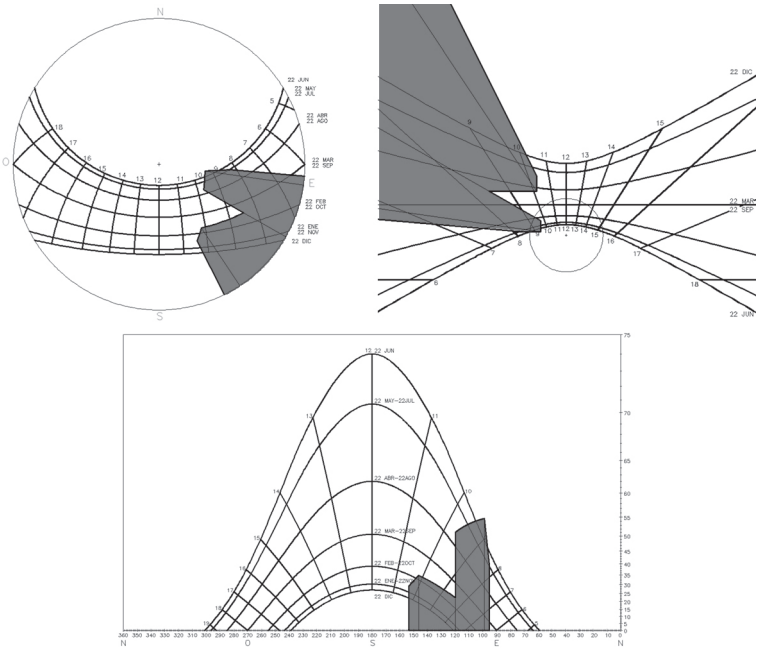


Fig. FB.2.06. Cálculo de obstrucciones solares en diferentes cartas

109. Esquemas de soleamiento. Épure en francés es el dibujo conjunto de planta, alzado y perfil. Se puede traducir como bosquejo, pero no refleja completamente el concepto.

Con los diagramas de obstrucción solar se puede calcular el factor de obstrucción solar. Se trata de un índice en tanto por uno que mide el tiempo durante el que un punto se encuentra en sombra sobre el total del periodo anual. Necesita de una traducción a tiempo de la geometría puesto que, al ser todas las proyecciones que se utilizan cónicas, las longitudes medidas sobre las gráficas no representan distancias en verdadera magnitud.

B.2.2. Épures du soleil[109]

A principios de 1952, junto con la progresiva desaparición, que veremos en el siguiente capítulo, de la *Grille Climatique,* fue tomando forma en el *atelier* de Le Corbusier esta herramienta que es resultado de las investigaciones sobre protecciones solares eficientes, ideada por Ianis Xenakis (Siret, Harzallah 2006:6).

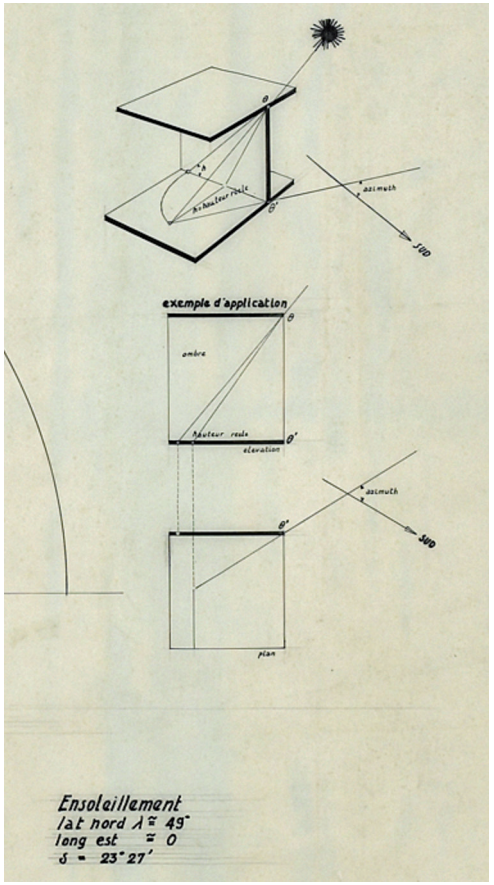


Fig. FB.2.07. Esquemas de funcionamiento del *épure du soleil.* FLC 5701, detalle

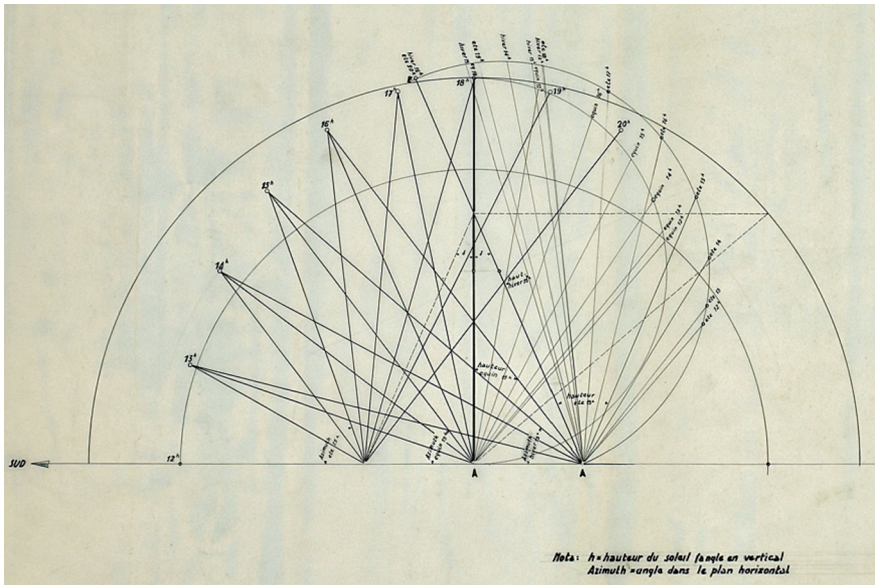
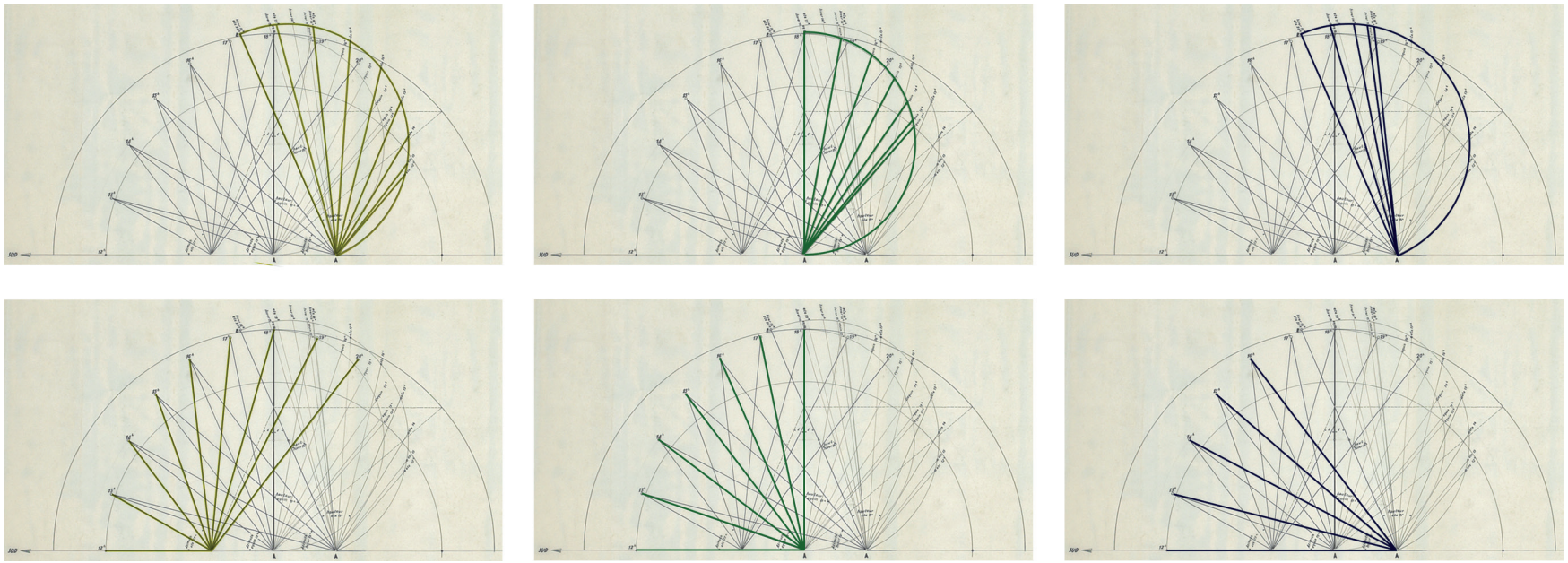


Fig. FB.2.08. *Épure du soleil.* FLC 5701, detalle. Diagrama principal de cálculo de vector solar



Se trata, al igual que el resto de cartas solares, de un diagrama específico para cada emplazamiento en el que se representa la altura del sol y su azimut para cada hora solar en los solsticios y equinoccios. La versión más conocida que se incluye en la *Œuvre Complète* 1952-1957 (FLC 5701), está dibujada para París y data según Siret (2006:6) de diciembre de 1952. Contiene, en el margen, tres esquemas (perspectiva, planta y alzado) que explican el funcionamiento del sistema, además de la indicación de latitud y longitud.

La carta solar en sí, dista mucho de las habituales y más utilizadas puesto que, a pesar de ser una proyección ortogonal sencilla, superpone en una misma gráfica las direcciones horizontales y verticales del vector solar. Adicionalmente tiene una característica diferenciadora del resto que consiste en la utilización de las horas en vez de la posición, como parámetro fijo para el cálculo en planta. Es

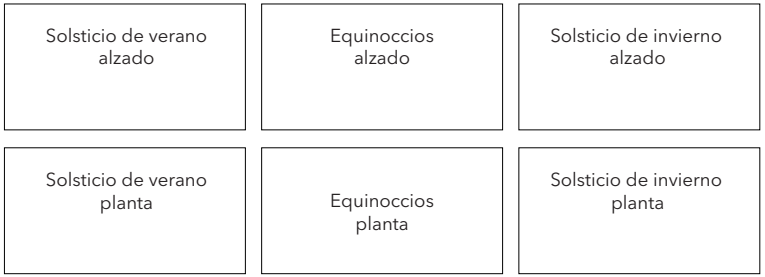


Fig. FB.2.09. *Épure du soleil.* FLC 5701, detalle. Diferenciación cromática de las diferentes partes del diagrama

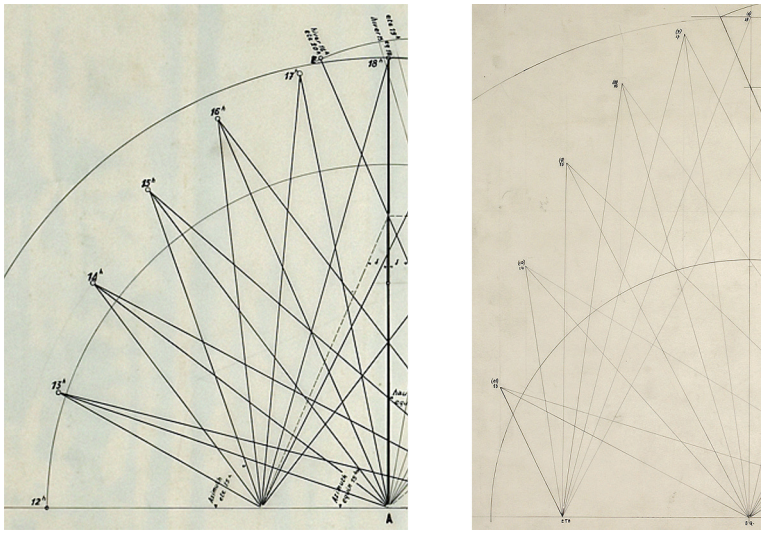


Fig. FB.2.10. Comparativa FLC 5701 (izq.) - FLC 5696 (dcha.). Detalles

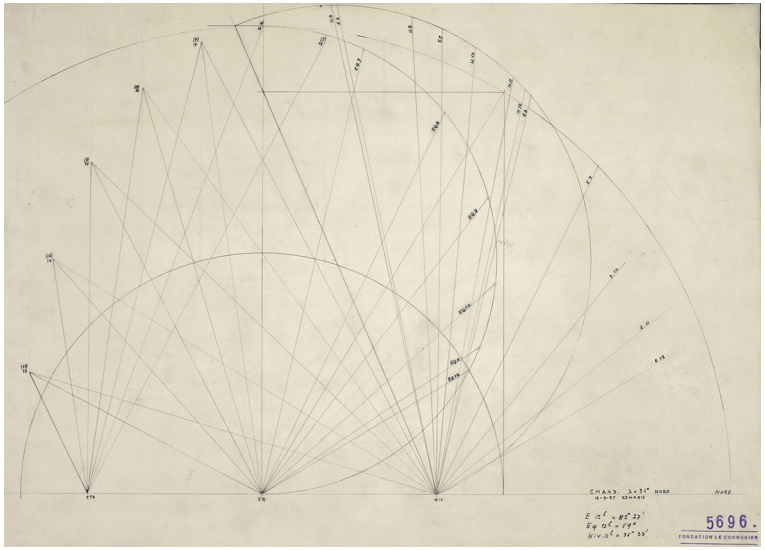


Fig. FB.2.11. Épure du soleil para Chadigarh, 13-9-57. Ianis Xenakis. FLC 5696

decir, del punto que representa una hora concreta parten tres vectores de dirección correspondientes, dos a los solsticios de verano e invierno y un tercero a los equinoccios. Así podemos decir que la variable tiempo se prioriza frente al espacio, algo que por otro lado parece bastante razonable desde el punto de vista de un músico. No podemos olvidar que Xenakis además de arquitecto, tenía formación musical y de hecho es aclamado como uno de los compositores más importantes de la música contemporánea del siglo XX.

Por el contrario, esta característica no se repite para el cálculo en alzado que sí que responde a los parámetros habituales aunque girando el esquema. Para los solsticios, la traza del plano del horizonte se coloca de manera que su ángulo con respecto a la vertical es igual a la declinación del plano que contiene la trayectoria solar del solsticio de verano, y esto genera cierta incongruencia geométrica en los vectores del solsticio de invierno que tienen una distribución no uniforme. Para los equinoccios, la traza se coloca completamente vertical.

En este dibujo (FLC 5701) sólo grafía, junto a los puntos, las horas pasado el mediodía (de 12h a 20h). Con ello puede parecer que no tiene en cuenta la radiación solar de la mañana, pero en realidad, debido a que la trayectoria solar es simétrica respecto al eje norte-sur, el gráfico es completo y simplemente hay que utilizar los vectores correspondientes. En un dibujo fechado el 13 de septiembre de 1957, firmado por el mismo y realizado para Chadigarh (FLC 5696), el *épure* tiene la misma estructura, con las modificaciones lógicas por el cambio de latitud, y en este caso escribe las horas de la mañana entre paréntesis.

El diseño de Xenakis, indudablemente no es de rápida comprensión visual, tal y como reseñan algunos autores (Siret, Harzallah 2006:6) Para su mejor comprensión, A. Talati, colaborador de Le Corbusier, en junio de 1956, presenta un estudio titulado *Etude théorique des problèmes d'ensoleillement (lumineux)* en el que explica detalladamente su utilización. Incluso parece que el propio Talati necesitó de las explicaciones de Xenakis para la completa comprensión del sistema. Así se puede deducir de la plancha FLC 5665, de fecha septiembre

de 1953, que el propio Xenakis dedica a Talati, *son ami*. En este caso no se trata de un diagrama completo sino que tal y como se indica en el dibujo:

> *Chandigarh:*
> *Ombre d'une ~~point~~ droite graduée en centimentres, perpendiculaire au plan horizontal figuré par cette feuille, et dont la ~~projectio~~ trace sur ce meme plan coincide avec les centres des faisceaux.*[110]

Talati dibujó también cartas solares a la manera de Xenakis para Chandigarh como la plancha FLC 31148, fechada 28 de junio de 1956. Indudablemente estos dibujos se realizaron a título demostrativo puesto que la mayoría de edificios de Chandigarh estaban ya completamente definidos (2006:6).

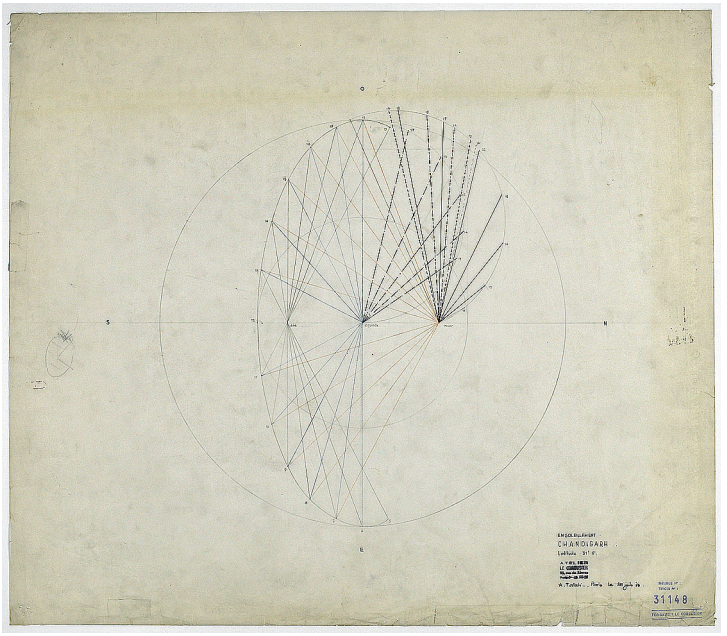


Fig. FB.2.13. Épures du soleil, Chadigarh, 28-6-1956. A. Talati. FLC 31148

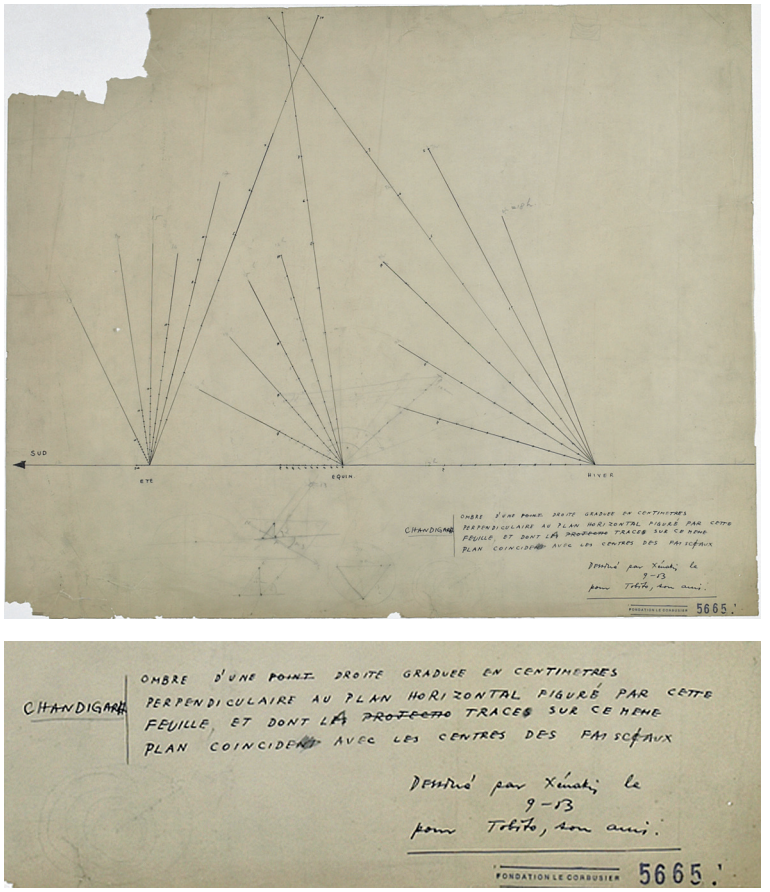


Fig. FB.2.12. Sombras pie derecho para Chadigarh, septiembre 1953. Ianis Xenakis. Detalle ampliado y con filtros de enfoque del apunte realizado. FLC 5665

110.Traducido por el autor: Chandigar: Sombra de un ~~punto~~ pie derecho graduado en centímentros, perpendicular al plano horizontal representado por esta hoja, y donde la ~~proyeccio~~ traza sobre ese mismo plano coincide con los centro de los haces.

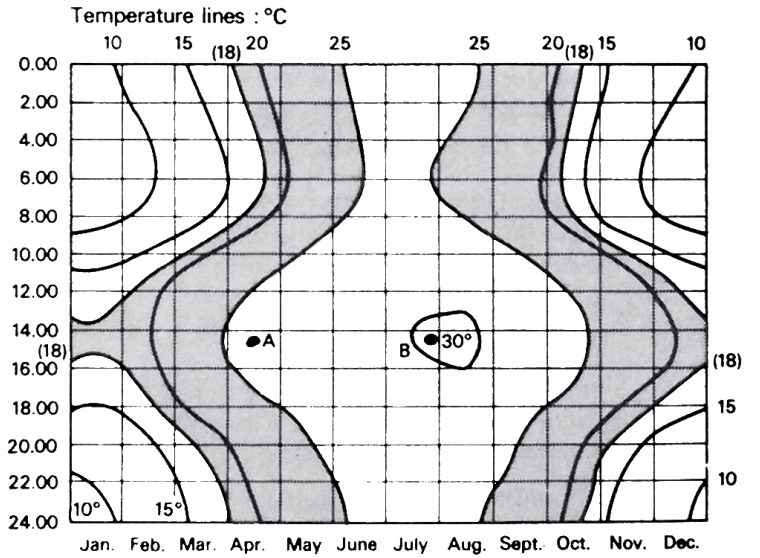


Fig. FB.2.14. Diagrama de isopletas de Temperatura Efectiva. En este caso se sombrean las zonas de confot térmico entre [18-25] °C. La isopleta de 20°C indicaría los momentos en los que es necesario sombreamiento sobre los huecos para evitar el sobrecalentamiento interior.

111. Se denomina isopleta a la línea que une los puntos en los que una cierta magnitud es constante, en un mapa o diagrama.

112. Un límite como tal, fue establecido por primera vez por Olgyay en el libro *Solar Control and Shading Devices* publicado en 1957. Todo el estudio se incluyó posteriormente en *Design with Climate*, su libro seminal de 1963.

113. Este planteamiento relaciona las posibilidades de sobrecalentamiento interior con una temperatura exterior independientemente del propio espacio o de su orientación.

B.2.3. Cálculo de protecciones solares

Diagramas de isopletas[111]

En general, en el cálculo de protecciones solares, está establecido que estas son necesarias cuando la temperatura del aire es superior a 20° C[112]. Así es necesario detectar, los periodos anuales en los cuales se da esta característica para concretar la posición del sol en esos momentos y consecuentemente dimensionar las protecciones.

Los diagramas que permiten este cálculo se denominan diagramas de isopletas. Se realizan sobre gráficas que tienen en uno de los ejes las horas del día y en el otro los meses del año, en los que se representan a modo de isolíneas las zonas de misma temperatura. Gráficamente y de un modo visual, se determinan los meses del año y las horas durante las cuales será necesario que los huecos tengan una protección de la radiación solar directa.

Método de los hermanos Olgyay para el cálculo de protecciones solares

Los hermanos Olgyay en *Solar control and Shading Devices* (1957) propusieron un método para el diseño y comprobación de protecciones solares estructurado en cuatro pasos.

1. Determinación del periodo de sobrecalentamiento, en el que la protección es necesaria. Establecen el umbral en una temperatura exterior superior a 21°C (70°F), en regiones con una latitud aproximada de 40°, debiendo incrementar este valor en aproximadamente 0,5 °C (0,75 °F) cada 5° de modificación de la latitud hacia el ecuador.[113]

2. Determinación de la obstrucción solar necesaria. En base a la utilización de diagramas de recorrido solar, se acota el periodo en el que se supera el umbral establecido en el apartado anterior. Se utilizan los datos de temperatura media

horaria de cada mes, así los límites de sobrecalentamiento se transfieren al diagrama.

3. Determinación del tipo y posición de la protección. La máscara de sombras se representa sobre el diagrama de recorrido solar.

4. Determinación de las dimensiones de la protección. Se ajustan, para que interrumpa el sol durante el periodo de sobrecalentamiento y dejándolo entrar el resto del tiempo.

Este método se sigue utilizando en la actualidad.

Algunos apuntes de Givoni sobre orientación y la necesidad de protecciones solares

Según los estudios de Givoni en *Man, Climate and Architecture* (1969) respecto a la eficiencia de las protecciones solares, concluye:

- Este y Oeste, la mejor protección es con lamas verticales y horizontales, especialmente si las primeras se giran hacia el sur (unos 45° para orientaciones puras). Las ventanas horizontales funcionan mejor que las verticales en estas orientaciones.
- Sur, sureste y suroeste. La protección más eficiente es la horizontal, aunque de nuevo la que conjuga las dos direcciones es la más efectiva.

La influencia de los huecos en la temperatura interior de una estancia depende de varios factores, pero el más influyente es la protección solar. Cuanto mayor son las ventanas, si están correctamente protegidas, más se acerca la temperatura interior a la exterior, pero si con el aumento de tamaño, no se asocia una correcta protección, la temperatura interior se eleva fuertemente.

El arquitecto, nombra estudios de Loudon del *BRS England*, en regiones semiáridas de la región de Negev y en áreas cercanas al mar. En todos ellos se concluye que sin protecciones solares, incluso aunque el porcentaje de huecos

sea mínimo (8% y 6%, respectivamente, como en los dos últimos casos) la temperatura interior se eleva hasta 12ºC con respecto a la exterior. Esta situación mejora con la interposición de protecciones cuanto más exteriores y claras sean.

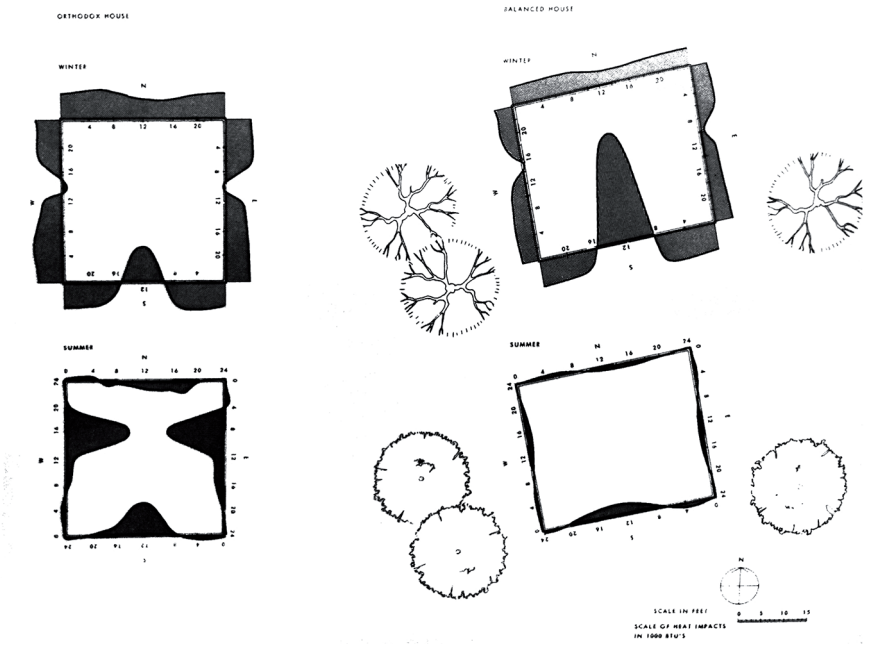
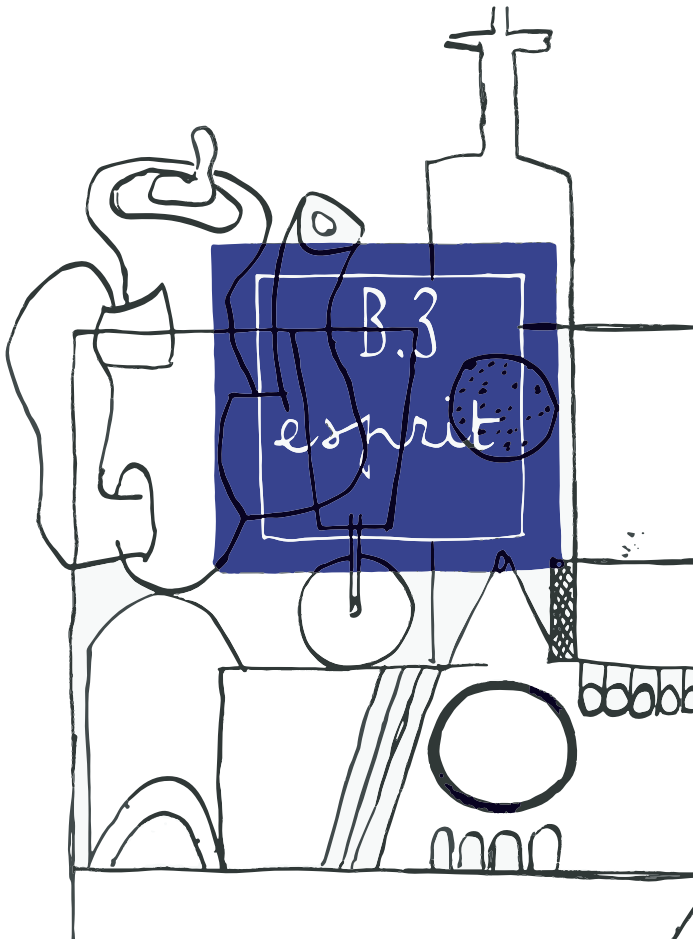
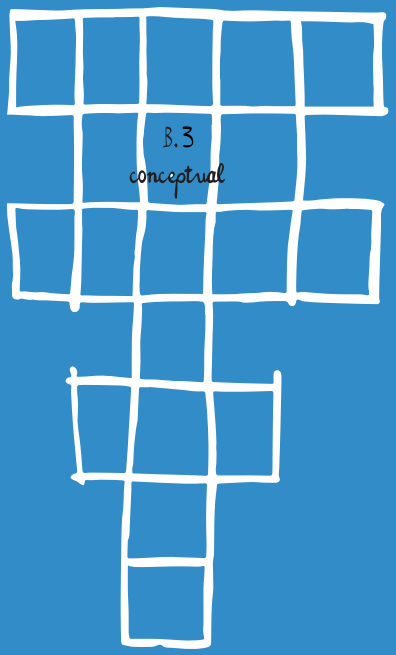
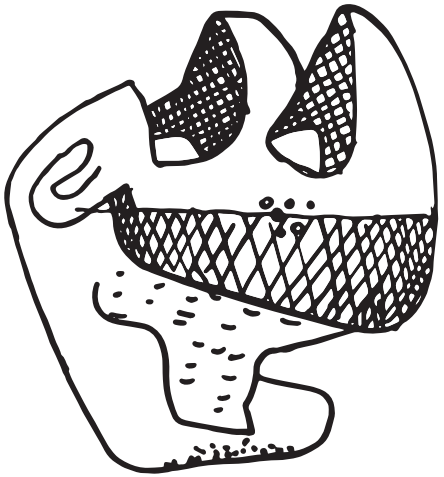


Fig. FB.2.15. Estudio de incidencia solar en fachadas en función de la orientación. Olgyay (1963)
Se comparan dos viviendas con planta sensiblemente cuadrada que Olgyay denomina, casa ortodoxa (*orthodox house*) y casa equilibrada (balanceada, *balanced house*)


B.3
esprit


B.3
conceptual



B.3. Herramientas conceptuales

B.3.1. Climograma de Bienestar (Victor Olgyay, 1963)

Victor Olgyay (1910-1970) presentó su climograma, que también se ha denominado "Climograma de bienestar" o que el mismo autor denomina "Tabla bioclimática" en el libro *Design with Climate* (1963), en el que colaboró en algunos capítulos su hermano Aladar. En realidad, la gráfica es solo una parte de todo un "Método para determinar las necesidades humanas y los principios satisfactorios de diseño en relación al clima" que establece el arquitecto.

Según Givoni, Olgyay fue el primero en proponer un procedimiento sistemático para adaptar el diseño de un edificio a las necesidades humanas y a las condiciones climáticas ([1969] 1976:309). Este hecho es discutible puesto que como veremos a lo largo de esta tesis, Le Corbusier parece realmente, a tenor de las fechas, que estuvo a la par si no fue el primero en realizarlo. Es cierto que no llegó a desarrollar la *Grille Climatique* completamente, pero las bases para un

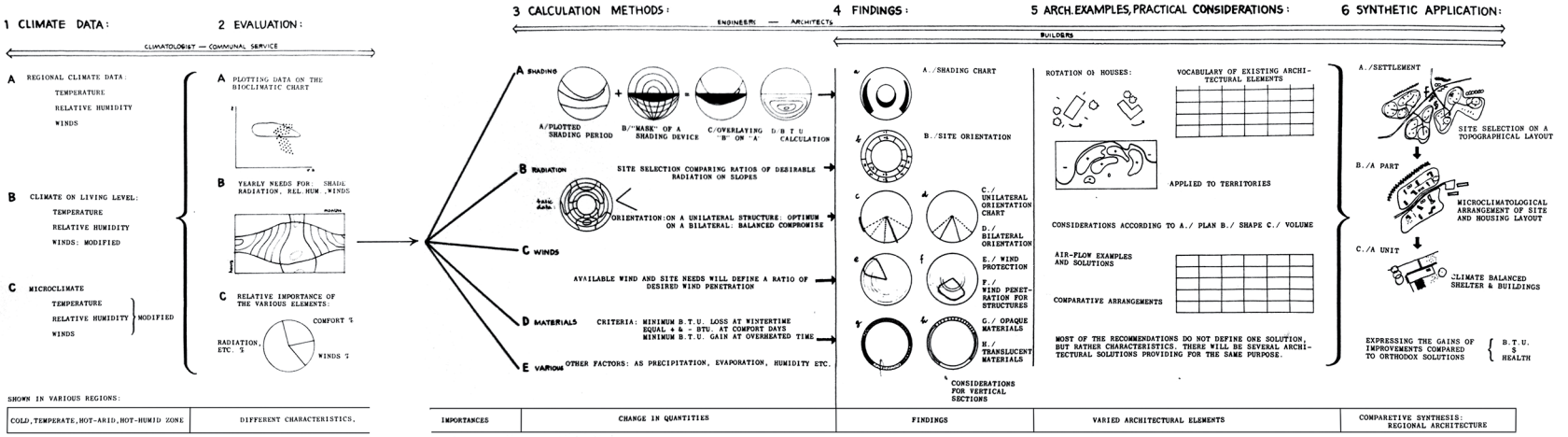
método desde luego quedaron establecidas en el punto de concreción que se alcanzó.

Es importante destacar que aunque la fecha que se asocia a la presentación de la herramienta de Olgyay es 1963, no existe tanto lapso temporal, puesto que la herramienta del arquitecto franco-suizo se desarrolló junto a Ianis Xenakis y André Missenard, principalmente, a finales de 1951 y principios de 1952 y los estudios de Olgyay ya empezaban a tomar forma en esos mismo años. En el prefacio de *Design with Climate*, el autor subraya que ha trabajado en el método durante los anteriores ocho años a la publicación del libro y que conforme el trabajo iba avanzando, los resultados se publicaron en diversos artículos (Olgyay 1963:V). El primer artículo en el que realmente se esboza el método es "*The Temperate House*" en *Architectural Forum* (1951), al que le siguieron "*Bioclimatic Approach to Architecture*" (1952), "*Solar Control and Orientation to Meet Bioclimatical Requirements*" (1952), "*The Application of Climate Data to House Design*" (1954), "*Sol-Air Orientation*" (1954), "*Environment and Building Shape*" (1954) y finalmente el libro *Solar Control and Shading Devices* publicado en 1957, y que constituye, abreviadamente, un capítulo de *Design with Climate*.

Durante la utilización del método propuesto, se hace uso de una "Tabla Bioclimática" que muestra la zona de confort humano en relación con la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura media radiante, la velocidad del viento, la radiación solar y el enfriamiento evaporativo. Es decir, tiene en cuenta todas las variables influyentes en la percepción térmica y su posible corrección.

Procedimiento

Un acercamiento sistemático a la arquitectura bioclimática (Olgyay la denomina "arquitectura climáticamente balanceada"), supone un problema intrincado puesto que se encuentra entre las fronteras de diversos campos de conocimiento. El procedimiento se idea con una voluntad sistematizadora, reconociendo que



un método de aplicación universal debe estar basado en planteamientos amplios. De hecho el autor opina que los que existían hasta el momento no lo habían sido lo suficiente y que además era necesario acompañarlos de un mayor y cuidado análisis del área específica (Olgyay 1963:10).

Divide el proceso en cuatro áreas que se recorren en un orden determinado (Fig. FB.3.02), de las cuales la última es el objeto arquitectónico. El diseño debe estar precedido del estudio de las variables climatológicas, biológicas y tecnológicas. La secuencia es: Clima – Biología – Tecnología – Arquitectura. El procedimiento para el análisis de datos y evaluación de las necesidades humanas, junto con el diseño que las satisfaga, se estableció como sigue:

1. Recogida de datos meteorológicos locales. Incluyendo las cinco variables fundamentales: temperatura, humedad relativa, precipitaciones, viento y radiación. Posteriormente se realiza una tabulación de los datos en base anual y

Fig. FB.3.01. Gráfico resumen del Método para determinar las necesidades humanas y los principios satisfactorios de diseño en relación al clima.
Como se puede observar laTabla blioclimática, que ha resultado icónica e identifica para muchos la propuesta de Olgyay, se utiliza en el apartado 2A de Evaluación, siendo el método un proceso mucho más complejo y completo.

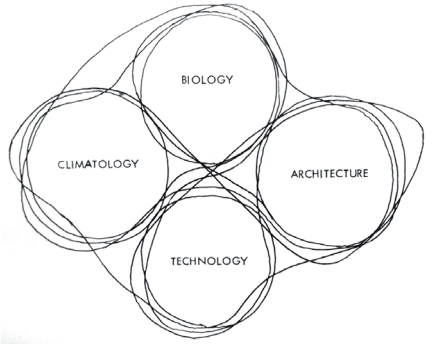


Fig. FB.3.02. Áreas del Método para determinar las necesidades humanas y los principios satisfactorios de diseño en relación al clima

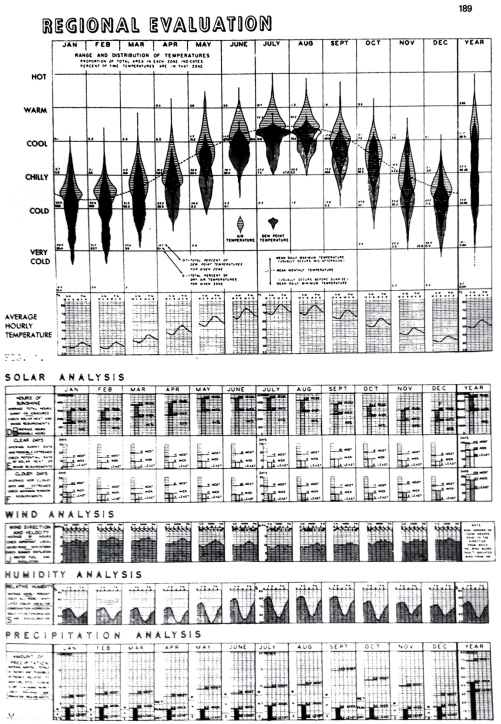
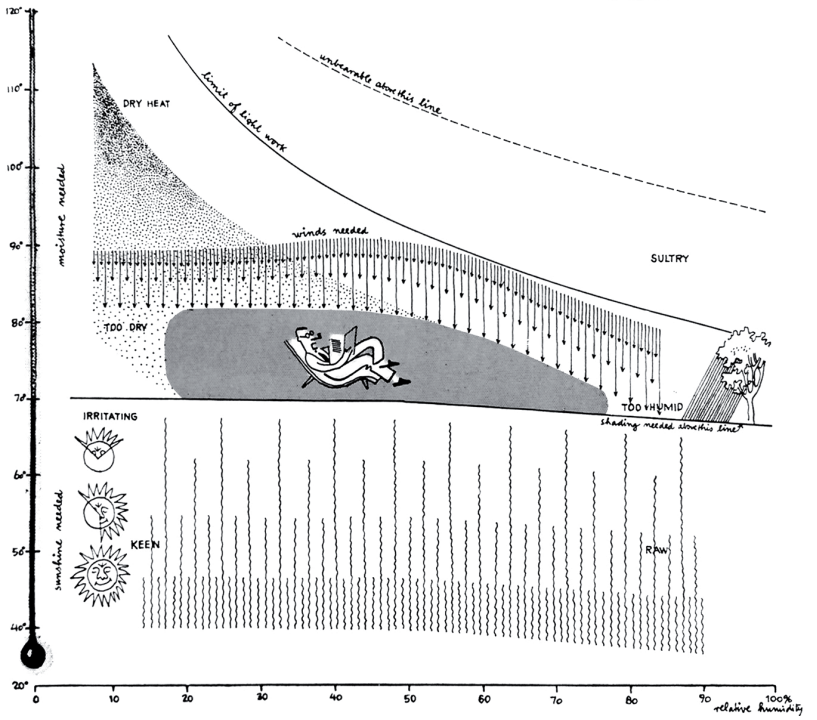


Fig. FB.3.03. Tablas de datos climáticos con distribución anual de las variables consideradas

Fig. FB.3.04. Tabla bioclimática de Olgyay (1963). La gráfica se trata de un dibujo esquemático cuya finalidad es la explicación conceptual del funcionamiento de la misma, estableciendo la zona de confort y las correcciones. La tabla de trabajo tiene una estructura más "matemática" y podemos verla en la Fig. FB.3.08.

construcción de una serie de gráficos que muestren la distribución anual de las variables (elementos climáticos tal y como llama Olgyay, Fig. FB.3.02 y FB.3.4.03).

2. Evaluación biológica. En esta área es donde entra en juego la tabla principalmente. Debe establecerse una zona de confort en base a fuentes contrastadas, que puede ser variable en función de la localización, las personas, la época y otros factores influyentes. En el método desarrollado en el libro se "esboza" una zona de confort de la que el autor, después de haber estudiado un amplio rango de opiniones e investigaciones, destaca que no es posible establecer límites reales y mucho menos concretos (Olgyay 1963:19). Por tanto cualquier perímetro se basa en asunciones hasta cierto punto arbitrarias.



La determinación de criterios completamente precisos para evaluar el confort parece asumir un cierto grado de error, en cualquier caso, Olgyay opta por utilizar por un lado la Temperatura operativa (T_o) definida por Winslow, Herrington y Gagge que combina los parámetros de temperatura de bulbo seco, radiación y velocidad del aire en un único índice. Así, la zona de confort se encuentra entre los valores 30% y 65% de humedad relativa; y por encima de 20ºC para la temperatura de bulbo seco. Por otro lado, este límite inferior lo establece en base a los estudios de Temperatura Efectiva (TE, *Effective Temperature*) desarrollados inicialmente por Houghton y Yaglou, pero corregida por este último posteriormente en base a la temperatura media de la piel. Adicionalmente, para reflejar los rangos de los estudios que repasa en el libro, la zona de verano se amplía para incluir esas zonas con humedades mayores y menores donde no se produce estrés térmico y reduce la zona de invierno.[114] Finalmente se recuerda que la tabla, tal y como se presenta, es solo aplicable a ciudadanos estadounidenses con vestimenta habitual, en interiores y realizando una actividad sedentaria o de trabajo muscular ligero, en altitudes menores de mil metros.

3. Soluciones tecnológicas. Deben proponerse para solucionar las necesidades establecidas, teniendo en cuenta las desventajas, pero aprovechando las ventajas. Dice que las soluciones necesarias de protección balanceada (*balanced shelter*) deben ser analizadas con métodos de cálculo (numéricos):

- Elección del lugar: todos los factores son variables. Cuanto menor sea la amplitud térmica, suele ser mejor.
- Orientación: para aprovechar el sol cuando hace falta.
- Cálculos de sombra y protecciones solares: para permitir que entre cuando es necesario y que el edificio se encuentre en sombra cuando hace mucho calor. Una carta solar, junto con cálculos geométricos y de radiación son necesarios para describir la efectividad de los dispositivos de protección solar.

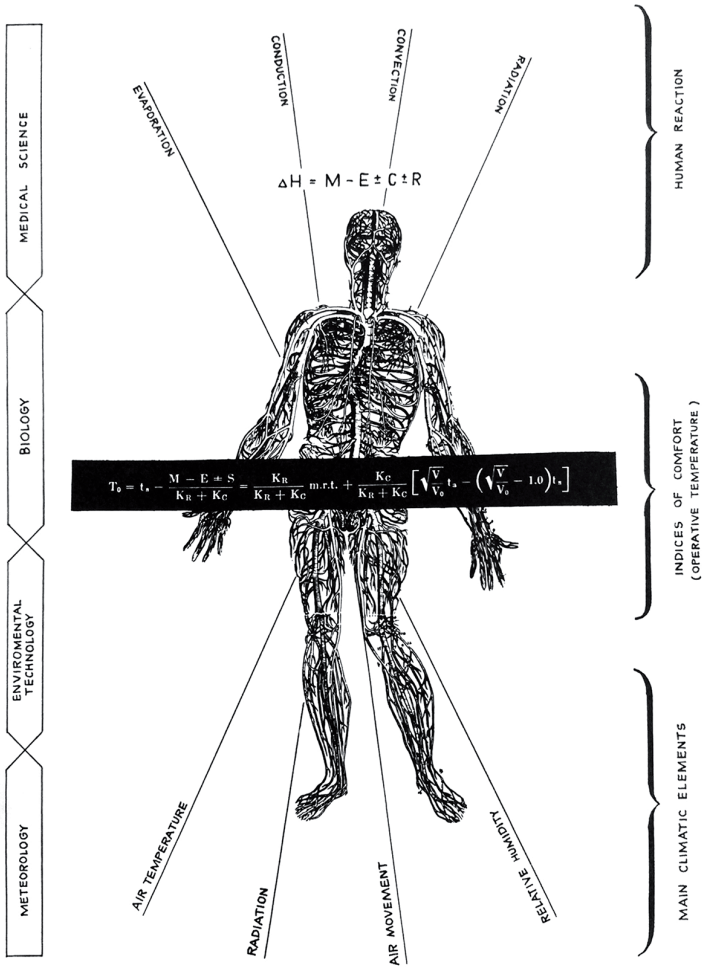


Fig. FB.3.05. Variables ambientales influyentes en confort humano. Fórmula de la Temperatura operativa. Olgyay (1963)

114. Esta última disminución parece que se realiza de un modo intuitivo puesto que no da ninguna justificación basada en investigaciones. De hecho dice literalmente: *The winter comfort zone is charted somewhat lower* (Olgyay 1963:18). [La zona de confort de invierno se grafía de algún modo más baja]

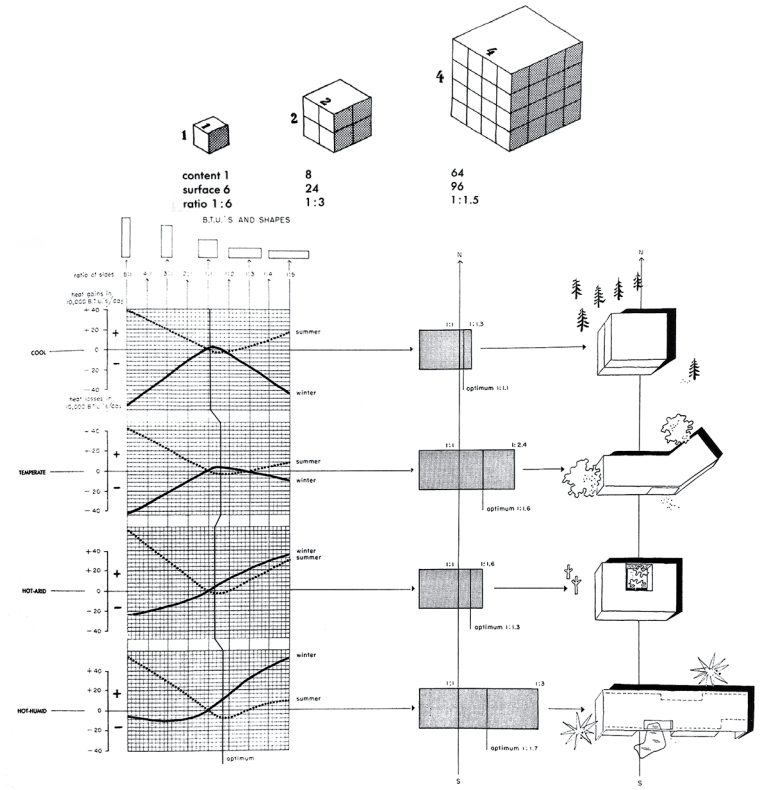


Fig. FB.3.06. Estudios de compacidad y geometría en función del clima. Olgyay (1963)

- Forma de los edificios: Ciertas formas y disposiciones son preferibles dependiendo de las condiciones ambientales. (Fig. FB.3.06)
- Movimientos de aire: Diferencia entre vientos (no deseables) y brisas (deseables). Dice que son necesarios cálculos del índice de ventilación a través del edificio, así como el estudio de los patrones de distribución que debe influir en la posición del edificio y en el tamaño y posición de las aberturas. (Fig. FB.3.07)
- Balance (equilibrio) de temperatura interior: Puede alcanzarse hasta cierto punto solo con los materiales. El aislamiento y el efecto de inercia térmica deben utilizarse para mejorar las condiciones interiores. Nombra el planeamiento heliotérmico.

4. Aplicación arquitectónica. Todo lo encontrado en los tres pasos anteriores debe tenerse en consideración, en todas las escalas, desde la urbanización hasta la disposición de estancias.

Para poder hacerlo de un modo práctico, Olgyay estudia y pone a prueba experimentalmente volúmenes de diferentes compacidades, orientaciones, disposiciones y tamaños de huecos, materiales, protecciones solares, incluso organizaciones urbanas. Así genera un catálogo de soluciones a las que el arquitecto puede recurrir.

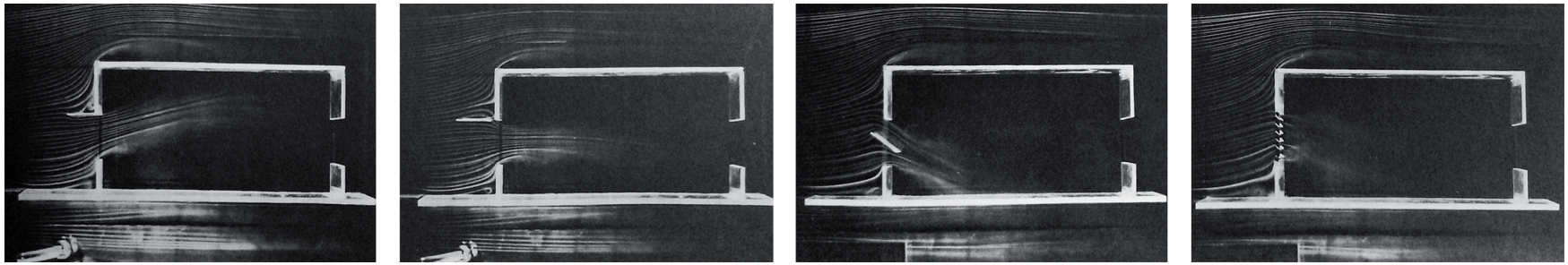


Fig. FB.3.07. Estudios de patrones de viento en tunel de viento, para diferentes configuraciones de hueco y de protección solar. Olgyay (1963)

La tabla bioclimática

La gráfica se ordena en base a dos parámetros principales; la humedad relativa se representa en el eje de abscisas y la temperatura de bulbo seco en el eje de ordenadas. La zona de confort se sitúa en el centro (denominada, en algunos ámbitos la "zapatilla" por su forma), con los rangos de verano e invierno indicados por separado, teniendo en cuenta las adaptaciones estacionales.

La parte inferior de esta zona es también el límite a partir del cual, si aumenta la temperatura, es necesaria la utilización de protecciones solares; es decir, el confort siempre se da en temperaturas que requieren sombreamiento de los huecos. Por debajo de esta línea, por el contrario, es necesaria radiación solar para contrarrestar las bajas temperaturas del aire. La corrección se indica en base a la cantidad de BTU necesarios de acción "sol-aire"[115].

Con temperaturas superiores al área de confort, se cuantifica la velocidad de viento necesaria para corregir la situación, en relación a la humedad relativa. Cuando el ambiente es cálido y seco, la ventilación es de poca ayuda y se requiere el enfriamiento evaporativo tal y como se indica en la tabla. Para cuantificar la necesidad existen líneas de puntos que indican los granos de humedad por libra[116] de aire que son necesarios para reducir la temperatura hasta alcanzar el confort.

En la parte izquierda de la tabla se recogen los valores de temperatura media radiante (MRT, *mean radiant temperature*) ya sea de calentamiento o enfriamiento que se requieren para restituir el bienestar, mediante el control de la temperatura de las superficies circundantes.

Operativamente, se debe proceder reflejando las condiciones climáticas en la tabla mediante una nube de puntos, y estas mostrarán al arquitecto las medidas correctoras que son preceptivas para alcanzar las condiciones de confort. La gráfica de Olgyay no especifica por sí misma el método mediante el cual aplicar las correcciones, pero él mismo recuerda que una buena parte de ellas pueden

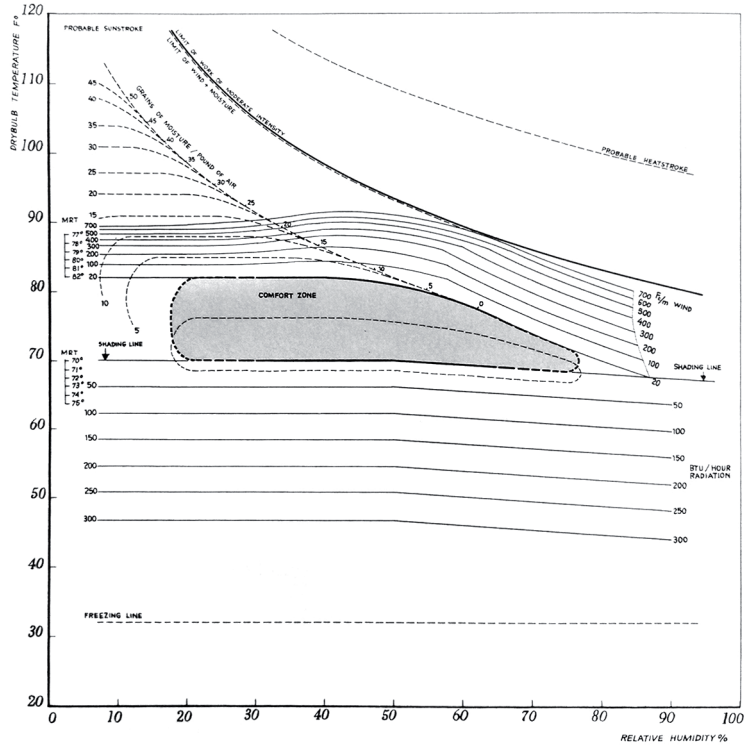


Fig. FB.3.08. Tabla bioclimática de Olgyay (1963)

115. Los BTU son una medida de energía inglesa: *British Thermal Unit*. En la versión de la Tabla Bioclimática presentada en *Design with Climate* (1963), se utiliza ese valor para la radiación. En otras publicaciones se transformó este valor al sistema internacional expresándolo en [cal/cm² x h], como por ejemplo Olgyay, Victor (1968) *Clima y Arquitectura en Colombia*. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura. Ver Fig. FB.3.08.

116. Granos por libra, traducido de *grains per pound* medida de la cantidad de vapor de agua en el aire del sistema anglosajón. 1 grain = 0,0648 g.

ser realizadas con medios naturales, adaptando el diseño arquitectónico a los elementos climáticos (Olgyay 1963:23). Solo aquellos problemas que escapan de las posibilidades pasivas tendrán que resolverse con medios mecánicos tales como el aire acondicionado. El autor finaliza diciendo:

> *It is the task of the architect to make the utmost use of the natural means available in order to produce a more healthful and livable house, and to achieve a saving in cost by keeping to a minimum the use of mechanical aid for climate control*. (1963:23)[117]

Conclusiones

Desde el punto de vista de Olgyay, la evaluación climática debe ser el punto de inicio de cualquier diseño arquitectónico que pretenda alcanzar un equilibro climático ambiental (1963:22). Su método es considerado ampliamente como el primero de la historia de la arquitectura en valorar el confort higrotérmico y la sostenibilidad, ambos de un modo global.

Además tiene el valor de estar basado en los conocimientos generados por la investigación más actual en la época, propia y de otros colegas; así como de ser eminentemente pragmático, expositivo y de aplicación práctica.

Él mismo es conocedor de que al tratar con el confort tiene ciertas limitaciones porque, según dice expresamente, no puede tener en cuenta las preferencias personales o específicas de un grupo no estudiado (1963:13).

Por otro lado, se concibe como un método, que en la definición de algunas variables no está completamente cerrado. Es decir es mejorable, adaptable y ampliable y de hecho, así ha sido. En la actualidad, esta herramienta se conoce como Climograma de Bienestar Adaptado (CBA) y se le han añadido las estrategias básicas establecidas por Givoni en su herramienta, así como nuevas fórmulas para la definición de la zona de confort y de las posibilidades y límites de cada una de las correcciones, establecidas en los estudios de la ASHRAE

117. Traducido por el autor: Es tarea del arquitecto aprovechar al máximo los medios naturales disponibles para producir una casa más saludable y vivible, y conseguir un ahorro en los costes reduciendo al mínimo el uso de ayudas mecánicas para el control climático.

(Neila González 2004:250). En definitiva, como procedimiento tiene completa actualidad.

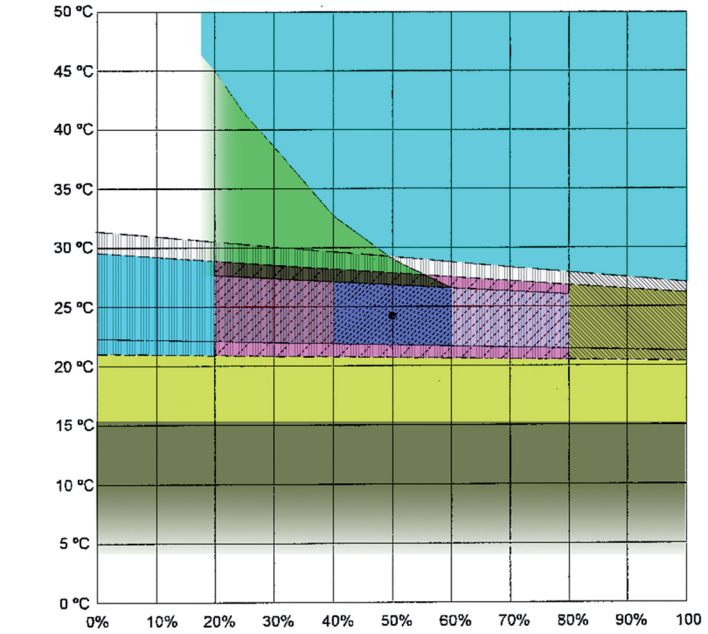
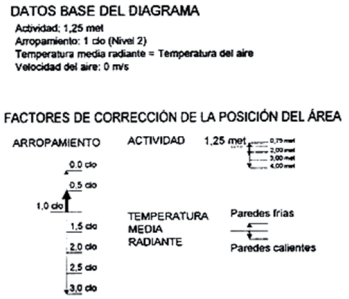


Fig. FB.3.09. Climograma de bienestar adaptado. Basado en la Tabla bioclimática de Olgyay (1963), se corrige la zona de confort, admitiendo su variabilidad en función de factores como el arropamiento o la actividad y se incluyen estrategias de corrección.



B.3.2. Tabla Bioclimática (Baruch Givoni, 1969)

Esta herramienta fue incluida en el libro *Man, Climate and Architecture* (1969) que se trata de un completo tratado de arquitectura desde el punto de vista climático, constructivo, de materiales y de confort. La tabla, basada en un ábaco psicométrico, sólo se trata en un apartado del capítulo 16, y el resto del libro hace un repaso exhaustivo de parámetros climáticos, de factores de confort y de las diferentes características físicas de los materiales de construcción, de las estrategias de control higrotérmico y de cuestiones como la orientación y la predicción y cálculo de temperatura interiores, incluso incluyendo algunos métodos informáticos para el cálculo de protecciones solares como se ve en los apartados B.2 y B.4.2.

En la primera edición del libro (1969), Givoni justificaba la necesidad de su estudio debido al creciente interés, por un lado, del efecto del entorno climático en el ser humano, y por otro, en las nuevas perspectivas aparecidas sobre la relación de la arquitectura con el medio. Añadía que su estudio se diferenciaba de los anteriores en la inclusión de factores fisiológicos, mientras que los realizados hasta la fecha solo tenían en cuenta los físicos (Givoni [1969] 1976:VII).

En la segunda edición (1976), la situación socioeconómica había variado bastante y por tanto la relación entre la las personas, el clima y la arquitectura se había visto influenciada drásticamente. Se refiere en este caso a la crisis energética acaecida que había resultado en una creciente concienciación sobre la necesidad de reducir el consumo y minimizar las necesidades energéticas para la climatización de los edificios. Además indica que el interés por la utilización de energías naturales como sustituto de los combustibles fósiles se había renovado e intensificado ([1969] 1976:V).

Según el arquitecto de origen israelí, el método de Olgyay fue el primer intento de sistematizar la incorporación de las condiciones climáticas en el diseño de edificios. A pesar de ello, decía:

> *The system is limited in its applicability as the analysis of physiological requirements is based on the outdoor climate and not on that expected within the building in question.* ([1969] 1976:311)[118]

Givoni demuestra como la relación entre las condiciones higrotérmicas interiores y exteriores puede variar ampliamente en función de las características de construcción del edificio y de su diseño, por ende, el método de Olgyay:

> *… is suitable for application in humid regions, where ventilation is essential during the day and there is little difference between the indoor conditions and those out of doors. But application in hot areas, particularly in the subtropics, could lead to erroneous conclusions.* ([1969] 1976:311)[119]

Expone dos ejemplos para argumentar sus críticas. Por ejemplo en una región subtropical en la que las temperaturas diurnas alcancen los 32-35ºC, la temperatura mínima se encuentre sobre 17ºC y la humedad relativa en 40%. Entonces, según la carta bioclimática de Olgyay, el confort es inalcanzable durante el día a no ser que la velocidad de aire en el interior sea muy elevada o se utilice enfriamiento evaporativo. Pero en realidad, el confort sería fácilmente alcanzable manteniendo la temperatura interior por debajo de 28ºC, a través de la utilización de coloraciones blancas en el exterior de la envolvente junto con el cierre y la correcta protección de las ventanas.

En el otro ejemplo se produce una limitación similar al establecer la necesidad de calefacción en periodos en los que la temperatura exterior sea inferior a 20ºC, en verdad con características similares al caso anterior se pueden conseguir temperaturas interiores mucho mayores y por consiguiente confortables.

Procedimiento

Para la definición del confort se utiliza el Índice de Estrés Térmico, que él mismo ha creado y definido en el mismo libro. Según el autor explica en el texto, este

118. Traducido por el autor: El sistema es limitado en su aplicabilidad ya que el análisis de los requerimientos fisiobiológicos se basa en el clima exterior y no en el que se prevé en el interior del edificio en cuestión.

119. Traducido por el autor: [El método] es por tanto adecuado para la aplicación en regiones húmedas, en las que la ventilación es esencial durante el día y hay pequeñas diferencias entre las condiciones interiores y exteriores. Pero la aplicación en zonas cálidas secas, particularmente en el subtrópico puede llevarnos a conclusiones erróneas.

índice es en definitiva una medida de la pérdida de peso del cuerpo humano, por evapotranspiración, estableciendo para el confort térmico un valor de 40-60 g/h, pero debido a que la piel humana se mantiene seca hasta 100 g/h, Givoni amplía el límite hasta ese punto.

Además, el autor admite de un modo indirecto que su procedimiento es principalmente adecuado para entornos cálidos, puesto que los planteamientos en los que basa su estudio para llegar a la definición de áreas y estrategias son la reducción de la temperatura interior y la ventilación efectiva. De hecho el apartado del libro en el que explica cómo ha desarrollado el método se denomina *Choice of approach in hot climates*[120].

Givoni denomina a su herramienta "Tabla de edificación bioclimática" y parte de un diagrama psicrométrico[121]. Sobre él, se representan mediante una nube de puntos los datos climatológicos de la localización concreta. La novedad introducida supone delimitar una zona de confort en base al Índice de Estrés Térmico, que en el desarrollo teórico inicial entiende que los parámetros son genéricos, es decir no pertenecen ni al ambiente interior, ni al exterior, sino simplemente a situaciones de bienestar higrotérmico. Este comienzo es solamente hipotético puesto que, como es sabido, el solo hecho de cerrar un espacio y ocuparlo hace que su comportamiento interior diste mucho de las situaciones exteriores.

En el paso siguiente, la zona de confort se amplía con diferentes áreas que responden a realidades que se producen en la edificación, pero que controladas se convierten en estrategias de control higrotérmico. Así, se vuelve al planteamiento inicial de parámetros ambientales exteriores, de modo que los puntos incluidos dentro de las nuevas áreas delimitadas no marcan situaciones de confort, sino que es posible alcanzarlo, en el espacio interior (con las condiciones exteriores que marca el punto), a condición de utilizar las estrategias a las que el área corresponde.

120. Elección de enfoque desde climas cálidos

121. El diagrama psicrométrico no es una invención de Givoni, ya había sido utilizado mucho antes por ingenieros en cálculos de climatización, como por ejemplo hizo Carrier.

Al igual que ocurría con Olgyay, la tabla, denominada bioclimática, en realidad también incluye las situaciones en las que se debe utilizar climatización, por tanto no contempla únicamente estrategias propiamente bioclimáticas, pero el planteamiento sí lo es, ya que se pretende que su uso se restrinja a sólo aquellas situaciones en las que mediante técnicas pasivas no se logra el confort interior.

El perímetro que marca la zona de confort de verano o zona neutral (N) se define para personas aclimatadas en reposo o en niveles de actividad sedentaria con un margen de condiciones permisibles (N')[122]. Las temperaturas en la parte superior aceptable son 26ºC y 28ºC para presiones de vapor de 20 mmHg y 5 mmHg, respectivamente para cada área. La temperatura inferior es de 20ºC similar a la indicada por Olgyay.[123]

Posteriormente se define un área (M y M') en la que es posible alcanzar las condiciones de confort mediante el control de la temperatura interior por la envolvente arquitectónica en ausencia de ventilación. El límite superior de humedad es de 17 mmHg, ya que con valores superiores y sin corriente, se produce incomodidad por sensación de humedad en la piel. Los límites de estas zonas son inversamente proporcionales a la presión de vapor, variando de [31-33]ºC para 17 mmHg y hasta [37-39]ºC para 5 mmHg. (Fig. B.4.10, arriba)

La siguiente área que se estudia (Fig. FB.4.10, abajo) representa las condiciones bajo las cuales se puede alcanzar el confort con el uso de ventilación natural. En V se incluyen aquellas "construcciones estándar"[124] no diseñadas para minimizar la calefacción tradicional y en V' los edificios con estructura (y envolvente) con alta inercia térmica con superficies exteriores blancas.[125] Las dos zonas se extienden a 28ºC y 30ºC respectivamente para 25 mmHg y a 30ºC y 32ºC para 5 mmHg. Por debajo de 17 mmHg y 32ºC hay una zona donde las áreas se superponen y en la que es posible el uso de ventilación o de inercia térmica.

También se incluye la posibilidad de realizar un enfriamiento evaporativo para edificios estándar (EC) y bien aislados (EC'). El resto de situaciones representan

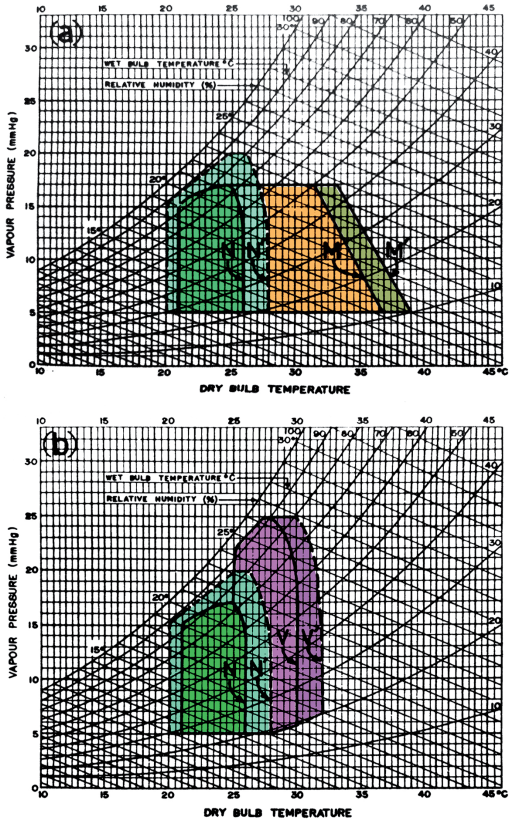


Fig. FB.3.10. Tabla bioclimática de Givoni (1969)
(arriba) se incluyen las zonas donde el confort se alcanza gracias a la envolvente (M y M')
(abajo) se incluyen las zonas donde el confort se alcanza con ventilación (V y V')

122. Estas dos áreas se corresponden a los dos límites del Índice de Estrés Térmico, es decir la interior corresponde a 40-60 g/h de pérdida de peso por evapotranspiración y la exterior a 100 g/h.

123. Conceptualmente la temperatura es la misma, solo que como Olgyay la expresó en grados Farenheit, hay una pequeña diferencia (70ºF = 21,11ºC)

124. Así lo denomina Givoni.

125. Repetidamente, en el libro, Givoni hace referencia a la inercia térmica de la estructura y nunca de la envolvente. Este hecho se debe a que, en un apartado anterior, contrapone el comportamiento de la edificación con estructura metálica o de hormigón;, y probablemente para evitar parcialidad en los planteamientos estilistas de una arquitectura bioclimática.

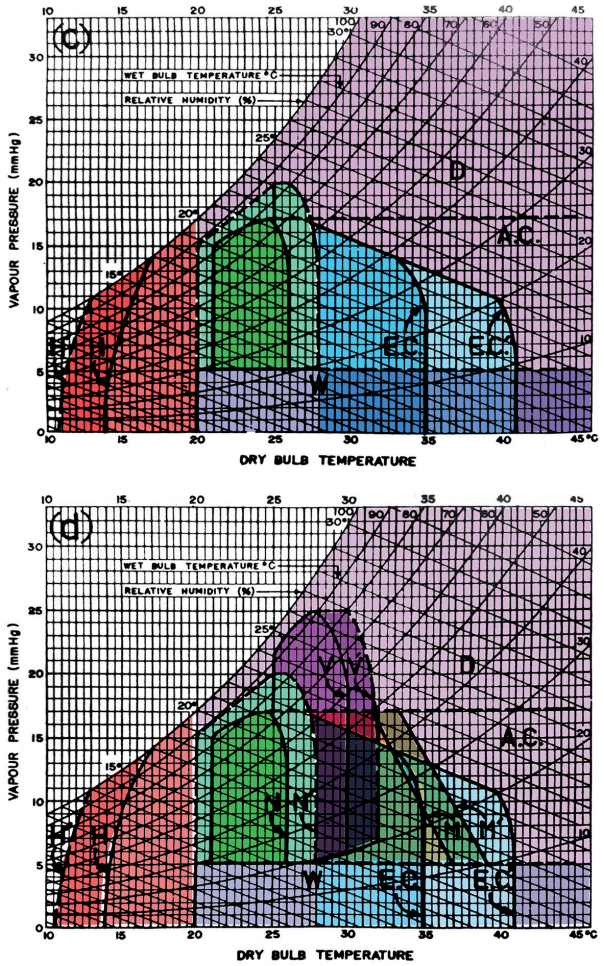


Fig. FB.3.11. Tabla bioclimática de Givoni (1969)
(arriba) se grafían las zonas de confort y confort extendido (N y N'), las zonas donde las estrategias correctoras son el enfriamiento evaporativo (EV y EC'), adición de humedad (W) o eliminación de humedad (D), junto con la zona donde es necesario enfriamiento activo (AC) y calefacción activa (H y H')
(abajo) se grafían sobre el ábaco psicrométrico todas las áreas definidas. Existen solapes que indican que se puede utilizar alguna de las dos técnicas o una conjunción de las dos.

las condiciones bajo las cuales ninguno de estos métodos anteriores es adecuado y por consiguiente es necesaria calefacción o refrigeración mecánicas convencionales. (Fig. FB.4.11, arriba)

Para altas temperaturas en las que es necesario el aire acondicionado (AC en la tabla), además se indica que por encima de 17 mmHg es necesario realizar una deshumidificación (D) y por debajo de 8 mmHg es recomendable aportar humedad al ambiente (W); los enfriadores evaporativos realizan esta función pero, fuera del área indicada, se excede su capacidad para reducir la temperatura.

En la horquilla de [20-27]ºC pero con la presión de vapor por debajo de 5 mmHg, para alcanzar el confort, es necesario humidificar el ambiente (W) puesto que con cantidades tan bajas se produce irritación de mucosas.

Finalmente por debajo de 20ºC, existe una región en la cual no es necesario aportar calefacción puesto que con el simple hecho de ser un espacio cerrado las temperaturas interiores son aceptables, y más allá (H y H') las temperaturas mínimas exigen calefacción activa. El límite de estas áreas depende de la inercia térmica del edificio, admitiendo menores temperaturas con menor humedad, puesto que existe una sensibilidad fisiológica mayor al frío húmedo que al seco.

Finalmente la conjunción de todas las áreas (Fig. FB.4.11, abajo) da la tabla completa donde se pueden ver todos los métodos alternativos para obtener el confort simultáneamente bajo cualquier combinación de temperatura y humedad.

Conclusión

La Tabla Bioclimática de Givoni, sigue hoy en día siendo uno de los métodos más utilizados. Se han mejorados los cálculos y por tanto las delimitaciones de áreas. Pero la base conceptual de su método sigue vigente. El mismo reconocía:

> *…los límites de las áreas deben considerarse sólo indicativos de la adecuación de los métodos de control higrotérmico, ya que existen ciertas inexactitudes por desviaciones locales de las condiciones climáticas asumidas para la construcción de la tabla, particularmente en el rango de temperaturas y de velocidad de aire. Adicionalmente, la efectividad de los métodos sugeridos también depende del diseño y estructura del edificio.* (Givoni [1969] 1976:319)

En Autodesk Ecotec Analysis 2011, mediante una de sus aplicaciones (Weather tool) es posible observar, modificando la localización, las estrategias pasivas, la actividad o el arropamiento, como se modifican las áreas de medidas correctoras. (Ver. Fig. FB.3.11 y FB.3.12)

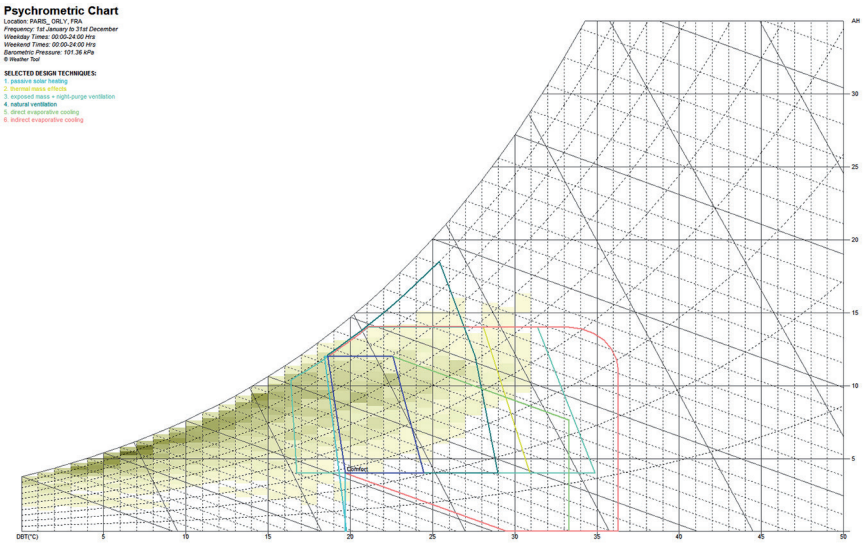


Fig. FB.3.11. Tabla Bioclimática de Givoni. Ábaco psicrométrico con estrategias pasivas de control higrotérmico. Localización: París.
Factores de confort: Nivel de actividad Sedentario: 1,2 MET
Arropamiento: 1 Clo

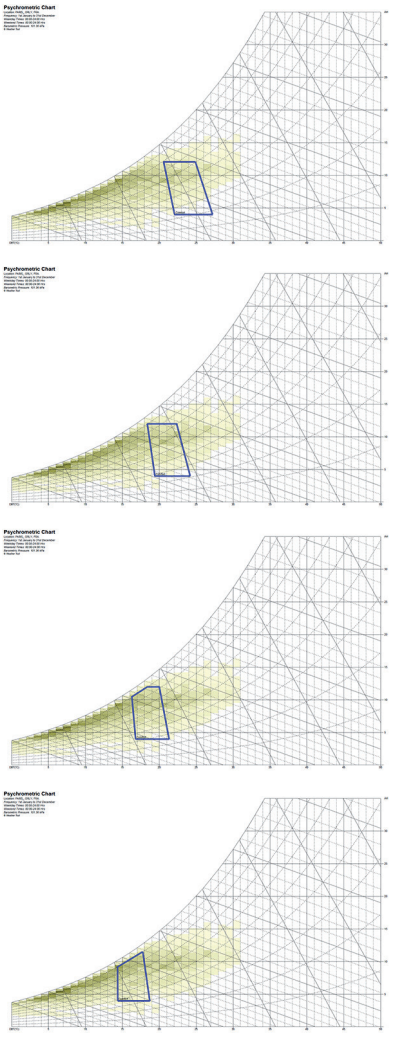
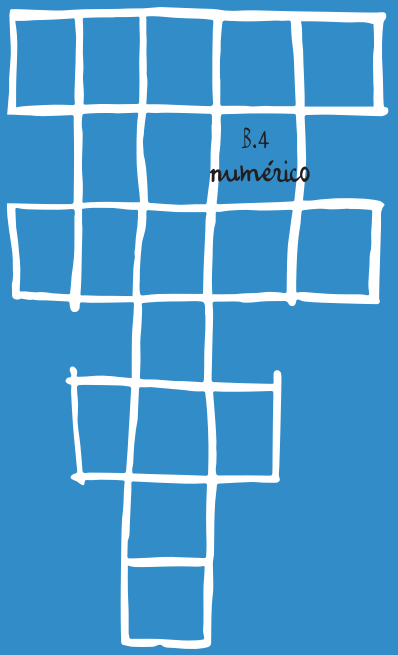


Fig. FB.3.12. Modificación de la zona de confort sobre ábaco psicrométrico en función de la variación de actividad. Valores adoptados: 1,5; 2; 2,5 y 4 MET (de arriba a abajo). Conforme aumenta el grado de actividad se reduce la temperatura percibida como confortable.

B.4
esprit


B.4
numérico

B.4. Herramientas numéricas

B.4.1. Mahoney Tables (1971)

Esta herramienta de diseño bioclimático toma su nombre de Carl Mahoney, arquitecto inglés que todavía sigue en activo con despacho en funcionamiento en Melbourne, Australia.[126] En su desarrollo trabajó junto a John Martin Evans y Otto Koenigsberger, en un proyecto financiado por la ONU y del que surgió el libro *Climate and House Design* (1971), que se publicó en inglés, francés y español[127], y que tal como indica su subtítulo es un manual para el diseño de viviendas de bajo coste e instalaciones comunes, en el que se presenta por primera vez la herramienta. Mahoney había iniciado el trabajo de concepción en Nigeria en 1968 y su mayor difusión se alcanzó gracias a la publicación posterior del libro *Manual of Tropical Housing and Building* (1973)[128] que se convirtió en libro seminal en las escuelas de arquitectura sudamericanas (Evans 2007:96).

126. No ha sido posible conocer el año de nacimiento de Carl Mahoney, pero con los datos cronológicos se estima que su edad es cercana o superior a 70 años.

127. En diferentes documentos se ha podido constatar esta realidad (Evans 2007), (Ogunsote 1987) y finalmente en el propio libro que ha podido ser consultado a través del servicio de préstamo interbibliotecario de la UPV. Se ha revisado su edición inglesa, proveniente de la Bibliotheek TU Delf, siendo imposible encontrar la versión traducida al castellano.

128. *Manual of Tropical Housing and* Building fue redactado por Otto Koenigsberger con la ayuda de varios estudiantes. Algunos de ellos también fueron coautores del libro como T.G Ingersoll, Alan Mayhew, S.V Szokolay.

Las *Mahoney Tables* no han tenido una difusión tan extensa como las herramientas diseñadas por Olgyay y Givoni, que han sido y son probablemente las más ampliamente utilizadas (Evans 2003:87), especialmente en Europa, aunque son más conocidas en el ámbito anglosajón, incluyendo las antiguas colonias inglesas (también en Inglaterra) y Sudamérica. Uno de los participantes en su creación, Evans, es en estos momentos uno de los investigadores de mayor reconocimiento internacional en la materia y ha seguido realizando estudios en torno a las tablas y a las herramientas gráficas de diseño y control climático. Además de modificar y mejorar la escala de confort térmico desarrollada por Mahoney en 1967 (Evans 1980), ha creado nuevos procedimientos como el *Comfort Triangles Method*, que expuso por primera vez en "Las tablas de Mahoney y los triangulos de confort" (2001) y que desarrolla completamente en su tesis doctoral presentada en 2007, aunque comenzó a idearlo veinte años antes (Evans 2007:117).

En *Climate and House Design*, los autores indican que el proceso de diseño de una vivienda se divide en tres fases: diseño esquemático[129], desarrollo planimétrico y concreción de elementos. Además añaden que el método para la fase de diseño esquemático, que podemos asimilar con la EDP (Early Design Phase) y que es donde entran en juego las tablas, es completamente nuevo.

> *It is intended to replace the conventional approach based on the methods of the heating and air-conditioning engineer. It has been developed specifically for the type of decision needed during the sketch design stage. It has been tried and found useful by architects from over twenty countries.*[130] (Mahoney 1971:11)

Los autores encuentran que durante las dos primeras fases del proceso de diseño, los arquitectos han perdido tiempo, habitualmente, recorriendo los mismos caminos que ya lo habían recorrido anteriomente otros autores o investigadores. Pretenden por tanto con el libro, y en concreto con las tablas, reducir la carga de trabajo y aumentar la eficacia ofreciendo un número limitado

129. *Sketch design*: se ha traducido más o menos literalmente como diseño esquemático aunque hace referencia a los primeros bocetos o encajes iniciales del proyecto.

130. Traducción del autor: Se pretende remplazar el planteamiento convencional basado en los métodos de los ingenieros de calefacción y aire acondicionado. Se ha desarrollado específicamente para el tipo de decisiones necesarias durante la fase de diseño esquemático. Ha sido probado y encontrado útil por arquitectos de más de veinte países.

de tipologías o sistemas constructivos que se han evaluado satisfactorios y por consiguiente el diseñador solo debe centrarse en adaptar esas tipologías a la situación particular en la que se encuentre, en vez de intentar inventar un nuevo sistema. Justo esta tarea es la que centra la tercera fase, introduciendo las principales herramientas de control climático y justificando su aplicación a cada elemento del edificio. También resaltan que el nuevo método se concreta en el desarrollo de vivienda de bajo coste en países de los trópicos o subtrópicos.

Procedimiento[131]

Las *Mahoney Tables* se componen de seis tablas: tabla de temperatura del aire; tabla de humedad, lluvia y viento; tabla de diagnosis; tabla de indicadores y tabla de recomendaciones para el diseño esquemático, que se utilizan en la fase de diseño inicial; finalmente, completa la herramienta la tabla de recomendaciones para el diseño de elementos, que se utiliza en la tercera fase. Adicionalmente se utiliza otra tabla, en la primera fase, que establece los límites de confort y que Mahoney realizó en base a estudios de campo; y una serie de plantas y secciones tipo para la segunda fase.

Para la primera tabla, "Temperatura del aire" (Fig. FB.4.01 y tabla TB.4.01), se dan las siguientes instrucciones:

(a) Registrar las temperaturas mensuales mínimas y máximas.
(b) Indicar en el recuadro de la derecha la más alta de las máximas medias mensuales y la más baja de las mínimas medias mensuales.
(c) Calcular la temperatura media anual (AMT, *Annual Mean Temperature*), mediante la suma de la más alta de las máximas medias mensuales y la más baja de las mínimas medias mensuales divididas por dos. Introducir el resultado en la casilla marcada AMT.
(d) Calcular el rango medio mensual (MMR, *Monthly Mean Range*) restando la mínima media mensual a la máxima e introduciendo el valor en las casillas inferiores de la tabla.

131. Se incluyen las imágenes extraídas del libro y tablas realizadas de nuevo traduciéndolas.

(e) Obtener el rango medio anual (AMR, *Annual Mean Range*) restando la más baja de las mínimas medias mensuales a la más alta de las máximas medias mensuales e introducir el resultado en la casilla marcada AMR.

TABLE 1. AIR TEMPERATURE (°C)

Temperature (° C)	*J*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	*N*	*D*	Highest	AMT
Monthly mean max.														
Monthly mean min.														
Monthly mean range													Lowest	AMR

Fig. FB.4.01. *Mahoney Tables*. Tabla 1, temperatura del aire

TABLA 1. TEMPERATURA DEL AIRE (°C)

	E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Más alta	AMT
Máxima media mensual														
Mínima media mensual														
Rango medio mensual													**Más baja**	**AMR**

Tabla TB.4.01. *Mahoney Tables*. Tabla 1, temperatura del aire

Para la segunda tabla, "Humedad, lluvia y viento" (Fig. FB.4.02 Y tabla TB.4.02), se indica:

(a) Registrar en la tabla 2 la máxima y mínima media mensual de humedad relativa (RH, *Relative Humidity*) para cada mes (realizar lecturas al principio de la mañana y al final de la tarde).
(b) Ingresar debajo de las máximas y mínimas la media de humedad relativa para cada mes.
(c) Anotar debajo el "grupo de humedad" (HG, *Humidity Group*) para cada mes, usando el siguiente código:

Media de RH (%)	**Grupo de Humedad**
Por debajo de 30%	1
[30 - 50]%	2
[50 - 70]%	3
Por encima de 70%	4

(d) Incluir en la tabla 2 los registros de precipitaciones mensuales en milímetros y sumarlos para obtener la precipitación anual.
(e) Registrar para cada mes la dirección de viento predominante y del segundo viento en función de los picos de los diagramas de frecuencia. (Es suficiente con indicar los puntos cardinales N, NNE, NE, ENE, E, etc.)

TABLA 2. HUMEDAD, LLUVIA Y VIENTO

		E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
RH (%)	Máxima media mensual (a.m.)												
	Mínima media mensual (p.m.)												
	Media												
Grupo de humedad													
Precipitaciones (mm)													
Viento	Dominante												
	Secundario												

Total

Tabla TB.4.02. *Mahoney Tables*. Tabla 2, humedad, lluvia y viento

TABLE 2. HUMIDITY, RAIN AND WIND

Humidity (percentage):	Monthly mean max.											
	Monthly mean min.											
	Average											
Humidity group												
Rainfall (mm)												
Wind:	Prevailing											
	Secondary											

Total

Fig. FB.4.02. *Mahoney Tables*. Tabla 2, humedad, lluvia y viento

Para la tercera tabla, "Diagnóstico" (Fig. FB.4.03 y tabla TB.4.03), se procede como sigue:

(a) Repetir en la tabla 3 para cada mes el dato del grupo de humedad de la tabla 2.

(b) Anotar la AMT (temperatura media anual) de la tabla 1.

(c) Introducir en la tabla 3 los límites de confort diurno y nocturno, tomados de la tabla inferior, utilizando el grupo de humedad apropiado y la AMT relevante.

(d) Comparar las máximas medias mensuales con los límites de confort diurnos y comparar las mínimas medias mensuales con los límites de confort nocturnos e introducir los símbolos siguientes en las dos últimas filas de la tabla 3 bajo la denominación estrés térmico (para el día y la noche):

Por encima de los límites donconfort	H (Hot)
Dentro de los límites de confort	- (Confort)
Por debajo de los límites de confort	C (Cold)

TABLA 3. DIAGNÓSTICO

		E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
Grupo de humedad													
Temp °C	Máxima media mensual												
	Confort diurno, máxima												
	Confort diurno, mínima												
	Mínima media mensual												
	Confort nocturno, máxima												
	Confort nocturno, mínima												
Estrés térmico	Diurno												
	Nocturno												

Tabla TB.4.03. *Mahoney Tables*. Tabla 3, diagnóstico

TABLE 3. DIAGNOSIS

Temperature (° C)												
Monthly mean max.												
Day comfort:	Max.											
	Min.											
Monthly mean min												
Night comfort:	Max.											
	Min.											
Thermal stress												
	Day											
	Night											

Fig. FB.4.03. *Mahoney Tables*. Tabla 3, diagnóstico

Para la cuarta tabla, “Indicadores” (Fig. FB.4.04 y tabla TB.4.04), se diferencian dos grupos: húmedos y áridos. Se conforman por la agrupación de síntomas de estrés climático (ver tabla TB.4.04bis) e indican la acción correctora que el diseñador puede tomar. Un indicador por sí solo no lleva a una solución y las recomendaciones solo se pueden establecer una vez se hayan añadido los indicadores de todo el año, mes a mes, completado la tabla 4 y sumando los totales.

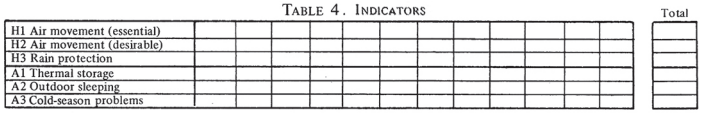


TABLE 4. INDICATORS

												Total
H1 Air movement (essential)												
H2 Air movement (desirable)												
H3 Rain protection												
A1 Thermal storage												
A2 Outdoor sleeping												
A3 Cold-season problems												

Fig FB.4.04. *Mahoney Tables*. Tabla 4, indicadores

TABLA 4, INDICADORES

		E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D	Totales
Húmedo	H1 Ventilación natural (esencial)													
	H2 Ventilación natural (deseable)													
	H3 Protección contra la lluvia													
Árido	A1 Inercia térmica													
	A2 Dormir fuera													
	A3 Problemas en estación fría													

Tabla TB.4.04. *Mahoney Tables*. Tabla 4, indicadores

DESCRIPCIÓN INDICADORES

INDICADOR	CONDICIONES	RELACIÓN CON EL DISEÑO
A1: Árido 1	Grupo de humedad: 1, 2 o 3 y Rango diario > 10ºC	Inercia térmica necesaria
A2: Árido 2	Estrés térmico nocturno: H (Hot) Grupo de humedad: 1,2 o 3 o Estrés térmico diurno: H (Hot) y Estrés térmico nocturno: - (Confort) y Grupo de humedad: 1 o 2	Espacio para dormir al exterior deseable
A3: Árido 3	Estrés térmico diurno: C (Cold)	Protección contra el frío
H1: Húmedo 1	Estrés térmico diurno: H (Hot) y Grupo de humedad: 4 o Estrés térmico diurno: H (Hot) y Grupo de humedad: 2 o 3 y Rando mensual < 10ºC	Ventilación natural esencial
H2: Húmedo 2	Estrés térmico diurno: - (Confort) y Grupo de humedad: 4	Ventilación natural deseable
H3: Húmedo 3	Precipitación anual < 200 mm	Necesidad de protección contra la lluvia

Tabla TB.4.04bis. Síntomas de estrés climático. Definen los indicadores que se recogen en la tabla 4

Los datos obtenidos se trasladan sobre la quinta tabla, "Recomendaciones de diseño esquemático" (Fig. FB.4.05 y tabla TB.4.05), que ayuda a formular las estrategias sobre ocho apartados distintos, que deberán ser tenidas en cuenta en la primera fase del diseño. Las instrucciones detalladas son:

(a) Trasladar los totales de indicadores a la tabla 5.
(b) Tratar los ocho apartados por separado, uno por uno.
(c) Examinar las columnas de indicadores para cada apartado y así encontrar la recomendación adecuada.
(d) Solo puede haber una recomendación por apartado, siempre será la primera que se encuentra empezando por la izquierda.
(e) Es posible que exista una recomendación alternativa, en muy pocos casos, dígase recomendación 1 o 2, 6 o 7 y 7 o 8. En estos casos la elección se realiza repasando la columna de indicadores de la derecha y decidiendo de acuerdo con el rango de meses dados en la tabla.

TABLA 5. RECOMENDACIONES DE DISEÑO ESQUEMÁTICO						
Indicadores totales de la tabla 4						Recomendaciones
Húmedo			Árido			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Disposición
			0-10			1. Edificios orientados en el eje E-O para reducir la exposición solar
			11 o 12		5-12	
					0-4	2. Distribución compacta con patios
						Espaciado
11 o 12						3. Espacios abiertos para la penetración de brisas
2-10						4. Como en 3, pero con protección del viento frío/caliente
0 o 1						5. Distribución compacta
						Movimiento de aire (ventilación natural)
3-12						6. Habitaciones a una mano. Provisión permante de aire en movivmiento
1 o 2			0-5			
			6-12			7. Habitaciones a dos manos con provisión temporal de aire en movimiento
0	2-12					
	0 o 1					8. Sin movimiento de aire
						Huecos
			0 o 1		0	9. Huecos grandes, 40-80%, en las fachadas N y S
			11 o 12		0 o 1	10. Huecos muy pequeños, 10-20%
			Cualquier otra			11. Huecos intermedios, 20-40%
						Cerramientos
			0-2			12. Cerramientos ligeros, baja inercia térmica
			3-12			13. Cerramientos externos e internos pesados (inercia alta)
						Cubiertas
			0-5			14. Cubiertas ligeras aisladas
			6-12			15. Cubiertas másicas; >8 h de almacenamiento de calor
						Dormir al exterior
				2-12		16. Espacio para dormir al exterior requerido
						Protección contra la lluvia
		3-12				17. Protección contra la lluvia necesaria

Tabla TB.4.05. *Mahoney Tables*. Tabla 5, recomendaciones de diseño esquemático

TABLE 5. SKETCH DESIGN RECOMMENDATIONS

Indicator totals from table 4						*Recommendations*
Humid			Arid			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Layout
						1. Buildings orientated on east-west axis to reduce exposure to sun
						2. Compact courtyard planning
						Spacing
						3. Open spacing for breeze penetration
						4. As 3, but protect from cold/hot wind
						5. Compact planning
						Air movement
						6. Rooms single banked. Permanent provision for air movement
						7. Double-banked rooms with temporary provision for air movement
						8. No air movement requirement
						Openings
						9. Large openings, 40-80% of N and S walls
						10. Very small openings, 10-20%
						11. Medium openings, 20-40%
						Walls
						12. Light walls; short time lag
						13. Heavy external and internal walls
						Roofs
						14. Light insulated roofs
						15. Heavy roofs; over 8 hours' time lag
						Outdoor sleeping
						16. Space for outdoor sleeping required
						Rain protection
						17. Protection from heavy rain needed

Fig. FB.4.05. *Mahoney Tables*. Tabla 5, recomendaciones de diseño esquemático

Las recomendaciones expresadas, que están numeradas de 1 a 17 son:

1. Los edificios deben orientarse con el eje longitudinal este-oeste de manera que las fachadas largas queden expuestas a norte y sur para reducir la exposición solar. En caso de ser necesaria inercia térmica (A1) por más de diez meses o si se requiere durante once o doce meses incluyendo más de cuatro meses de invierno (A2); entonces el edificio pude girarse ligeramente para admitir las brisas dominantes (mirando las direcciones de los meses más húmedos en la tabla 2) o para permitir un cierto nivel de calentamiento solar en la estación fría.

2. Los edificios deben disponerse alrededor de pequeños patios si es necesaria inercia térmica (A1) durante al menos 11 meses o durante 12 meses cuando la estación fría (A3) dura menos de cinco meses.

3. La separación entre construcciones debe ser amplia para permitir la penetración de aire si la ventilación natural es esencial (H1) durante once o doce meses. Como guía aproximada, el espacio entre bloques lineales debe ser cinco veces la altura del edificio o más.

4. Si se necesita ventilación natural (H1) entre dos y diez meses del año, la separación para la penetración de brisa es todavía necesaria, pero los edificios y el elemento verde deben planificarse para dar protección contra los vientos fríos o calientes con alto porcentaje de polvo suspendido (ver la tabla 3 para las condiciones y la tabla 2 para la dirección del viento)

5. Una distribución compacta de los edificios es esencial si la ventilación natural (H1) no se necesita durante más de dos meses.

6. Las estancias deben de colocarse a una mano con ventanas en la fachada norte y sur, si la ventilación cruzada (H1) es esencial durante más de dos meses. Esta disposición es deseable si la ventilación cruzada se requiere durante uno o dos meses y la inercia térmica (A1) durante un periodo de cero a cinco meses.

7. Las estancias pueden colocarse a dos manos si la ventilación cruzada (H1) se necesita durante no más de uno o dos meses. Si existen meses en los que la ventilación cruzada no es esencial pero es deseable (H2), la distribución debe permitirla temporalmente. Si no existe un viento predominante o las limitaciones del emplazamiento restringen el acceso de aire, se puede considerar la colocación de ventiladores de techo. Esta decisión es necesario que se tome durante la fase de propuesta inicial puesto que implica mayores alturas libres.

8. Las estancias deben disponerse a dos manos si no es necesaria ventilación cruzada (H1) para alcanzar el confort o si solo se requiere para mantener el confort (H2) durante un mes o menos.

9. Los huecos deben ser grandes (entre el 40% y el 80% de la superficie de fachadas norte y sur) si se requiere inercia térmica (A1) durante menos de dos meses y no existe estación fría (A3). Estas aberturas no tienen por qué estar completamente acristaladas, pero deben protegerse del sol, de la radiación difusa y de la lluvia, preferiblemente con lamas horizontales.

10. Huecos pequeños (menos del 25%) deben usarse cuando se necesita inercia térmica (A1) durante once meses o más y la estación fría (A3) es menor de dos meses.

11. En el resto de situaciones, aberturas de tamaño medio (de 25% a 40%) deben usarse en las fachadas norte y sur. Situar huecos en la fachada este es solo deseable si existe una estación fría larga (A3) y en la oeste en climas fríos y templados, pero deben evitarse completamente en los trópicos.

12. Los cerramientos exteriores deben ser ligeros con poca capacidad de almacenar calor si la inercia térmica (A1) es necesaria durante menos de tres meses. Las paredes interiores deben ser másicas si el rango anual de temperaturas es alto (por encima de 20ºC).

13. Todos los cerramientos, tanto interiores como exteriores deben ser másicos con gran capacidad de almacenaje de calor si se requiere inercia térmica (A1) durante más de tres meses.

14. Una cubierta ligera pero bien aislada debería usarse si la inercia térmica (A1) es necesaria menos de seis meses.

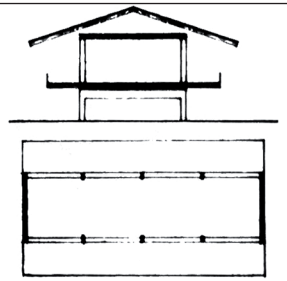
15. Una cubierta pesada, con gran masa, debe usarse si la inercia térmica (A1) se necesita durante más de seis meses.[132]

16. Se debe reservar un espacio para dormir al exterior si se aplica el indicador A2 durante más de un mes al año. Los espacios de sueño en las cubiertas o balcones o patios, deben exponerse a la parte más fría del cielo nocturno (el cénit) para permitir el enfriamiento radiante.

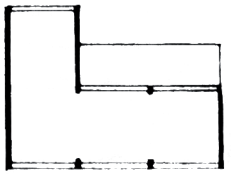
17. Se requieren medidas especiales de protección contra la lluvia si esta es especialmente frecuente y abundante (H3), como por ejemplo, *vérandahs* profundas, amplios aleros y pasajes cubiertos.

Las recomendaciones incluidas en la tabla 5, permiten proseguir con la fase de desarrollo planimétrico en la que se deberá escoger una tipología, en planta o sección, que permita cubrir las necesidades de cada caso particular. Se clasifican en tres categorías dependiendo de su idoneidad para climas cálidos húmedos, climas cálidos secos y climas compuestos. Las soluciones apropiadas para los climas cálidos húmedos se representan en la figura FB.4.06; para los climas cálidos secos en la figura FB.4.07. Para los climas compuestos no se plantean soluciones concretas y se indica que debe realizarse un estudio detallado que requerirá de la utilización de tipologías unas veces iguales a las expuestas y otras veces surgidas de la mezcla de varias de ellas.

132. Para las cubiertas, se recuerda que los lucernarios horizontales no deben usarse nunca en los trópicos.



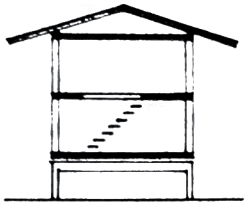
Tipo WH-1
Vivienda aislada o independiente.



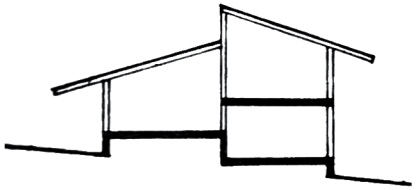
Tipo WH-1a
Vivienda aislada o independiente, igual que el modelo anterior pero en forma de L.

Tipo WH-2
Vivienda aislada o independiente, igual que el modelo anterior pero en forma de L.

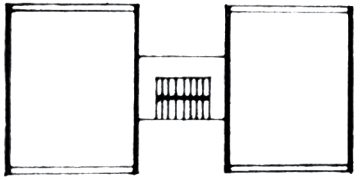
Tipo WH-3
Vivienda pareada. Surge de la unión de dos WH-1 o WH-1a



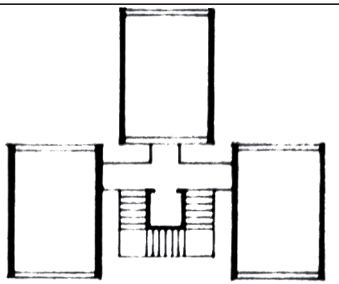
Tipo WH-4
Viviendas en hilera de una altura. Surgen de la agrupacion de varios WH-1 o WH-1a.



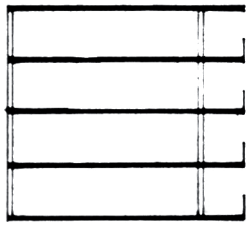
Tipo WH-4a
Viviendas en hilera de dos alturas a dos manos con niveles descavalgados. Difícil ventilación.



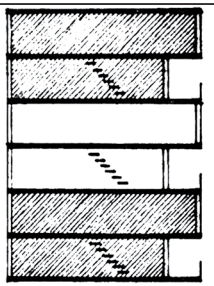
Tipo WH-5
Apartamentos (2 o 3 por planta) accesibles por una escalera abierta que facilita la ventilación.



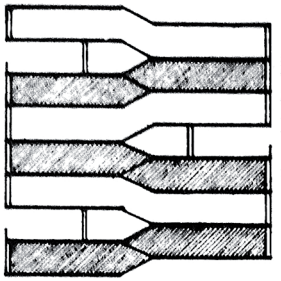
Tipo WH-6
Agrupaciones alrededor de núcleo de comunicación. Idem anterior con ascensor.



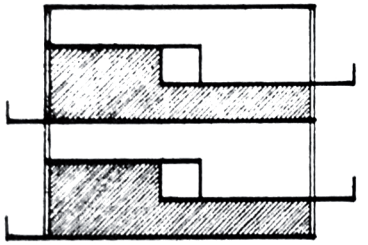
Tipo WH-7
Viviendas simplex acon acceso por corredor exterior. Económico pero difícil de ventilar.



Tipo WH-8
Viviendas duplex con acceso por corredor abierto. Se mejora la ventilación.

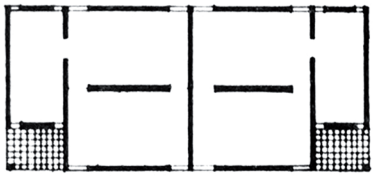


Tipo WH-9
Viviendas con niveles descavalgados con acceso por corredor. Buena ventilación.



Tipo WH-10
Bloques tipo Marsella. Apartamentos duplex con acceso por corredor cubierto central.

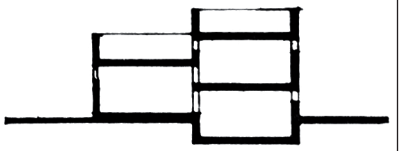
Fig. FB.4.06. Tipologías propuestas para clima caluroso húmedo (WH, *Wet Hot*)



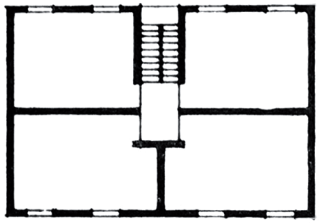
Tipo HD-1
Vivienda simple o duplex pareada. Distribución compacta a dos manos, sin ventanas a E y O.

Tipo HD-2
Viviendas en hilera de una pl., surgen de la agrupación de HD-1. Terraza para domir al ext.

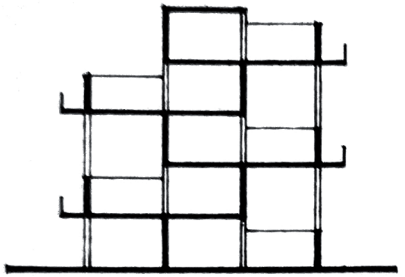
Tipo HD-3
Viviendas en hilera de dos pl. Terrazas para dormir al exterior. Problemas de privacidad.



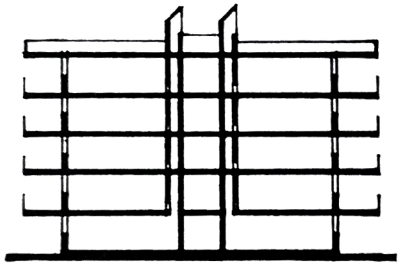
Tipo HD-3a
Similar al anteriror pero con los niveles descavalgados. Se pueden semienterrar.



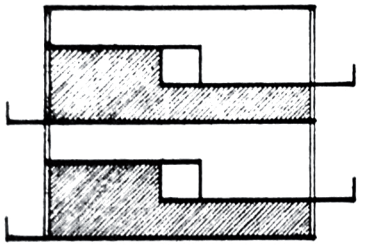
Tipo HD-4
Apartamentos (3 o 4) con acceso por escalera cerrada. Cubierta para dormir al exterior.



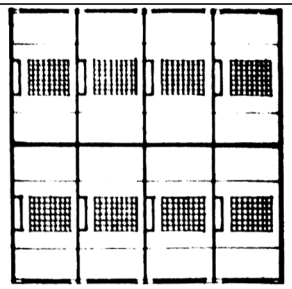
Tipo HD-5
Tipo Casablanca o "Atbat". Blacones en pisos alternos para enfriamiento radiante. 4-5 alturas.



Tipo HD-6
Acceso por corredor interno. Apartamentos a dos manos. Ventilación natural con chimeneas.



Tipo HD-7
Bloques tipo Marsella. Igual que WD-10 pero con balcones en tipos alternos.



Tipo HD-8
Viviendas unifamilares con patio al que dan todas las estancias.

Fig. FB.4.07. Tipologías propuestas para clima calurososeco (HD, *Hot Dry*)

Para finalizar, se utiliza la sexta tabla "Recomendaciones de diseño de elementos" (Fig. FB.4.08 y tabla TB.4.06), cuyo funcionamiento es igual que el de la tabla cinco. Introduciendo el número total de meses en función de los indicadores se llega a dieciséis recomendaciones estructuradas en seis apartados. También se indican las instrucciones de funcionamiento:

(a) Repetir los indicadores totales de la tabla cuatro en la seis.

(b) Tratar los seis apartados por separado, uno por uno.

(c) Examinar las columnas de indicadores para cada apartado y así encontrar la recomendación adecuada.

(d) Excepto para los apartados "protección de los huecos" y "tratamiento exterior de superficies" solo puede haber una recomendación.

(e) Es posible que exista una recomendación alternativa, en muy pocos casos, dígase recomendación 1 o 2, 4 o 5, 6 o 7 y 12, 13 o 14. En estos casos la elección se realiza repasando la columna de indicadores de la derecha y decidiendo de acuerdo con el rango de meses dados en la tabla.

TABLA 6. RECOMENDACIONES DE DISEÑO DE ELEMENTOS						
Indicadores totales de la tabla 4						Recomendaciones
Húmedo			Árido			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Tamaño de los huecos
			0 o 1		0	1, Grande, 40-80% en fachadas N y S
					1-12	2. Medio, 25-40% de la superficie de fachada
			2-5			
			6-10			3. Compuesto, 20-35% de la superficie de fachada
			11 o 12		0-3	4. Pequeño, 15-25% de la superficie de fachada
					4-12	5. Medio, 25-40% de la superficie de fachada
						Posicion de los huecos
3-12						6. Huecos en fachadas N y S a la altura del cuerpo en el lado de barlovento
1-2			0-5			
			6-12			7. Como el anterior, pero incluyendo aberturas en las paredes interiores
0	2-12					
						Protección de los huecos
					0-2	8. Evitar radiación solar directa
		2-12				9. Proveer protección de la lluvia
						Muros y suelos
			0-2			10. Ligeros: baja capacidad de almacenamiento de calor
			3-12			11. Másicos: >8 h de almacenamiento de calor
						Cubiertas
10-12			0-2			12. Ligeras: superficie y cavidades reflectivas
			3-12			13. Ligeras y bien aisladas
0-9			0-5			
			6-12			14. Másicas: >8 h de almacenamiento de calor
						Tratamiento superficial exterior
				1-12		15. Espacio para dormir al exterior
		1-12				16. Adecuado drenaje del agua de lluvia

Tabla TB.4.06. *Mahoney Tables*. Tabla 6, recomendaciones de diseño de elementos

TABLE 6. ELEMENT DESIGN RECOMMENDATIONS

Indicator totals from table 4						*Recommendations*
Humid			Arid			
H1	H2	H3	A1	A2	A3	
						Size of openings
						1. Large, 40-80% of N and S walls
						2. Medium, 25-40% of wall area
						3. Composite, 20-35% of wall area
						4. Small, 15-25% of wall area
						5. Medium, 25-40% of wall area
						Position of openings
						6. Openings in N and S walls at body height on the windward side
						7. As above, but including openings in internal walls
						Protection for openings
						8. Exclude direct sunlight
						9. Provide protection from rain
						Walls and floors
						10. Light: low heat capacity
						11. Heavy: over 8 hours' time lag
						Roofs
						12. Light: reflective surface and cavity
						13. Light and well insulated
						14. Heavy: over 8 hours' time lag
						External surface treatments
						15. Space for outdoor sleeping
						16. Adequate drainage for rainwater

Fig. FB.4.08. *Mahoney Tables*. Tabla 6, recomendaciones de diseño de elementos

Para las recomendaciones incluidas en la tabla, que están numeradas de 1 a 16, se explican:

1. Deben utilizarse aberturas grandes cuando no es necesario inercia térmica o cuando se necesita solo durante un mes (A1= 0 o 1) y cuando no existe estación fría (A2=0). Su tamaño puede oscilar entre 40 – 80% de la superficie de fachada y deben ser dispuestas de manera que dirijan la brisa a través de la estancia a la altura del cuerpo.

2. Deben utilizarse aberturas medias cuando se necesita inercia térmica por menos de dos meses (A1= 0 o 1) y además hay estación fría (A3= 1-12). También son necesarias si la inercia térmica hace falta entre dos y cinco meses (A2= 2- 5). Su tamaño estará entre 25 y 40% de la superficie de fachada y debe permitir que entre el sol durante los meses de invierno.

3. Las aberturas serán pequeñas cuando se necesita inercia térmica entre seis y diez meses (A1=6-10). Deben suponer entre 15 y 25% de la superficie de fachada. El incremento de área opaca es necesario para el almacenamiento de calor.

4. Huecos muy pequeños deben utilizarse cuando durante más de diez meses se requiera inercia térmica (A1 = 11 o 12) y la estación fría es menor de cuatro meses (A3 = 0-3). Debe ser suficiente con aproximadamente 10-20% de la superficie de fachada. Hay que prestar especial atención para prevenir que el sol penetre en el interior durante la larga estación cálida.

5. Si se aplican las mismas condiciones, pero con una estación fría más larga (A3 = 4-12), las aberturas deben ser de tamaño medio (25-40%) para permitir que le sol entre durante los meses fríos.[133]

6. Las aberturas deben dirigir la brisa a través de la estancia a la altura del cuerpo cuando la ventilación es esencial durante más de dos meses (H1=3-12), o cuando se requiere durante uno o dos meses (H1 = 1 o 2) y adicionalmente es necesaria

133. Mahoney recuerda que en el trópico un hueco no tiene necesidad de estar completamente acristalado, más bien al contrario para evitar el exceso de luz. Por tanto, los huecos a los que se refiere son practicables para la entrada de aire pero pueden ser opacos.

inercia térmica por menos de medio año (A1 = 0-5). En los países en los que se acostumbra a sentarse o tumbarse en el suelo, el umbral de la ventana no debe estar por encima de 200 mm.

7. Cuando la corriente de aire es esencial durante uno o dos meses (H1=1-2), pero se requiere inercia térmica durante más de cinco meses (A1 = 6-12) o cuando la ventilación no es esencial pero deseable durante más de dos meses (H2 = 2-12) las estancias pueden disponerse a dos manos diseñando cuidadosamente aberturas interiores. El objetivo es combinar la entrada de aire con la privacidad visual.

8. La entrada de sol debe evitarse en el interior de la vivienda si la estación fresca o fría dura menos de dos meses (A3 = 0-2). A la inversa, cuando el invierno dura más de dos meses, es necesaria la entrada del sol durante esos meses y hay que evitarla durante el resto del año. Esto se puede conseguir mediante aleros o dispositivos específicos de sombra. Los acristalamientos de baja emisividad no son sustitutivos de una protección solar efectiva. Este tipo de cristales reducen la cantidad de radiación solar que se transmite, pero absorben una parte, por tanto la temperatura del vidrio aumenta. La ventana, entonces, se convierte en un radiador que puede suponer una fuente de malestar, especialmente en habitaciones de reducidas dimensiones.

9. Se necesitará protección efectiva de la lluvia si hay más de 200 mm de lluvia en un mes. Aleros amplios proporcionarán algo de protección, pero la lluvia intensa está habitualmente acompaña de viento fuerte que empuja las gotas de agua dentro de las aberturas, incluso si están protegidas por aleros o lamas.

La temperatura del aire puede reducirse algo durante las tormentas tropicales, pero la humedad permanece alta y la ventilación será deseable para el confort. Existen sistemas de lamas que permiten la entrada del aire impidiendo la de la lluvia, pero en general poder cerrar las ventanas es el método más efectivo. Habitualmente serán necesarias mosquiteras para evitar la entrada de insectos.

10. Se deberá usar paredes externas ligeras cuando la inercia térmica (A1) sea necesaria durante menos de tres meses. Para reducir el almacenamiento de calor en el cerramiento se pueden usar bloques de hormigón huecos o ladrillos con un porcentaje mínimo de huecos del 40%. Una pared de dos hojas ligeras y una cámara tiene propiedades térmicas aceptables, pero la cámara puede ser un problema porque puede albergar insectos o termitas. Una pared delgada sólida es aceptable con precauciones para que no entre la lluvia y no se produzcan condensaciones. Para reducir el efecto de calentamiento, las paredes deben pintarse de colores claros como blanco, amarillo o crema.

11. Paredes pesadas con gran inercia térmica deben utilizarse cuando se requiera inercia térmica (A1) durante más de dos meses. De nuevo, los colores claros son necesarios, pero los colores excesivamente claros pueden producir deslumbramientos con el reflejo de la luz solar.

12. Cubiertas ligeras con aislamiento deberán ser utilizadas cuando se necesite ventilación natural durante más de nueve meses (H1 = 10-12) e inercia térmica durante menos de tres meses (A1 = 0-2). Las superficies exteriores deben ser claras o metálicas para reflejar la radiación solar. La cubierta debe incorporar una cámara o aislamiento para asegurar que solo un pequeño porcentaje de la radiación solar se transmite a través de la estructura.

13. La cubierta debe ser ligera y especialmente bien aislada cuando se necesite movimiento de aire durante menos de 10 meses (H1 = 0-9) y además se necesita inercia térmica por menos de seis meses (A1 = 0-5). El aislamiento extra se requiere para evitar que el interior de la cubierta se caliente cuando la ventilación se reduce durante los meses que se utiliza el almacenamiento de calor.

14. Una cubierta pesada es necesaria en las condiciones no cubiertas por los párrafos precedentes. Debería proveer un retardo de transmisión de calor de unas ocho horas. Esta característica se mejora si se añade aislamiento ligero en el exterior de una construcción másica. Se puede incluso llegar al mismo

almacenamiento de calor con una estructura ligera muy aislada. En el caso de que sea necesario dormir en el exterior, el uso de una cubierta pesada queda justificado.

15. Cubiertas pesadas para dormir serán necesarias cuando el indicador A2 es uno o más.

16. En regiones con lluvias fuertes, el agua en la cubierta puede producir problemas. Deben evitarse los canalones porque albergan insectos.

Conclusiones

Con respecto a las soluciones arquitectónicas, las *Mahoney Tables* no hacen más que reflejar los conocimientos que la arquitectura vernácula de los trópicos ya conoce. Las soluciones recogidas en el libro solo son válidas para estas zonas concretas, pero este hecho no invalida el método, pues como tal, es modificable para cualquier otra zona, modificando las recomendaciones y los límites de confort.

En este último concepto es donde realmente Mahoney realizó un gran avance. Él establece las zonas de confort en base a dos parámetros de temperatura (AMR y AMT) que obtiene en base a estudios estadísticos realizados en diferentes regiones de Nigeria. Así introduce, intuitivamente, por primera vez el concepto de confort adaptativo[134] que fue desarrollado más tarde por Nicol y Humphreys en 1998, veintisiete años después.

Otra innovación importante, fue la consideración de dos diferentes zonas de confort para las condiciones diurnas y nocturnas, respectivamente. Este hecho difiere de las propuestas de Olgyay y Givoni que solo diferenciaban para invierno y verano (Evans 2007:96). Con ello, se responde adecuadamente a la variación de percepción en estos momentos del día causada por un distinto tipo de ropa, actividad y expectativas entre la noche y el día.[135]

134. El confort adaptativo, tal y como se vio en el apartado A.4, se obtiene mediante estudios estadísticos entre la población en situaciones reales de localización y actividad. Hasta el momento siempre se había hecho con ensayos en cámaras climáticas.

135. Las tablas fueron ideadas en el curso de un proyecto de edificación de un colegio para el *International Bank for Reconstruction and Development*. Introducir esta característica, probablemente, se debió a la necesidad de incluir dormitorios para los estudiantes en el programa (Evans 2007:96).

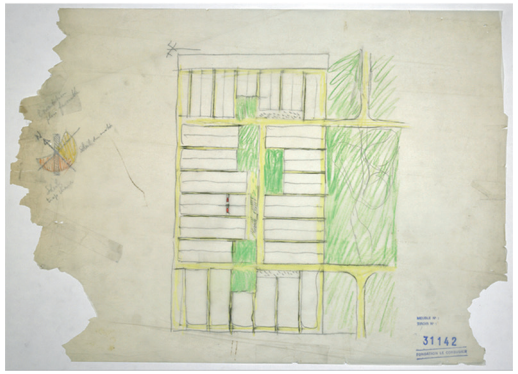


Fig. FB.4.09. (arriba) Barrio de densidad media, distrito 8 de Faridabad, India. Plan urbanístico realizado por Koenigsberger en 1951.
(abajo) Estudio de las *Maisons des Péons*. Sin fecha, Le Corbusier. FLC 31142. Se estima, por el nivel de desarrollo y por la solución que el dibujo es de mediados de 1951.

Las Mahoney Tables, Otto Koenigsberger y Le corbusier

Koenigsberger estudió arquitectura en la *Technical University* de Berlín, con profesores como Hans Poelzig, Bruno Taut y Heinrich Tessenow. Trabajó durante un corto periodo de tiempo con Erns May junto al cual ganó el Premio Schinkel en 1933 por un diseño para un edificio de las olimpiadas de Berlín de ese año. Posteriormente, gracias a que se le eximió de la realización del servicio militar, viajó a Egipto donde trabajó como arqueólogo y realizó su tesis doctoral sobre la puerta en la antigua arquitectura egipcia, presentada en 1935.

En 1939, tuvo la oportunidad de ir a trabajar a la Universidad de Michigan o convertirse en el director de arquitectura del Estado de Mysore, India, que en aquel entonces estaba bajo control indirecto del gobierno inglés y que en la actualidad se denomina Karnataka. Escogió esta última opción y trabajó como Director del *Public Works Department* desde 1939 a 1948. Durante su estancia allí, además de las labores administrativas y de supervisión que conllevaba su cargo, también realizó planeamiento y diseño para viviendas de trabajadores de empresas extranjeras (inglesas en su mayoría), preparó la tercera fase de la ciudad industrial de Jamshedpur e ideó la ciudad Bhubaneswar, capital de Orissa.

Cuando en 1948, India se independizó totalmente de Inglaterra, Koenigsberger se trasladó a Delhi y se convirtió en el Director Federal de Vivienda dependiente del Ministerio de Sanidad durante el gobierno de Nehru. Durante ese periodo, de 1948 a 1951, realizó tanto proyectos de vivienda como de urbanismo, y trabajó como asesor para las nuevas ciudades de Faridabad, Rajpura, Gandhidham y Sindri, que se desarrollaron para resituar a refugiados de la segregación. La construcción de este número de nuevas ciudades, generó un problema de altísima demanda de vivienda y para solucionarlo el arquitecto propuso un módulo de vivienda prefabricada que no tuvo éxito. Según Vandana Baweja, arquitecto indio que ha realizado estudios sobre Koenigsberger, este fue el motivo de su vuelta a Inglaterra. En cualquier caso, tras su vuelta, en 1954,

fundó el *Department of Tropical Architecture*, que dirigió desde 1957 hasta su cierre en 1971.

Los arquitectos que trabajaron en el *Tropical Architecture Departament* y en los propios trópicos, construyeron un cuerpo de conocimiento sobre técnicas de diseño que minimizaban el consumo de energía a través de un diseño climáticamente responsivo. Cuando el departamento cerró en 1971, Koenigsberger había centrado su trabajo en el urbanismo más que en la edificación pero la idea de una arquitectura energética y climáticamente responsable no desapareció, sino al contrario parece que entró en el panorama arquitectónico general a través de la arquitectura solar y la arquitectura bioclimática.

Esto se debe muy probablemente a la crisis de la OPEP[136] de principios de los setenta pero principalmente a que muchos de los estudiantes de Koenigsberger, que además habían colaborado en la redacción de *Manual of Tropical Housing and Building* (1973), se desplazaron a diferentes partes del mundo y empezaron a definir, con su trabajo, la arquitectura que hoy en día denominamos verde, solar o sostenible. Parece que uno de los inicios de la arquitectura sostenible está en el discurso que se defendía desde *el Tropical Architecture Department*. Algunos ejemplos son T.G. Ingersoll, que se estableció en Massachusetts y se especializó en viviendas solares o Steven Szokolay que se fue a Australia donde trabajó como profesor en la *Liverpool University*, viajando a Nairobi donde su universidad ayudaba a la *University of East Africa* a empezar un nuevo curso de arquitectura.

Como veíamos, Koenigsberger trabajó, activamente en la concreción y posterior difusión de las *Mahoney Tables*. Todo esto ocurría a principios de la década de los setenta, pero veinte años antes, indudablemente tuvo que tener alguna relación con Le Corbusier en la India debido a su labor allí, y sin duda tuvo que conocer la *Grille Climatique*. De hecho, el arquitecto de origen alemán había estudiado en la AA (Architectural Asociation) de Londres junto con Jane Drew,

136. OPEP: Organización de Países Exportadores de Petróleo. Sus siglas en inglés son OPEC: *Organization of the Petroleum Exporting Countries*

que fue la encargada de supervisar el trabajo de Le Corbusier para Chandigarh en la excolonia inglesa.[137]

Los dos arquitectos no debieron tener una relación muy cerrada puesto que en la documentación de la *Fondation Le Corbusier*, tan solo existen dos cartas entre ellos, una de mayo de 1951 y otra de dos meses después, en julio. En ese momento, de la *Grille Climatique* no existe referencia alguna en la documentación, probablemente era todavía una idea, pero fue desarrollada muy poco después, a finales de ese mismo año y principios de 1952.[138]

En cualquier caso, destaca de la herramienta iniciada por Mahoney su organización en tablas al igual que ocurre con la desarrollada en el *atelier* de Le Corbusier, recogiendo datos climáticos, delimitando el confort y proponiendo posteriormente soluciones tipológicas que lo garanticen. Ninguna otra herramienta de las habituales – y que estudiamos–tiene esta estructura, ni propone modelos de diseño concretos, lo cual hace pensar que la *Grille* influyó de algún modo u otro en el planteamiento posterior de Koenigsberger, Mahoney y Evans.

Por último, resalta la aparición de la sección "Tipo Marsella" que es la única tipología que se propone exactamente igual para los climas cálidos tanto húmedos como secos (ver Figs FB.4.06 y FB.4.07). Esta sección, que es la definida por Le Corbusier para las *Unités*, no se ha mostrado como la más eficiente para climas europeos como los de Francia, lo cual hace sospechar que su viabilidad en climas trópicales muy calurosos requerería de un estudio específico de las orientaciones y profundidades de los brise-soleil.

Como veremos, Le Corbusier siempre orientó las fachadas de las Unités a este y oeste y esto es completamente opuesto a las recomendaciones de los autores de las Mahoney Tables, tanto en *Climate and House Design, como en Manual of Tropical Housing and Building* y otras publicaciones en las que participaron.

137. Este hecho se explica ampliamente en el capítulo D.

138. Las dos cartas a las que se hace referencia se encuentran, la primera en el apartado de documentos G2-11-507 a G-2-11-556, y la segunda en el apartado G-211-680 a G2-11-737. Por cuestiones circunstanciales no han podido ser consultadas en el momento de cierre de esta tesis.

B.4.2. Herramientas informáticas. Cálculo numérico

En el presente estudio se han excluido las herramientas informáticas por motivos ya expuestos, además existen estudios muy amplios sobre esta temática como el realizado por IEA (International Energy Agency) en 2010. Los proyectos de investigación de este estamento se denominan "*tasks*" y a la que hacemos referencia es *Task 41 – Solar Energy and Architecture, Subtask B – Methods and Tools for Solar Design*. Se trata de cinco volúmenes en los que se analizan las herramientas existentes en la actualidad, se clasifican en función de su principal cometido y se realiza un estudio estadístico en base a encuestas a arquitectos en activo del que se presentan resultados y se deducen necesidades futuras.[139]

La investigación cubre 56 herramientas utilizadas ampliamente, que se clasifican de acuerdo a tres categorías: 1) CAAD (Computer-Aided Architectural Design)[140], 2) visualización y 3) simulación.

Según la información que facilita la oficina de *Energy Efficiency and Renewable Energy* (EERE) del *US Department of Energy,*[141] se tienen registrados 135 programas que analizan el edificio concretamente a través de la simulación energética. De los 56 programas incluidos en el estudio de la IEA, solo veinte tienen simulación energética, los otros tienen cálculo de sombras o de iluminación interior o son simplemente herramientas de diseño vectorial. Si bien es cierto, los de mayor utilización son los estudiados en la *task 41*, pero en cualquier caso, la dispersión es tan enorme que una comparativa de resultados reales, de todos ellos, requeriría un estudio específico.

En la actualidad no se puede concebir el trabajo en un despacho de arquitectura sin la utilización de las herramientas de diseño asistido por ordenador. Han inundado todas las fases de diseño, llegando a modificar la forma en la que la arquitectura se proyecta y por tanto, en la medida en la que esta depende del proceso de proyecto, incluso la propia arquitectura. Así lo plantean Jorge Sainz y Fernando Valderrama indicando en *Infografía y arquitectura* (1992) la aparición

139. El estudio estadístico se realizó a nivel internacional a través de diferentes colectivos o agrupaciones de arquitectos. En España se gestionó a través de los colegios profesionales que enviaron correos a sus colegiados para que contestaran a una encuesta sencilla. El resultado fue que solamente contestaron dos personas y por tanto se decidió excluir a nuestro país del estudio.

140. Diseño arquitectónico asistido por ordenador

141. http://www.eere.energy.gov

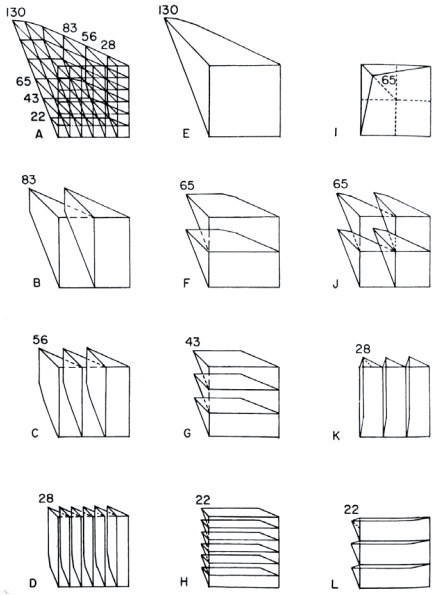


Fig. FB.4.10. Cálculo de protecciones solares mediante aplicación informática para una ventana con orientación noreste. (Localización no especificada)

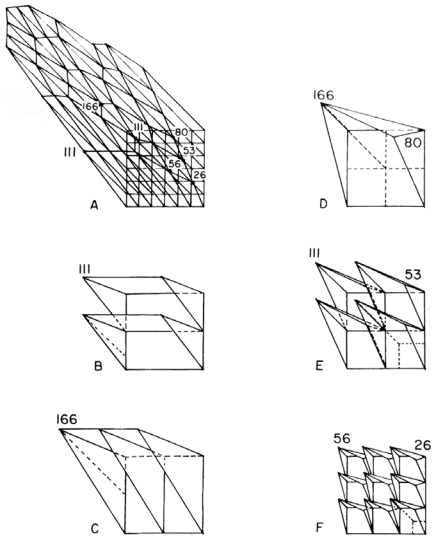


Fig. FB.4.11. Cálculo de protecciones solares mediante aplicación informática para una ventana con orientación sureste. (Localización no especificada)

de las "variables infográficas" y analizando el impacto morfológico que suponen (Sainz, Valderrama 1992).

La evolución ha llegado hasta tal punto, que existen métodos de diseño, por ejemplo los denominados algoritmos genéticos, que no podrían existir sin la propia herramienta. En estos casos, la adecuación a una serie de parámetros se realiza de un modo aleatorio, generando un amplio número de modelos, que se ponen a prueba y se van depurando hasta alcanzar la solución que mejor satisface los condicionantes. Desde un punto de vista termodinámico, como los cálculos siguen todavía requiriendo procesos iterativos largos, no existe aplicación práctica en este campo, pero se está realizando investigación en esa línea.

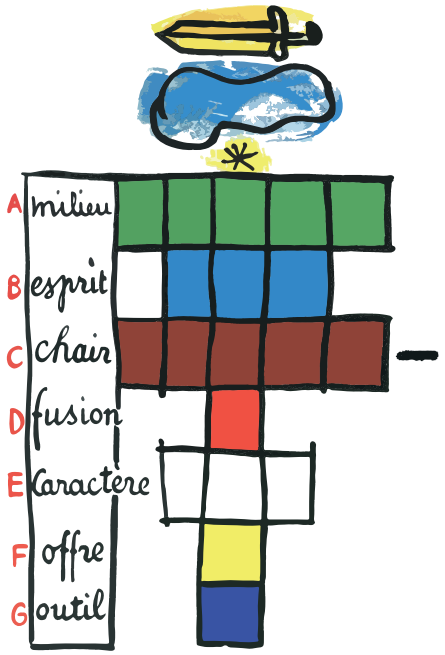
Con respecto al ámbito temporal que se ha acotado para el estudio de las herramientas (1951-1971), las CAAD todavía no existían. Estas se basan en una representación y cálculo de gráficos vectorial, que no fue posible a nivel usuario hasta 1976 con la comercialización del 2250 *Graphics Display Sistem* creado por IBM.

Pero el cálculo numérico binario ya existía anteriormente y se había aplicado al diseño de protecciones solares. Givoni, en *Man, Climate and Architecture* (1969), como una de las adiciones de la segunda edición de 1976, presenta un método para calcular protecciones solares exteriores fijas, desarrollado por E. Shaviv y que había sido publicado por el *Technion Research and Development Foundation Ltd.* en su informe nº 020-136 de diciembre de 1974 (Givoni [1969] 1976:253).

La aplicación informática, una vez establecidos los datos de latitud y orientación y las horas en las que se requiere evitar la radiación directa, establecía una malla de puntos sobre la superficie del hueco y en cada uno de ellos colocaba una línea perpendicular, en principio, cuya longitud se calculaba para que diera sombra hasta el marco de la ventana en todo el periodo deseado. El cálculo se hacía para todas las horas necesarias del día 21 de cada mes. Finalmente la

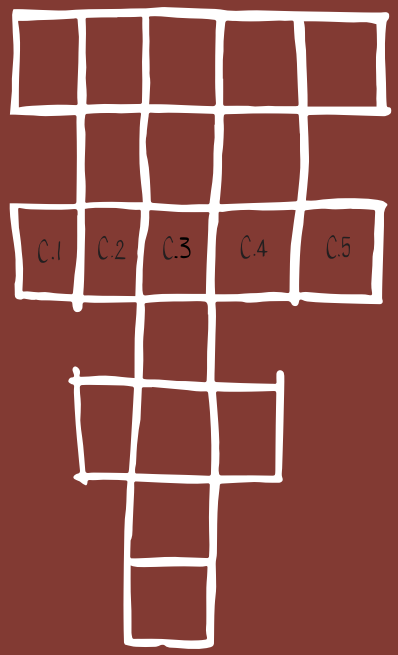
longitud de estas líneas establecía los límites para la protección que se representaba gráficamente mediante una axonometría caballera (Figs. FB.4.10 y FB.4.11).

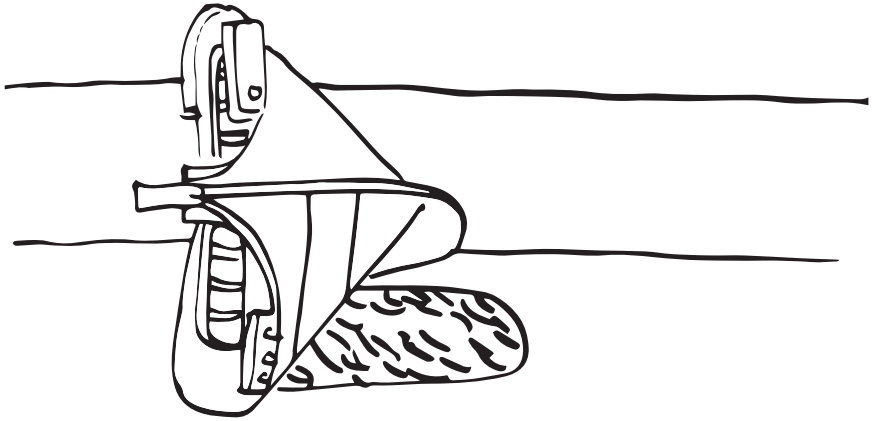
En desarrollos posteriores se permitió inclinar la linea generadora de sombras con lo que también se inclinaban las superficies que arrojan sombra y se optimizaba la cantidad de material utilizado y se posibilitaba disminuir la proyección de la protección, fuera del plano de fachada. (Ejemplo I en FB.4.10 y ejemplos D, E y F en FB.4.11)



Cap. C

CAPÍTULO C.
LE CORBUSIER Y LAS HERRAMIENTAS DE DISEÑO.
SISTEMATIZAR - CLASIFICAR





C.0. Sistematizar - Clasificar

Al igual que el presente estudio sobre la *Grille Climatique*, se podrían desarrollar análogos sobre otras herramientas de diseño de Le Corbusier. Por consiguiente, no se pretende realizar un análisis profundo de cada una de las que se nombran, sino a través de su repaso y conocimiento conocer esta característica del arquitecto, que a lo largo de su carrera le llevo a aplicar los principios industriales de sistematización y taylorización de una manera real. Es decir planteando la estandarización del proceso más que del producto.

Si bien es cierto, no todas ellas tuvieron un amplio uso, pero el maestro las tuvo en mente y consideró tan importantes como muchos de sus proyectos y obras construidas. En el epílogo del Modulor II escribía:

> *A más de sesenta años de edad, resulta que he propuesto espontáneamente, sin premeditación, con la mayor sencillez, tres instrumentos de trabajo:*
>
> *1° El Modulor*

2º La Cuadrícula CIAM de Urbanismo (ASCORAL)

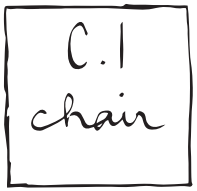
3º La Cuadrícula Climática (del taller de la calle de Sèvres, 35)

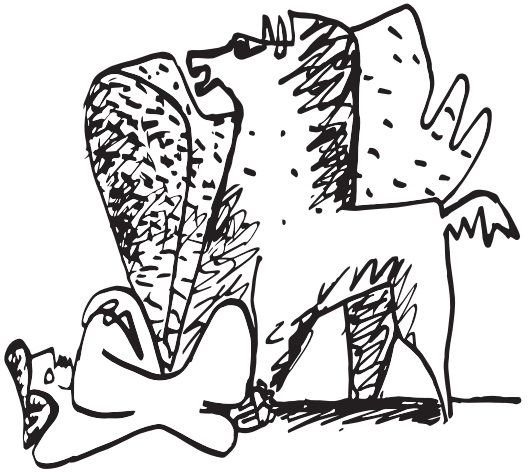
Instrumentos de unión, de pacificación, forzadores de murallas, instrumentos de circulación de ideas y objetos

El secreto de mis investigaciones hay que buscarlo en mi pintura. Desde mi infancia, mi padre me llevó a través de montes y valles, designando a los objetos de su admiración: la diversidad, los contrastes, la estupefaciente personalidad de los objetos, y con todo, la unidad de las leyes.

Antes de dejar la escuela a los trece años, yo había asimilado rudimentos de física, de química, de cosmografía y de álgebra que fueron para mí, en lo sucesivo, otras tantas puertas entreabiertas. Después tuve un maestro de dibujo (L'Eplattenier) a quien yo veneraba y quien, a su vez, nos llevaba a los campos y a los bosques y nos invitaba a descubrir. Descubrir es la gran cosa. Comenzar a descubrir. Descubrir un día y no cesar ya más de descubrir. Descubrir a cada paso del camino. (1955:303)

Tal y como se podrá comprobar después de la exposición de las herramientas, todas ellas, incluida la *Grille Climatique*, son formalizaciones de la forma de pensar y trabajar de Le Corbusier. Muestran además como, a pesar de la imagen que muchas veces se ha mostrado de ser un arquitecto abstracto y desvinculado del medio, en realidad tuvo intención e interés por anclar su trabajo a la tradición.





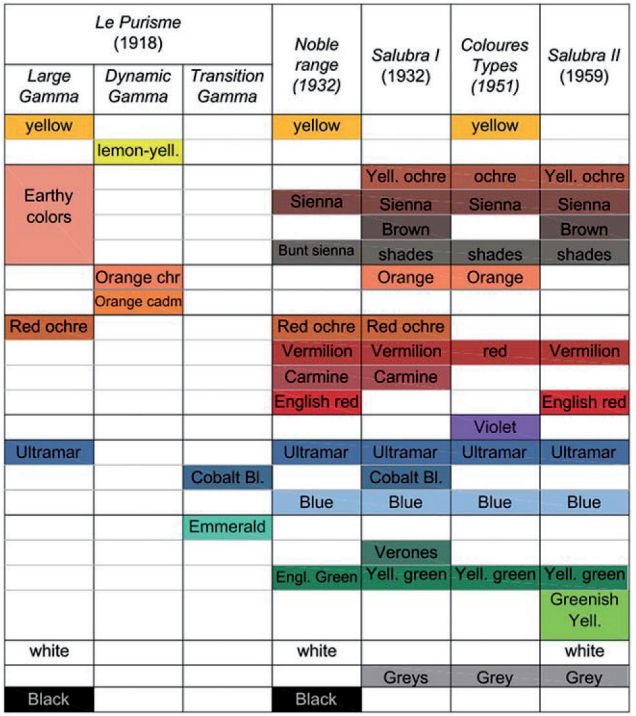
C.1. Salubra Claviers. Cuadernos de colores

La *Wallpaper Factory Salubra S.A.* es una empresa de pinturas y papeles pintados que se fundó en 1900 en Basilea, Suiza. Su primera producción fue una serie de papeles pintados, la serie *Tekko* fabricada desde 1901, con una aplicación de colores metálicos brillantes. Desde 1904, introdujeron también una nueva serie denominada *Salubra* que consistía en papeles con cobertura de algodón con una capa de pintura al aceite aplicada a alta presión. El producto era lavable y el color tenía alta capacidad de duración.[142]

A pesar de que inicialmente se produjeron modelos que imitaban diferentes acabados de estuco, también incluyeron posteriormente acabados completamente lisos y monocromos, que aportaban la libertad en el diseño que los arquitectos de la época solicitaban.

Además de Le Corbusier, la empresa también invitó a diferentes artistas suizos, así como arquitectos (Breuhaus o Max Bill) a crear colecciones *Salubra* que representaran sus ideas cromáticas. En 1930, la empresa firmó un contrato con

142. La empresa garantizaba que el color se mantenía inalterado durante al menos cinco años, lo que lo hacía un producto único para la época.



Le Purisme (1918)			*Noble range (1932)*	*Salubra I (1932)*	*Coloures Types (1951)*	*Salubra II (1959)*
Large Gamma	*Dynamic Gamma*	*Transition Gamma*				
yellow			yellow		yellow	
	lemon-yell.					
Earthy colors				Yell. ochre	ochre	Yell. ochre
			Sienna	Sienna	Sienna	Sienna
				Brown		Brown
			Bunt sienna	shades	shades	shades
	Orange chr			Orange	Orange	
	Orange cadm					
Red ochre			Red ochre	Red ochre		
			Vermilion	Vermilion	red	Vermilion
			Carmine	Carmine		
			English red			English red
					Violet	
Ultramar			Ultramar	Ultramar	Ultramar	Ultramar
		Cobalt Bl.		Cobalt Bl.		
			Blue	Blue	Blue	Blue
		Emmerald				
				Verones		
			Engl. Green	Yell. green	Yell. green	Yell. green
						Greenish Yell.
white			white			white
				Greys	Grey	Grey
Black			Black			

Fig. FC.01. Tabla de clasificación de rangos cromáticos en diferentes periodos de Le Corbusier. Extraída de Serra, Llopis et al. (2015)

Le Corbusier, año en el que se encontraba envuelto en varios de sus proyectos de gran escala, los *grands travaux*. Por aquel entonces la gramática cromática que había utilizado en las villas puristas y otros proyectos estaba siendo abandonada, al igual que terminaba, en la pintura, su periodo purista (la ruptura con Ozenfant se había producido en 1925).

La primera *Salubra Collection* de Le Corbusier vio la luz en otoño de 1931. Consistía en 43 tonos monocromáticos, así como algunos patrones de rombos que se utilizarían exclusivamente para la activación de pequeños machones de pared, una *fantaisie accessoire* como él la denominaba (Rüeg 2006:53).

Los colores, principalmente pasteles, se derivan de catorce colores básicos,[143] muchos de los cuales se toman de la *Grande gamme*: ocre y tonos tierra; así como el ultramar. Sin embargo, de la *Gamme dynamique*, también se incluían dos tipos de verde inglés, naranja, dos azules y rojos bermellón y carmín (Serra, Llopis et al. 2015). [144]

> *Although the selection of these colors already had a strong impact as a result of the vast experience of Le Corbusier as a painter and architect, the true achievement lies in the* tool *that he invented for the application of these shades by the clients: the* Claviers de couleurs. (Rüeg 2006:53) [145]

Los cuadernos, tal y como hemos visto, tienen un número relativamente reducido de colores, pero su organización permite, en base a la utilización combinada garantizar la armonía arquitectónica.

La herramienta consiste en doce cartas de patrones de color sobre las que se aplican en tres franjas más anchas colores claros, que Le Corbusier denomina *valeurs de fonds*. En dos franjas más estrechas, recordando las teclas de un piano, se ordena una secuencia de franjas de colores más pequeñas con colores de contraste. Según Rüeg los primeros serian apropiados para las paredes principales y los segundos se utilizarían para carpinterías, apliques de madera,

143. Serra et al. (2015) hacen un estudio detallado de la gama cromática utilizada por Le Corbusier en sus diferentes periodos, centrándose especialmente en esta primera colección. En su estudio detectan 14 colores básicos, añaden, respecto a otros estudios como (Rüeg 2006) dos colores básicos: gris y azul cobalto.

144. Las denominaciones *Grande gamme* y *Gamme dynamique*, son utilizadas por Le Corbusier y Ozenfant en su texto de 1921, "Le Purisme", L'Esprit Nouveau.

145. Las redondas (en oposición a la cursiva) aparecen en el texto original. Traducido por el autor: A pesar de que la selección de colores tuvo un fuerte impacto, como resultado de la vasta experiencia de Le Corbusier como pintor y arquitecto, el verdadero logro radica en la *herramienta* que inventó para la aplicación de los tonos por los clientes: los *Claviers de couleurs* (Cuadernos de colores).

puertas y otros elementos accesorios; aunque tal y como reseñan Serra, Llopis et al. (2015:13) Le Corbusier nunca realizó apunte que así lo indicara. La disposición de los colores está estructurada sistemáticamente de manera que, mediante la utilización de una tarjeta perforada, se aíslan combinaciones de colores que funcionan bien juntos. Existen tres tipos de tarjeta que permiten observar conjuntamente 3, 4 o 5 grupos de color.

Cada una de las cartas, contiene una denominación que hace referencia al efecto o sensación que produce la utilización de los colores contenidos en ellas. Por ejemplo *ciel*; *espace*; *velours* I y II, *mur* I y II; *sable* I y II; *paysage* y *damier* I, II y III. Al lado se incluyen adjetivos descriptivos de materiales, refiriéndose a las cualidades evocadoras del color que recordemos reemplaza al material en la arquitectura purista.

En 1959, se presentó la segunda *Salubra Collection* de Le Corbusier. En este caso el libro contiene las series *Mur* y *Marbre*, completándose con un bloque de láminas de veinte colores que no ocupan todo el ancho del cuaderno permitiendo que dos franjas con recuadros de color permanezcan visibles. Al pasar las páginas, cada uno de los veinte colores se puede comparar directamente con los otros mientras que una tarjeta con una única abertura permite aislar grupos de color enteros. La secuencia permite realizar 400 combinaciones distintas entre las cuales el usuario debe encontrar el equilibrio de color que mejor se ajuste a sus gustos o necesidades.

Los colores pueden combinarse en parejas o, con la ayuda de la tarjeta perforada, con dos o tres más que quedan determinados según la secuencia establecida en el cuaderno.

En 1997, las dos colecciones ideadas por Le Corbusier, *Salubra* 1931 y 1959, se reeditan conjuntamente e incluyen un texto, no publicado anteriormente, denominado *Polychromie architecturale*, fechado entre finales de 1932 y principios de 1933 (Rüeg 2006:173).

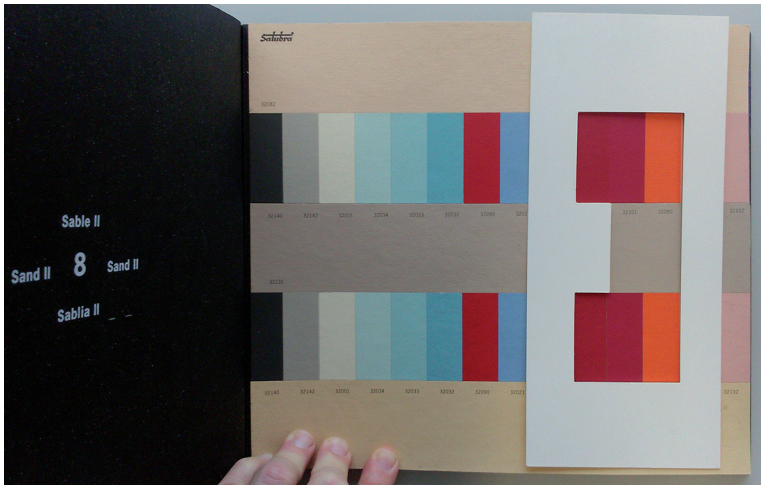


Fig. FC.02 . *Clavier Salubra I*, serie *Sable II*. Tarjeta de combinatoria de cuatro colores

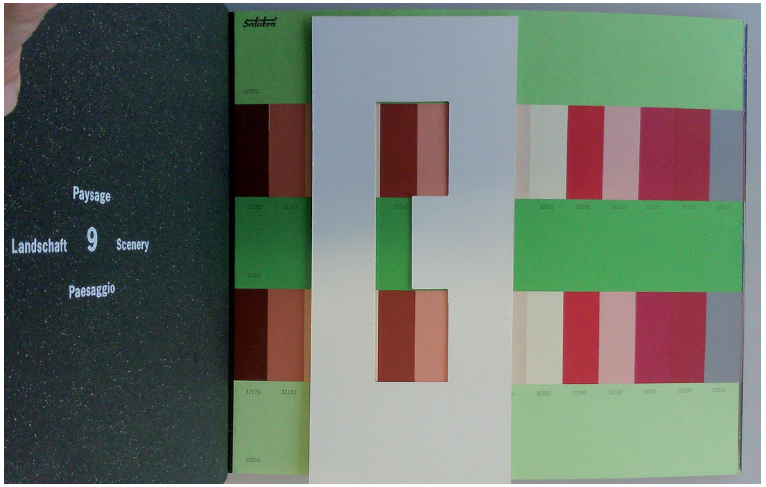


Fig. FC.03. *Clavier Salubra I*, serie *Paysage*. Tarjeta de combinatoria de tres colores

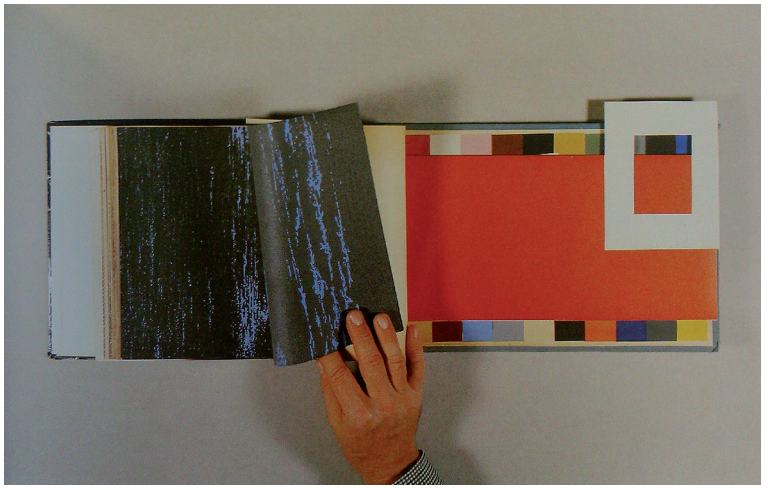
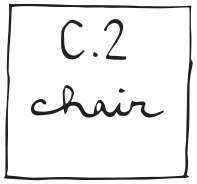
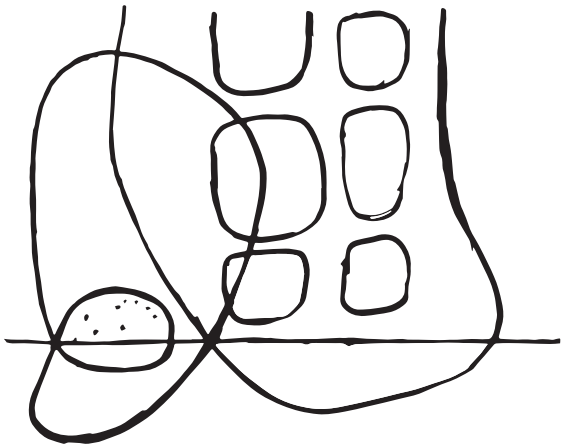


Fig. FC.04. *Clavier Salubra I*, serie *Paysage*. Tarjeta de combinatoria de tres colores

Los colores y sus combinaciones, se convirtieron de este modo en una suerte de *objets types*, productos hechos en serie que habían alcanzado la perfección formal gracias a un proceso de producción iterativo. Así estos *couleur-type* adquirieron el carácter de signos convencionales que según la opinión de Le Corbusier son la base para cualquier estándar (Rüeg 2006:59).

El análisis de los cuadernos de colores muestra sin lugar a duda, que la elección de colores, algo que puede parecer altamente personal y aleatorio, suponía para Le Corbusier un proceso que podía encuadrarse en las estructuras de clasificación que le caracterizaban.





C.2. El Modulor

> El Modulor, es una gama de proporciones que hace lo malo difícil y lo bueno fácil.
>
> Albert Einstein

De entre todas las herramientas ideadas por Le Corbusier, siempre junto a sus colaboradores[146], el Modulor es probablemente la que más trascendencia ha tenido en lo que respecta a su conocimiento. No en vano, el arquitecto, le dedicó dos libros: El Modulor (1948) y Modulor II (1955), y según reconoce en el Capítulo 1-Preliminares, del segundo de ellos, la difusión había sido grande, incluso con traducciones al inglés, japonés, alemán, español (1955:16).

La instrucción inicial dada por el arquitecto a Hanning, su colaborador, en 1943 para establecer un posible sistema de proporciones que sirviera para encontrar las medidas adecuadas y que se pudieran tomar directamente de manera visual, fue relativamente simple:

146. Para llegar a la definición final del Modulor debieron pasar diez años de trabajo en los que intervinieron Hanning, Py, Soltan, Maillard y finalmente Justino Serralta y Maissonnier que tal y como recoge Le Corbusier en el Modulor II (1955), establecieron la versión definitiva.

Fig. FC.05. Le Corbusier ante un bajorelieve del Modulor en la Unité de Marsella

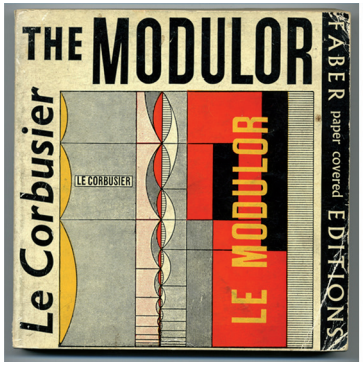


Fig. FC.06. Portadas El Modulor (1948) y Modulor II (1955)

> *Tomad al "hombre-del-brazo-en-alto" de 2,20 m de altura, instaladlo dentro de dos cuadrados superpuestos de 1,10 m de lado; tantead, a caballo sobre estos dos cuadrados, un tercer cuadrado que debe proporcionar la solución. El lugar del ángulo recto debe ayudaros a situar el tercer cuadrado. Con esta cuadrícula de campo de trabajo regalada según el hombre instalado en el interior…vais a dar con una serie de medidas ajustadas a la estatura humana y a la matemática... (Le Corbusier 1948:34)*

Aun así, el traspaso a la realidad constructiva ha sido muy limitado fuera de la propia obra. Lo cual resulta extraño, teniendo en cuenta la altísima influencia que su trabajo construido, tuvo y tiene para generaciones enteras de arquitectos. No podemos olvidar que la mayoría de sus creaciones tienen la base métrica y proporcional del Modulor.

Le Corbusier vio en el Modulor la capacidad de aunar las ventajas de los dos sistemas métricos existentes. El métrico-decimal, al ser en base diez, tiene facilidad operativa, pero es una abstracción que se encuentra completamente desvinculada del ser humano. El anglosajón (pie-pulgada) es antropométrico, lo que encuentra más apropiado y armonioso, pero es base 12 con los inconvenientes operativos que ello supone.

Tal y como Franco Taboada resume, la herramienta se caracteriza en cinco puntos (1996:21):

- Es un sistema armónico de medidas y no de cifras. Por ello está construido en base a la medida del hombre, a la sección áurea y a las series de Fibonacci.
- En el sistema métrico existen infinidad de medidas; en el Modulor muy pocas. Es de la combinación de las mismas de donde resulta la riqueza del sistema.
- El método es visual, ver las medidas permite escogerlas adecuadamente.

- Estas, son traducibles directamente a los dos sistemas imperantes; así 1,83 m son 6 pies.
- Las medidas del Modulor salen de la combinación de elementos básicos e inherentes a la estructura del ser humano y del universo: las medidas humanas, la sección áurea, el doble cuadrado, el ángulo recto y las series de Fibonacci con sus posibilidades combinatorias.

Desarrollo Numérico-Matemático

Se desarrollaron dos Modulores, el primero partiendo de un hombre de altura 1,75 m y el segundo y definitivo de un hombre de altura 1,83 m. La primera medida, que era la del propio Le Corbusier, respondía a la media francesa, pero en E.E.U.U. le sugirieron que era poco para su media y su colaborador Py, le hizo ver las ventajas de utilizar una medida de 6 pies (1,83 m) porque generaba una serie de medidas que se adaptaba muy bien al sistema métrico anglosajón (Franco Taboada 2006:25).

Para establecer las series de medida, tal y como comentábamos, se parte de un hombre de 1,83 m de altura que se inscribe en un rectángulo áureo y por tanto su anchura es 1,13 (ec. EC.2.01). En el paso siguiente, con el cuadrado de lado menor del rectángulo se encuentra la altura del plexo solar de la persona (ec. EC.2.02), y se establecen tres medidas, relacionadas por la razón del número de oro, que permiten conformar una serie de Fibonacci (ec. EC.2.03) y por tanto deducir el resto de medidas, creando la serie que Le Corbusier denominó roja (ec. EC.2.04).

$b = 1{,}83$ m; $b/a = \phi \rightarrow 1{,}83/a = \phi \rightarrow a = 1{,}13$ m [EC.2.01]

$c = b - a = 1{,}83 - 1{,}13 = 0{,}70$ [EC.2.02]

Serie de Fibonacci: $\int_n = \int_{n-1} + \int^{n-2} \rightarrow 1{,}83 = 0{,}70+1{,}13$ [EC.2.03]

Serie roja: 0,27, 0,43; 0,70; 1,13; 1,83; 2,96; 4,79… [EC.2.04]

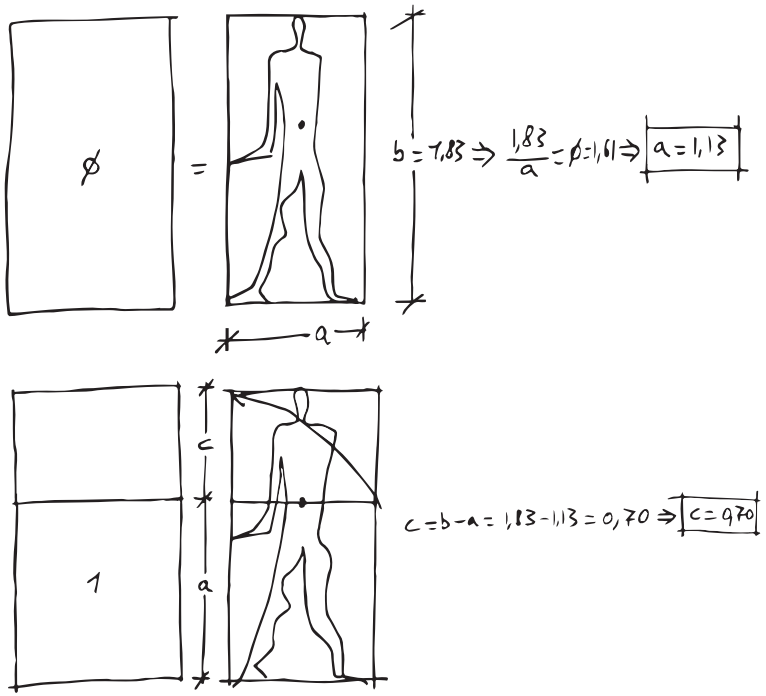


Fig. FC.07. Deducción serie roja en base a la figura humana de pie.
Dibujos extraídos de (Franco Taboada 2006)

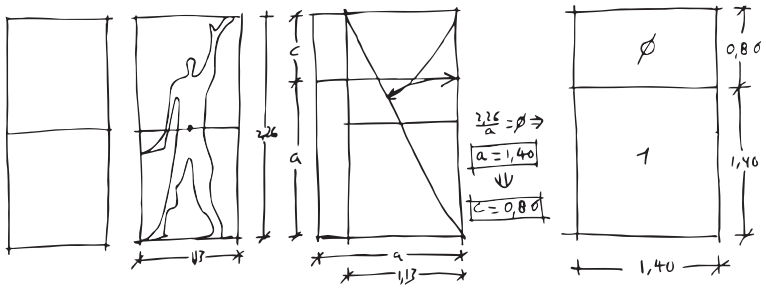


Fig. FC.08. Deducción serie azul en base a la figura humana de pie con la mano levantada. Dibujos extraídos de (Franco Taboada 2006)

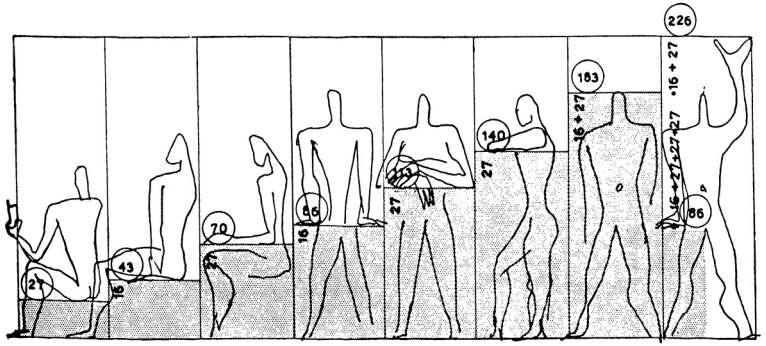


Fig. FC.09. Correlación de medidas del Modulor y del cuerpo humano

Además, el arquitecto encontró que estas medidas tenían mucho que ver con la ergonomía humana.[147] Además de 1,13, coincidente con el plexo solar, 0,70 resulta un buen apoyo para el brazo en posición sentada y 0,43 es una altura adecuada para un asiento.

Posteriormente, el arquitecto se pregunta qué espacio mínimo es necesario para el movimiento. Entonces el hombre de 1,83 m, levanta el brazo y alcanza 2,26 m, que corresponde exactamente con el doble de 1,13 m, número anterior de la serie. Por tanto, decide establecer una segunda serie de Fibonacci calculando la razón áurea (EC.2.05) que queda íntimamente ligada a la anterior[148] y que denomina serie azul (EC.2.07).

$b = 2{,}26$ m; $b/a = \phi \rightarrow 2{,}26/a = \phi \rightarrow a = 1{,}40$ m [EC.2.05]

$c = b - a = 2{,}26 - 1{,}40 = 0{,}86$ [EC.2.06]

Serie azul: 0,32; 0,54; 0,86; 1,40; 2,26; 3,66… [EC.2.07]

De nuevo las medidas responden bien a las medidas del hombre; 0,86 m es el apoyo de un plano de trabajo y 1,40 m el apoyo del codo de una persona que mira a lo lejos.

Desarrollo Gráfico

Definiendo una medida inicial y realizando unas operaciones matemáticas se estableció el método y todas las medidas, pero Le Corbusier, como arquitecto y pintor necesitaba plasmar esa realidad abstracta a una concreción visual y estética.[149]

> *Necesitaba verlo en un trazado geométrico unitario, perfecto y bello, al estilo de los viejos matemáticos griegos y en la mejor tradición pitagórica necesitaba que las cifras hablaran por sí mismas, que los números no solo fuesen número, si no Números.* (Franco Taboada 2006:25)

147. El término ergonomía no se conocía entonces de la manera que se hace hoy en día, pero en definitiva las medidas son ergonómicas puesto que coinciden con la medida del cuerpo humano.

148. Este hecho que geométricamente o conceptualmente puede parecer especial, matemáticamente es una cuestión muy simple. Las series de Fibonacci se caracterizan porque la razón entre dos cifras que ocupan posiciones contiguas es un valor que tiende al número áureo. Por tanto entre ellas hay proporcionalidad, es decir si multiplicas por dos, dos valores consecutivos de una serie y recalculas la nueva serie, todos los valores en la misma posición relativa serán el doble de los respectivos de la serie inicial.

149. En el capítulo B ya hemos visto la importancia que tiene el tratamiento gráfico como medio de pensamiento además de las utilidades para el análisis conceptual.

Cronológicamente, el trazado del Modulor pasó por diferentes etapas, llegando a realizarse tres versiones distintas. La primera fue dibujada por Hanning en agosto de 1943 partiendo de las instrucciones dadas por Le Corbusier. En diciembre del mismo año, Maillard plantea una variante, pero tal y como él mismo observa en marzo de 1944, ambos trazados presentan un error. En el primero, para la coherencia geométrica, los cuadrados de la construcción no son realmente cuadrados sino que son rectángulos de lados 1 y 1,006, tal y como resalta el matemático R. Tatón en una carta enviada a Le Corbusier y que este incluye al final del Modulor. Después de dar una justificación matemática, concluye:

> *Por consiguiente, los "cuadrados" construidos sobre gk y ki son visualmente cuadrados, pero matemáticamente son rectángulos cuya forma es aproximadamente cuadrada.* (1948:217)

Le Corbusier admite:

> *En la práctica diaria, seis milésimas es un valor despreciable que no se tiene en cuenta; no se ve con los ojos.*
>
> *Pero en filosofía (y yo no he tenido acceso a esta severa ciencia) presumo que SEIS MILÉSIMAS de algo tienen un significado infinitamente precioso. Esto no está cerrado, no está taponado; el aire pasa; la vida está allí, hecha de la repetición de una fatídica igualdad que no es precisamente ni rigurosamente igual…* (1948:221)

Pero acaba el libro incluyendo el trazado erróneo que Maillard le envía el 12 de diciembre de 1948, "acostado", que él pone de pie y dibuja dentro el hombre-en-pie-con-el-brazo-levantado (Fig. FC.10).

En 1951, Serralta y Maissonnier, finalmente encuentran el trazado que responde a las medidas establecidas en el método. Se basa igualmente en tres cuadrados, el doble y uno de ellos dispuesto según la sección áurea, pero en este caso, el

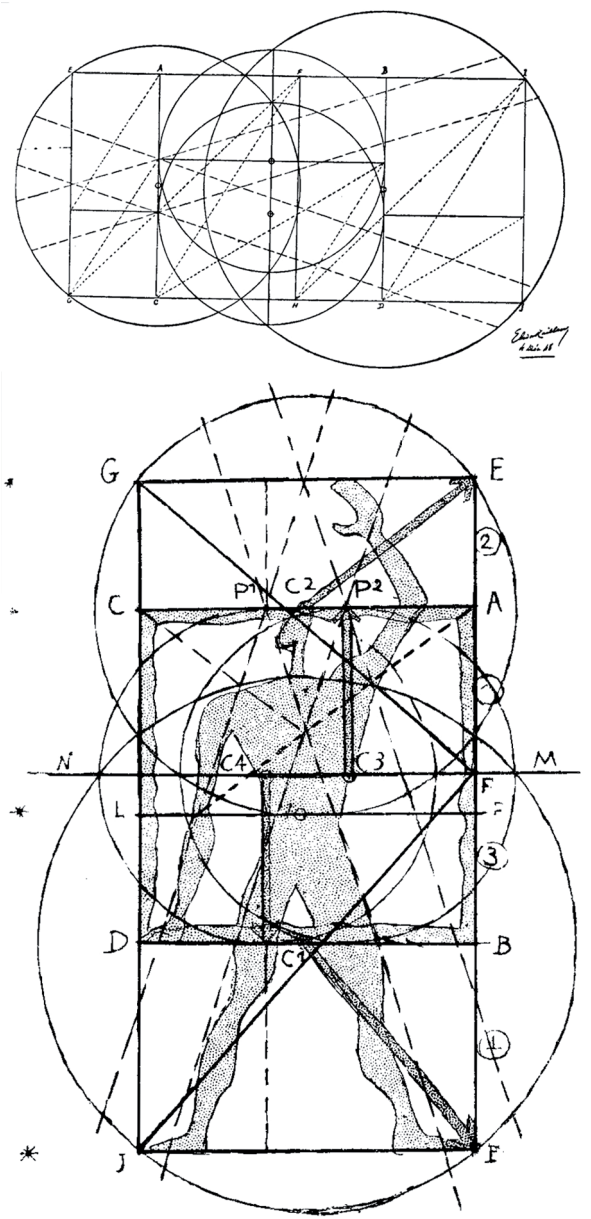


Fig. FC.10. (arriba) Dibujo entregado por Maillard a Le Corbusier
(abajo) Giro y dibujo realizados por Le Corbusier sobre la misma base (El Modulor)

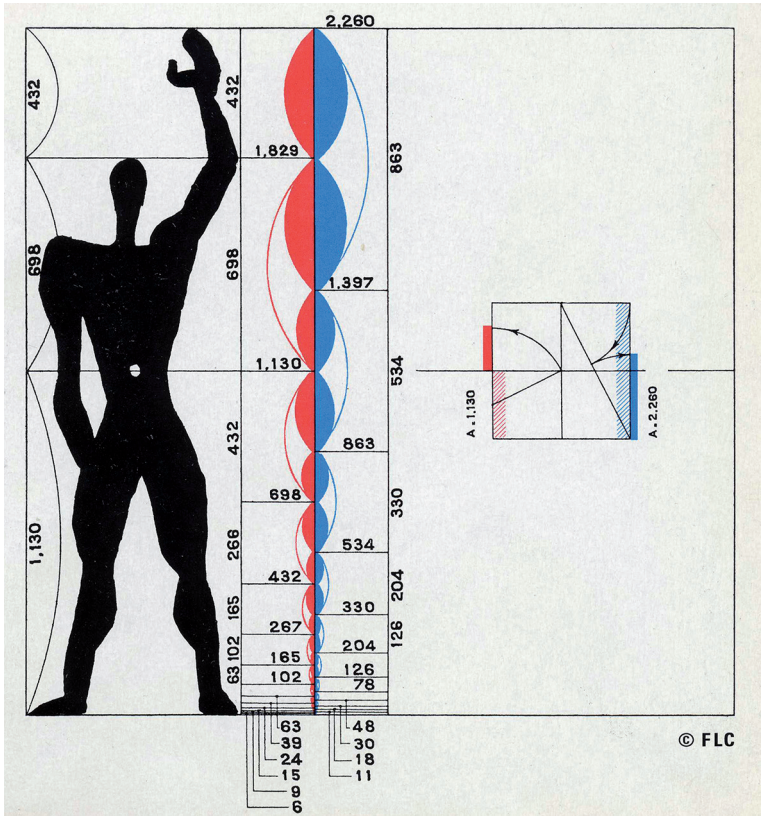


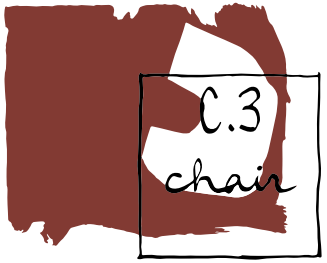
Fig. FC.11. El Modulor

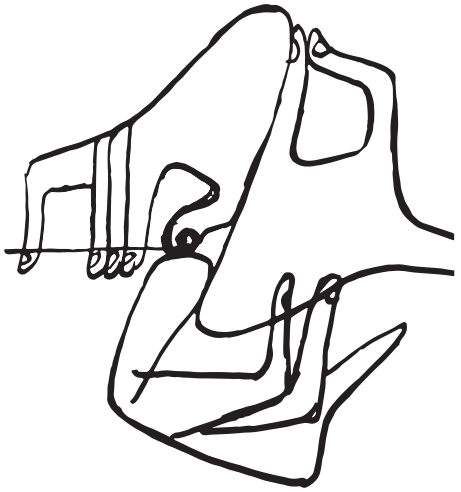
ángulo recto ya no se apoya en el centro del cuadrado "desplazado" sino en el centro del doble cuadrado y en su intersección con el primero da la recta inclinada que establece los triángulos rectángulos de las series azul y roja.

Este trazado es el que aparece en las primeras páginas del Modulor II, pero se le dedica muy poco espacio, dedicando el resto del libro a la búsqueda de relaciones con otros sistemas de medidas y justificando su utilidad universal y transescalar.

En conclusión, con el Modulor, además de desarrollar una herramienta para uso propio, Le Corbusier iba más allá y pretendía establecer un método que pudiera extenderse a todos los ámbitos y personas.

> *De nuevo el Modulor, abre puertas, se dirige a desconocidos y cede la palabra a los usuarios…* (Le Corbusier 1955:138)





C.3. Urbanismo. Grille CIAM (ASCORAL)

En 1947, al final del VI Congreso CIAM en Bridgewater, diez años después del anterior debido a la guerra, Le Corbusier, presidente de la ASCORAL (*Association des Constructeurs pour la Rénovation Architecturale*)[150], propone encargarle a la asociación la realización de una tabla de urbanismo que permita ordenar los estudios relativos a esta materia. La propuesta fue aceptada y en diciembre del mismo año se presentó la "Grille CIAM" que fue adoptada por el Consejo de los CIAM a finales de marzo de 1948 y finalmente refrendada en el VII Congreso CIAM de Bérgamo, 1949 (FLC P2-13-5). Se presentó en un libro formado por 24 páginas en el que se recogían los gráficos y las explicaciones de la información que debía contener cada apartado.

La problemática principal que hizo surgir la propuesta yace en la complejidad geográfica, topográfica, técnica, de circulación, de valor humano, de valor climático, que presenta el desarrollo y planeamiento urbanístico. Su objetivo principal era analizar, sintetizar y presentar las cuestiones de planeamiento (Le Corbusier 1953:40).

150. Asociación de Constructores para una Renovación Arquitectónica

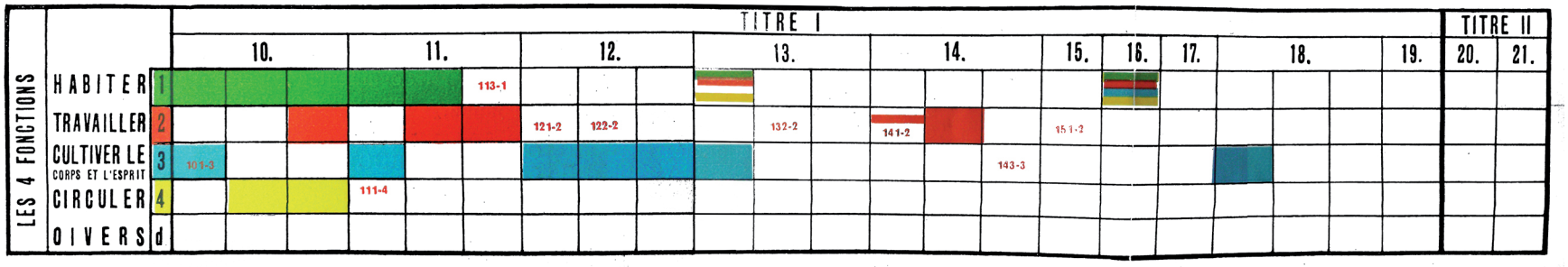


Fig. FC.12. *Grille* CIAM. Modelo vacío, con el código de colores y ejemplos de numeración.

Fig. FC.13. *Grille* CIAM d'urbanisme (1948) ASCORAL, Le Corbusier

> *Il s'agissait donc de trouver un moyen qui supprime la montagne des paperasses, des rapport et des plans innombrables et de format si différents, que encombrent la table de travail comme la table des discussions, et de remplacer tant d'éléments disparates par une visualisation coupant court instantanément aux démarches lentes et inefficaces* (1953:30)[151]

La tabla fue el tema central sobre el que se preparó y presentó el VII Congreso CIAM en Bérgamo, 1949. Durante el mismo se estudiaron planos de más de veinte desarrollos urbanísticos diferentes y según Le Corbusier la discusión resultó de una facilidad extraordinaria. Antes de la celebración del congreso, Sert envía una carta a Le Corbusier el 13 de septiembre de 1948 en la que le dice:

> *Reçu la lettre d'ASCORAL au sujet du travail pour le 7ème congrès… les grilles seront de la plus grande utilité pour le travail d'urbanisme. Et votre coopération et celle d'ASCORAL va remettre les CIAM sur la bonne route et les sortir de l'impasse analytique. Tous les groupes latins se sont alignés de votre côté avec le groupe France.* (Documento de la FLC en (Bonillo 2006:7)

La herramienta estaba compuesta por tres elementos que se grafían y acotan en la Œuvre *Complète* 1946-1952:

151. Traducido por el autor: Se trataba por tanto de encontrar un medio que suprima la montaña de papeles, de informes y de planos incontables y de formatos distintos, que bloqueaban tanto la mesa de trabajo como la de discusión, y de remplazar tantos elementos dispares por una visualización rápida que cortase instantáneamente los procesos lentos e ineficaces.

- La tabla en sí misma. En una hoja formato estándar de 21 x 33 cm.
- El panel de exposición, compuesto por una serie de planchas del mismo formato estándar que la tabla, que contenían ampliada la información de cada casilla de la misma.
- La presentación (un dosier formado por dibujos y memorias escritas) y los anexos.

También se muestran las posibilidades de almacenaje y presentación puesto que una de las funciones principales era la visualización conjunta de toda la información.

En el desarrollo gráfico de la tabla contribuyó particularmente Pierre Faucheux (1924-1997), figura del grafismo francés de postguerra, que trabajó algunos meses en el *atelier* de Le Corbusier durante 1947 y 1948. Entre sus labores, una de las más conocidas, fue el diseño del carnet de socio de la ASCORAL (De Smet 2005:62).

La *Grille CIAM* establece una categorización de las partes de un proyecto urbano en una matriz en la que las cinco filas principales se corresponden con las cuatro funciones humanas (*habiter, travailler, cultiver le corps et l'esprit, circuler*) más una adicional para otra información (*divers*).[152]Las veinticuatro columnas se ordenan en dos apartados; el primero, denominado *Titre: Themes*, es le concerniente a los temas, que realmente suponen el proceso de análisis; el segundo *Titre: Réactions aux themes*, recoge las soluciones y propuestas que responden a los resultados del análisis.

Además de izquierda a derecha la matriz se ordena por escalas de manera que las primeras casillas tienen una escala mayor, territorial y las últimas pueden llegar incluso a definir edificios. Los subapartados del *Titre: Themes* son:

- 10. *Le Milieu* (El medio, 3 columnas)
- 11. *Occupation* du territoire (Ocupación del terrirorio, 3 columnas)

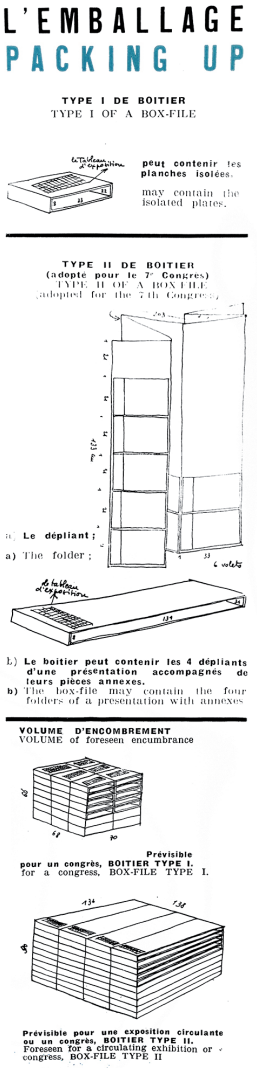


Fig. FC.14. Posibilidades de embalaje de los paneles de exposición de la *Grille* CIAM

152. Las cuatro actividades son: habitar, trabajar, cultivar cuerpo y mente y circular. Fila adicional: diversos

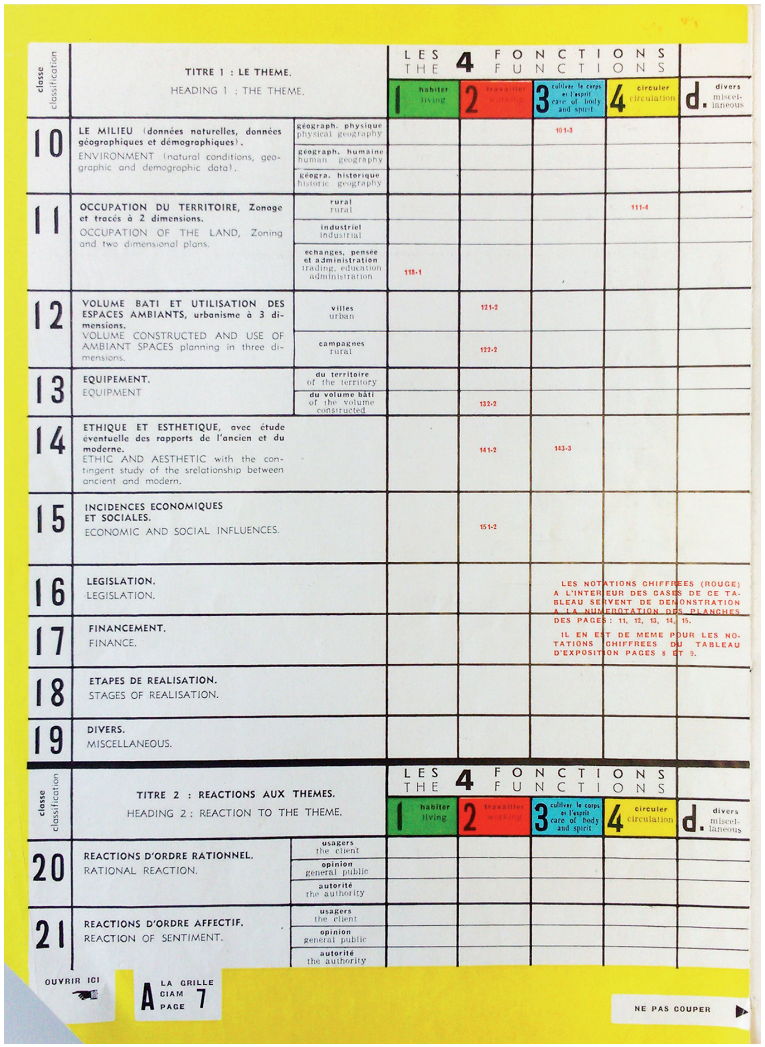


Fig. FC.15. Página explicativa de cada uno de los apartados incluida en la publicación

153. Chevalier fue nombrado, por el Ministro de la Reconstrucción y el Urbanismo, Eugène Claudius-Petit, alcalde de Argel desde el 26 de abril de 1953. Realizó una política de industrialización y construcción de viviendas sociales en edificios de grandes dimensiones en el cuadro de una restructuración del Plan Regional.

- 12. *Volume bâti* (Volumen constuido, 3 columnas)
- 13. *Equipement* (Equipamientos, 3 columnas)
- 14. *Ethique et esthétique* (Ética y estética, 3 columnas)
- 15. *Incidences* économiques *et sociales* (Incidencia económica y social, 1 columna)
- *16* y *17. Législation* (Legislación, 2 columnas)
- 18. *Etapes réalisation* (Etapas de desarrollo, 3 columnas)
- 19. *Divers* (Varios, 1 columna)

Los subapartados del Titre: Réactions aux themes son:

- 20. *Réactions d'ordre rationnel* (Reacción de orden racional, 1 col.)
- 21. *Réactions d'ordre affectif* (Reacciones de orden afectivo, 1 col.)

Si en algún lugar es posible medir el impacto de las teorías urbanas de Le Corbusier y los postulados de los CIAM es en el paisaje argelino. A pesar de que no llegó a construir ningún edificio allí, ni a realizar ningún plan urbanístico concreto, tuvo mucha influencia sobre los arquitectos franceses que trabajaron allí. Los proyectos de *immeubles-viaducts* inspiraron edificios como el *Immeuble-pont* (1952) de Lucien Pierre-Marie o el *Pont-garage du Télemy* (1951) de Louis Tombarel; la *Unité d'habitation* de Marsella sirvió de modelo para el *Aéro-Habitat* (Saulière, 1954), diseñado por Louis Miquel, y que en realidad es una copia idéntica. Destacan proyectos como *Logements pour les musulmans* (Djeman el-Hassan, 1956-58) de Roland Simounet, cuyo parecido al proyecto Roq et Rob de Le Corbusier es indiscutible.

En cuestiones de planeamiento, Jacques Chevalier[153] creó la *Agence du Plan*, en 1954, cuyo objetivo era romper con los planes anteriores e instaurar en Argel un urbanismo "científico" y "apolítico" (Almi 2002:112). Así la agencia se convirtió en una suerte de laboratorio de investigación, a cuyo frente se encontraba Gérald Hanning, que como ya vimos había sido colaborador de Le Corbusier. Recuperó en muchos aspectos sus planteamientos, pero sobre todo estableció

la utilización como herramienta común de trabajo la Grille CIAM de urbanismo. La aplicación literal de la tabla se realizó en trabajos de Simounet (trabajador de la agencia) o por parte de los promotores del Plan de Constantine entre 1958 y 1962 (2002:113).

Otro ejemplo destacable fue el Plan Director de Bogotá que se entregó en el formato de una Grille CIAM y que fue expuesto en las oficinas del ayuntamiento en 1951.

Fig. FC.16. Ejemplo de lámina para incluir en la **Grille** CIAM. Urbanización de La Rochelle-Pallice (1948). Le Corbusier

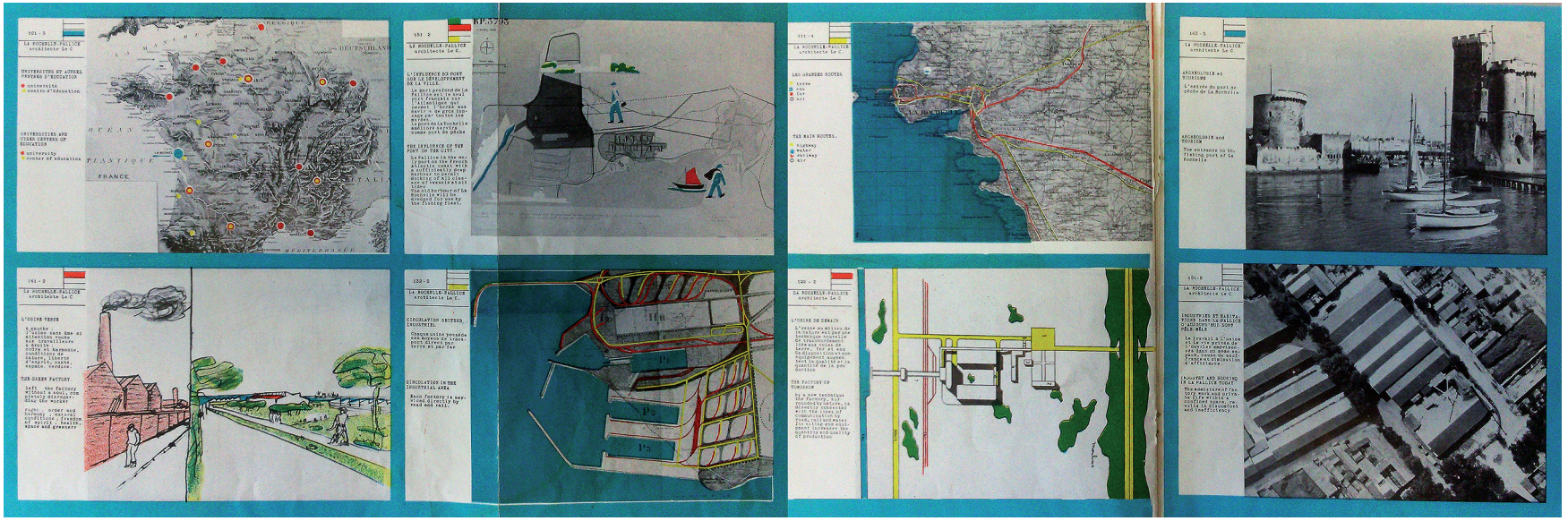


Fig. FC.16. Montaje de diferentes láminas de la actividad 3: Cultivar cuerpo y mente. Urbanización de La Rochelle-Pallice (1948) Le Corbusier

C.4. Urbanismo. Grille des 7V (Vois de circulation)

El sistema de organización de las "vías de circulación" es una consecuencia de las teorías urbanas y de organización territorial de Le Corbusier. Él mismo, en un escrito preparatorio para una carta, fechado 10 de abril de 1952, en la que se dirigirá a Nheru dice:

> *Ces études* (en referencia a la Grille CIAM) *ont abouti à une certaine doctrine d'urbanisme «La Ville Radieuse» dont la dernière manifestation fût la REGLE des 7V (les 7 vois de communication)…*
> FLC P2-13-5[154]

Su utilización se extiende a la lógica de cualquier proyecto de planeamiento y por tanto se supone incluida dentro de la metodología establecida por la Grille CIAM. De hecho son una de las funciones que se representan en las entradas horizontales de la tabla (ver Fig. FC.12 y FC.15).

En la Œuvre *complète* 1946-1952, se explica sólo después de haber hecho un repaso por cuestiones como la organización familiar y social, las actividades

154. Traducido por el autor: Estos estudios han conducido a una cierta doctrina de urbanismo *"La Ville Radieuse"* de la que la última manifestación fue la REGLA de las 7V (las 7 vías de comunicación)…

humanas (*les trois* établissements *humaines, les quatre fonctions*) y con su utilización devienen los nuevos tejidos urbanos (*urbanisme trois dimensions*).

Le Corbusier muestra como el territorio esta "irrigado" por los siete tipos de vía diciendo:

> *Les 7 vois agissant ici, en urbanisme, come agissent en biologie un système sanguin, un système lymphatique, un système respiratoire, etc…En biologie, ces systèmes sont établis rationnellement, fonctionnellement; ils sont différents les uns des autres; il n'y a pas de confusion entre eux; ils sont harmonisés.* (Le Corbusier 1953:82)[155]

La clasificación responde a un sistema de jerarquización en el que cuanto menor es el número de denominación de la vía, mayor es su escala en términos territoriales (no necesariamente reales de ancho y ocupación).

La vía 1 (V1), tiene una escala provincial, conecta unas provincias con otras y atraviesa los campos y atraviesa las ciudades.

La vía 2 (V2), está ideada como vial rápido para vehículos y medios de transporte. Debe tener cada 400 o 800 m aproximadamente, rotondas o cruces a nivel que permitan la conexión con las vías del siguiente nivel. Le Corbusier indica que su diseño corresponde a los ingenieros y que pueden ser trazadas magistralmente rectilíneas o agradablemente sinuosas.

La vía 3 (V3), se denomina de seccionamiento y distribución. Están destinadas a tráfico rodado, pero admiten vehículos ligeros como motocicletas. No están pensadas para albergar ningún tipo de tráfico peatonal, por tanto carecen de aceras y no dan acceso a ningún edificio ni privado ni público a lo largo de su trazado.

La vía 4 (4V), se trata del espacio donde se alberga la vida de las familias y las personas; es la calle con vida por excelencia. Le Corbusier la denomina la "*Grand*

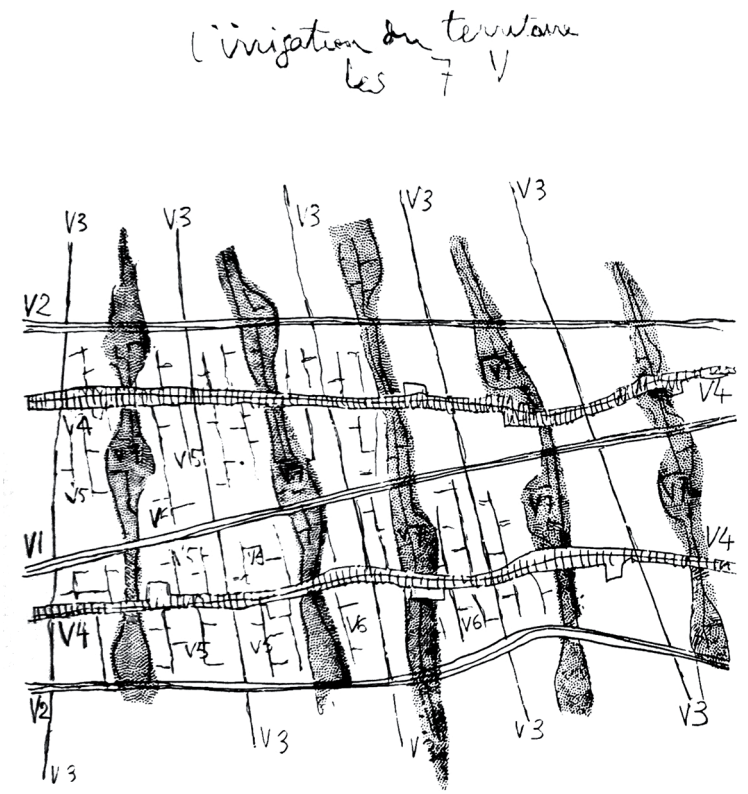


Fig. FC.17. Esquema de las 7V. *L'irrigatioin du territoire.*

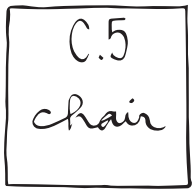
155. Traducido por el autor: Las 7 vías se organizan aquí, en urbanismo, como se organizaría en biología un sistema sanguíneo, un sistema linfático, un sistema respiratorio, etc…En biología, estos sistemas se establecen racionalmente, funcionalmente; son diferentes los unos de los otros; no hay confusión entre ellos; están armonizados.

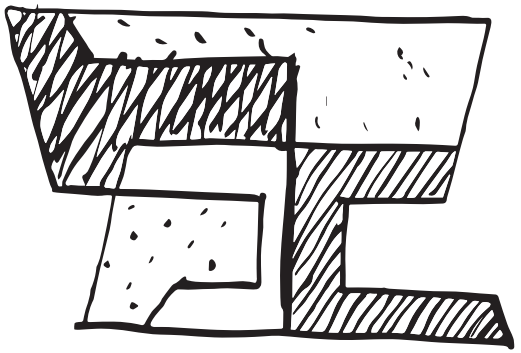
Rue" de la tradición. Debe acomodarse a las trazas existentes en el terreno, caminos antiguos, topografía, etc. Cubren el territorio de una red armoniosa para crear rutas tranquilas, fáciles, muchas veces sinuosas; nacidas del resultado de la interacción del tejido urbano con lo preexistente. Su principal cometido, además de espacio de relación y estancia, es dar acceso a los servicios públicos y dotaciones necesarios en la vida diaria: tiendas, mercados, ocio, sanidad, policía… Admiten tráfico mixto, es decir una conjunción del rodado y el peatonal.

La vía 5 (V5), se accede a ella a través de la V4 y dará acceso al siguiente nivel inferior. Su cometido es la conexión directa con las viviendas, pero indica que "sin llegar a tocarlas", que es función de la ramificación posterior.

La vía 6 (V6), es una vía con doble función, siempre peatonal. Da acceso directo a las viviendas, desde las zonas de aparcamiento hasta la entrada al edificio, pero también entra en esta clasificación la calle interior de las Unités, es decir el pasillo mismo de acceso a las viviendas individuales, así como la calle comercial interior. Es el último nivel de espacio público.

La vía 7 (V7), queda fuera de la jerarquización en el aspecto dimensional. Debe estar vinculada a las V4 y V6, que son las dos únicas vías anteriores que tienen un marcado carácter peatonal y vivencial (de estancia). En definitiva es la vía peatonal verde; conecta los jardines y espacios verdes de grandes dimensiones, así como da acceso a los edificios destinados a la cultura de cuerpo y mente: iglesias, talleres de jóvenes, clubs, edificios deportivos, etc.

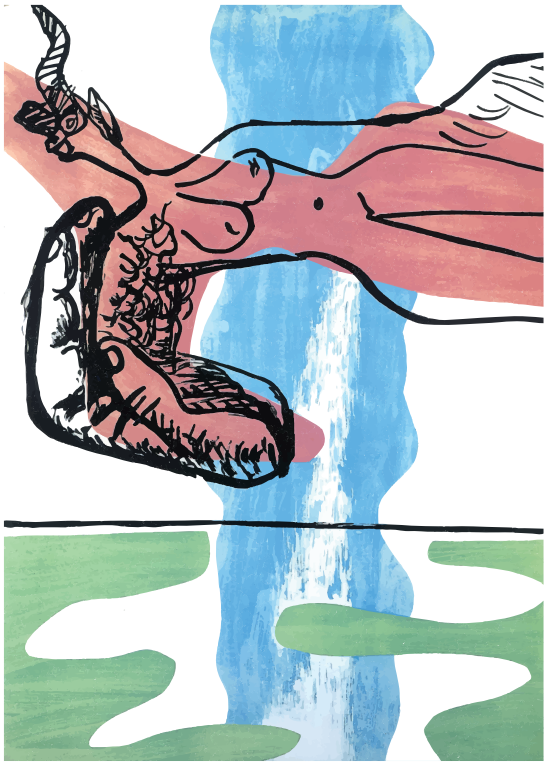




C.5. Urbanismo. Grille d'Arborissation

Consiste en la definición de la tipología de árboles y elemento verde que debían ser usados en el ajardinamiento de Chandigarh. Se ideó antes de que ninguno de los edificios de viviendas que ocuparían la ciudad hubiera sido construido y por tanto constituye la planificación de un elemento que da coherencia al espacio urbano.

El 1 de Agosto de 1952, Le Corbusier hace un envío a Jane Drew que se titula *Arborisation de la Capitale* (FLC P2-2-9). Incluye una explicación del funcionamiento de la Grille d'Arborisation, remarcando que tiene una voluntad expresa de ordenar las vías V3 horizontales y las V3 verticales diferenciándolas mediante la vegetación. También ha tenido en cuenta que por su orientación ortogonal tendrán problemas de deslumbramientos completamente distintos que deben atenderse. Esta misma explicación, más desarrollada, se incluye en la *Œuvre Complète* 1952-1957. También explica que las vías V4 deben tener una "fantasía vívida" y que finalmente a las V7 se les podrá aplicar una gran libertad de diseño al igual que a los espacios verdes de los barrios de viviendas.



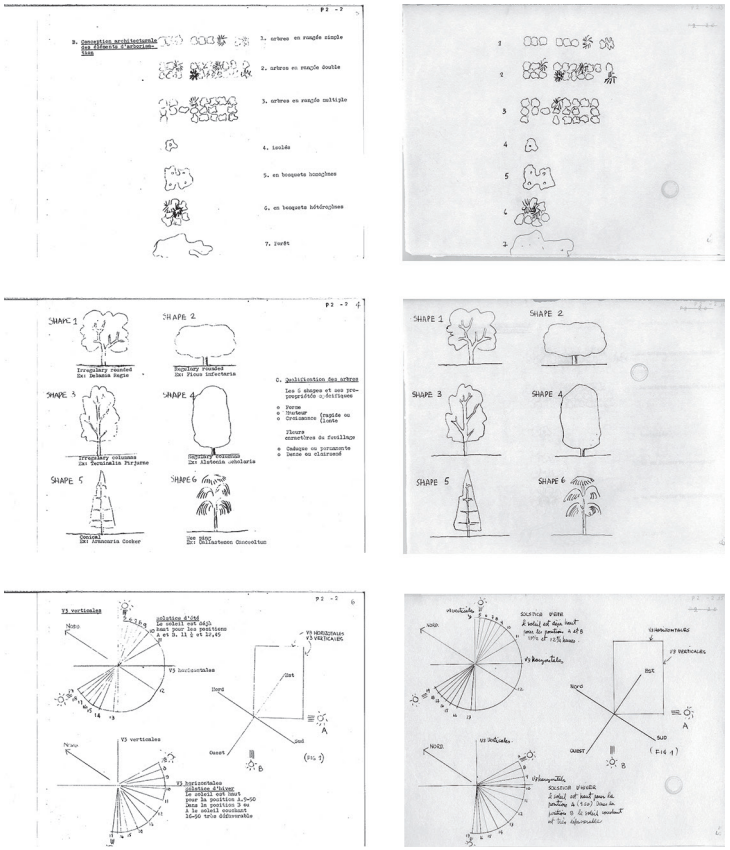


Fig. FC.18. (izq.) Láminas 2, 3 y 4 publicadas en la Œuvre *complète*
(dcha.) Láminas preparatorias de la Grille d'Arborisation (no incluyen algunos textos mecanografiados) FLC P2-2-12-002; 003 y 004

156. Traducido por el autor: …mis indicaciones son exclusivamente un ordenamiento de naturaleza arquitectónica. No soy arboricultor, ni jardinero, sobre todo no soy indio y no quiero intervenir de ninguna manera en la elección de las especies de árboles.

157. Su contenido, en realidad, se encuentra incluido, resumido, en el texto introductorio de la *Grille d'Arborisation* de la Œuvre *complète 1952-1957* (pp. 107 – 113).

En esta misma carta Le Corbusier, (que tiene claro aquí su labor de urbanista más que de arquitecto) indica:

> *…mes indications sont exclusivement une mise en ordre de nature architecturale. Je ne suis ni arboriculteur, ni jardinier, surtout je ne suis pas indien et je ne veux intervenir aucune façon dans le choix des espèces d'arbres.* (FLC P2-2-9)[156]

El escrito se acompaña de diecinueve láminas que son las que se incluyen en la *Œuvre Complète* 1952-1957, a excepción de tres que contienen exclusivamente texto.[157]

Realmente, los equipos técnicos de Chandigarh utilizaron la herramienta para la plantación de árboles. En una carta para Le Corbusier del 14 de mayo de 1953, Prabhawalkar (*Senior Architects' Office*) le indica que la tabla ha sido traducida al inglés, pero que la plancha que mostraba el tratamiento de varios elementos ha sido perdida y por tanto le solicita que en su próximo viaje les lleve una copia nueva (FLC P2-2-1). En base a las instrucciones contenidas en las láminas, el comité directamente organizó la plantación de árboles de toda la ciudad y dibujó los planos minuciosamente. Se estima que hacia 1956, cerca de 27.700 árboles habían sido plantados en Chandigarh.

Muchas de las láminas de la *Grille d'Arborissation* son diseños esquemáticos, conceptuales y genéricos, pero aplicados a la realidad concreta de Chandigarh. En cualquier caso, muchas de las indicaciones que contienen podrían ser válidas para cualquier otra ciudad que conjugara los mismos parámetros urbanísticos. Destacan las láminas numeradas 2 y 3, en las que se realiza una clasificación de las tipologías de elemento verde según su disposición y agrupación o según su forma; al igual que el estudio de las horas en las que el sol produce deslumbramientos para poder evitarlo con los árboles, en la lámina 4.

Fechada el 30 de junio de 1952, existe una tabla denominada *Chandigarh Arborisation, Tableau de Synthese*; dibujada por Samper, en la que, en una

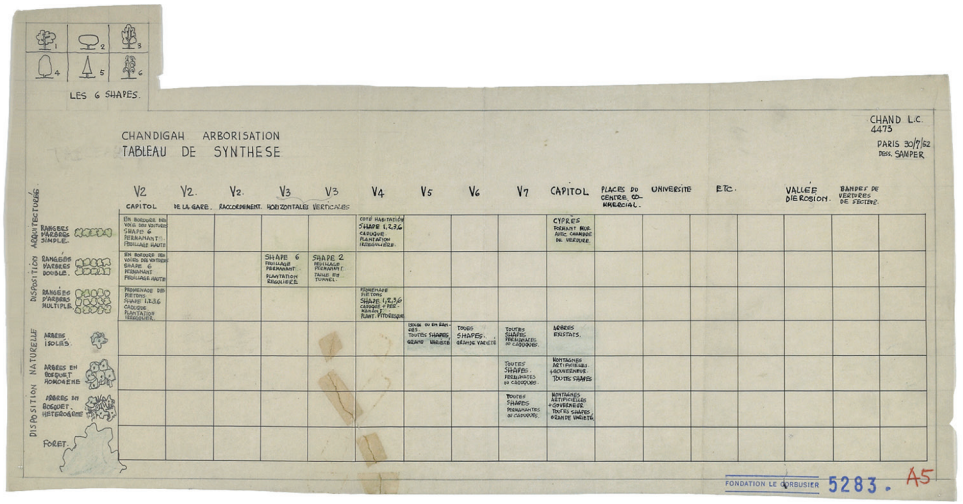


Fig. FC.19. Tabla de clasificación y localización de especies, Chandigarh. FLC 5823

Fig. FC.19. Tabla de clasificación de especies según forma de la copa y coloración de las flores. FLC 5986

clasificación previa, los árboles se encuentran numerados en función de su forma. En la matriz recogida en esta plancha (FLC 5283, Fig. C.19), por un lado, las entradas horizontales corresponden a la clasificación que depende de la disposición del arbolado (*naturelle o arquitecturée*) que se explica en la lámina 9 del documento enviado unos meses antes, FLC P2-2-9. Por el otro, las entradas verticales representan cada uno de los siete tipos de viales (7V), algunos de ellos repetidos según su su especificidad, junto con otros espacios de Chandigarh como el Capitolio, *Place du Centre Commercial, Université, Vallée d'erosion* o *bandes de verdures de secteur*.

Justo cuando los diseños de la *Grille Climatique* ya parecían haberse abandonado, la organización en tabla o matriz vuelve a utilizarse en este caso, al igual que había ocurrido con otras herramientas. Y del mismo modo ocurre en otra tabla realizada el 16 de noviembre de 1953 y revisada por Le Corbusier el 24, en la que diferentes especies arbóreas se organizan según su forma y la

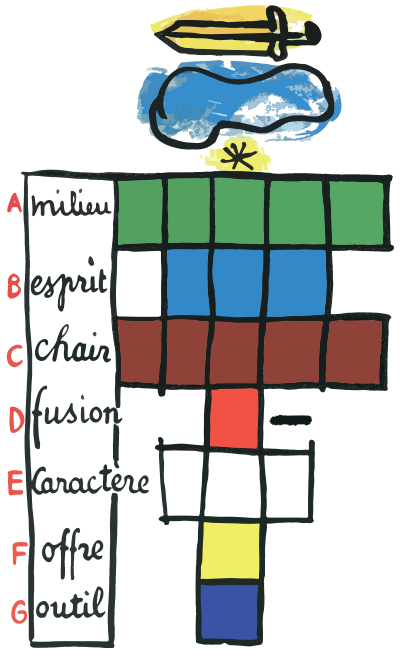
coloración de sus flores. Además del verde en el que se recogen árboles sin floración, se recogen hasta siete colores distintos que albergan en total casi setenta especies diferentes.

Si bien es cierto, el criterio no pareció agradar a todo el mundo puesto que en la Fondation Le Corbusier se guarda un carta enviada por un residente en el 11 del sector 9-A de Chandigarh al arquitecto en la que se queja:

> *It seems to me that there is an over emphasis on flowering trees of a variety which, except for the period of blossoming, do not provide any other advantages [...] we can not look forward to the shady avenues protecting vehicles and pedestrians alike, which we find in other cities.* FLC P2-2-8 [158]

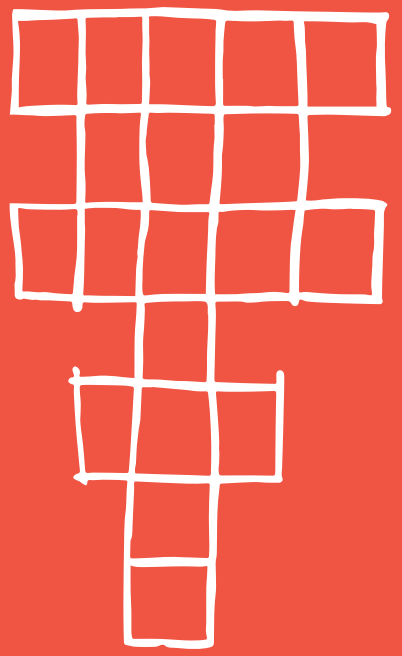
Si Le Corbusier respondió esta carta o hizo algo al respecto no hay evidencia, pero no podemos olvidar que tal y como él había indicado, su cometido principal había sido organizar y estructurar los criterios que debian tenerse en cuenta para definir las especies a utilizar, pero no la elección de las mismas.

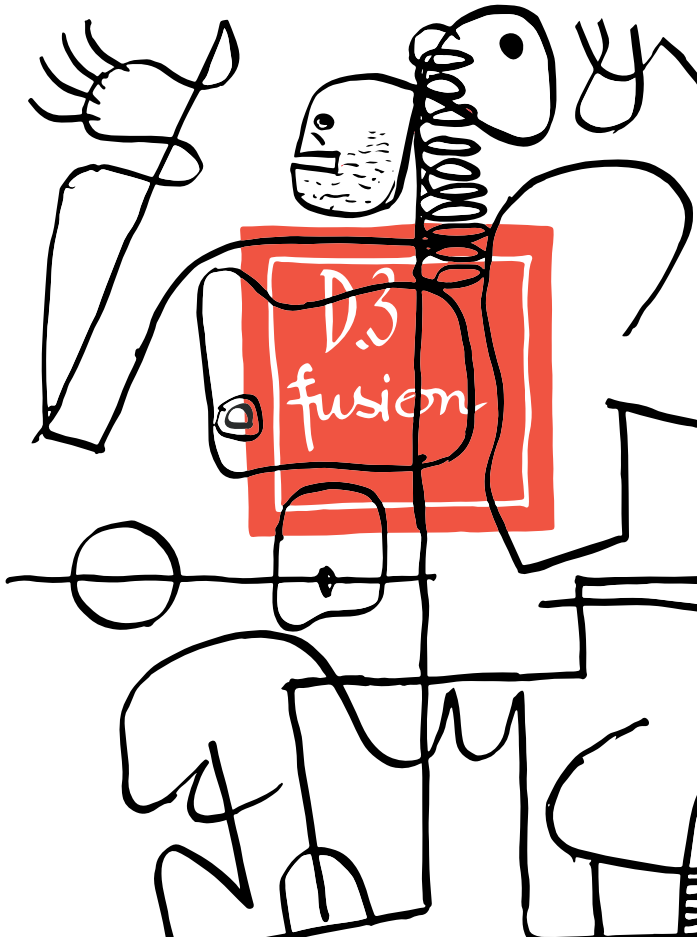
158. Traducido por el autor: Me parece que hay un enfásis exagerado en árboles con flores de una variedad que, excepto en el periodo de floración, no conlleva ninguna otra ventaja [...] no podemos admirar las avenidas con sombra que protege los vehículos y peatones como las que encontramos en otras ciudades.



Cap. D

CAPÍTULO D.
SISTEMATIZACIÓN DE VARIABLES TERMODINÁMICAS
LA GRILLE CLIMATIQUE




D3
fusion

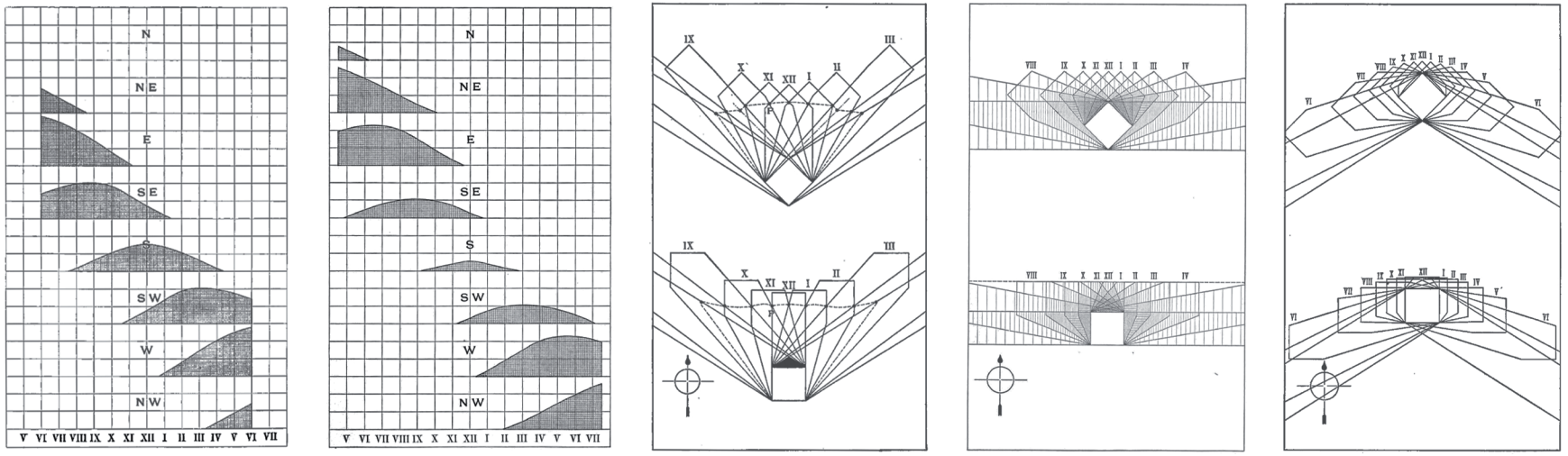
D.3
grille climatique

D.3. La Grille Climatique

D.3.1. **Urbanismo, Arquitectura e Higienismo**

La adaptación climática de un edificio, entendida esta como el confort higrotérmico de sus ocupantes, es una cuestión que afronta Le Corbusier desde el principio. Como veremos, adopta diferentes soluciones a lo largo de su trayectoria, no siempre con los resultados deseables, pero siempre coherentes con su ideal arquitectónico.

Desde mediados del s. XIX y hasta principios del XX surgen las denominadas teorías higienistas en respuesta a la gran cantidad de enfermedades epidémicas aparecidas en las ciudades europeas. Descubrimientos médicos de la época demostraban la influencia del aire y la luz sobre el control de diferentes bacterias y por tanto se plantea el asoleamiento y el aire limpio como factores microbicidas. Desde este momento comienza, en las disciplinas de la arquitectura y el urbanismo, una búsqueda por conseguir la mayor cantidad de sol en los



1 2 3 4 5

Fig. FD.3.01. Figuras extraidas de *The Orientation of buildings or Planning for Sunlight* (Atkinson 1912)

- Diagramas de incidencia solar para una ventana en diferentes orientaciones. Lat.: 42° N

1. Solsticio de verano. Indica: Nótese la poca cantidad que entra por la ventana sur.

2. Equinoccios. Indica: Nótese que la cantidad que entra por la ventana sur es mucho menor que en inverno y mayor que en verano.

- Sombras del cubo. Lat.: 42° N

3. Solsticio de invierno. El área sombreada en la parte inferior nunca recibe luz del sol.

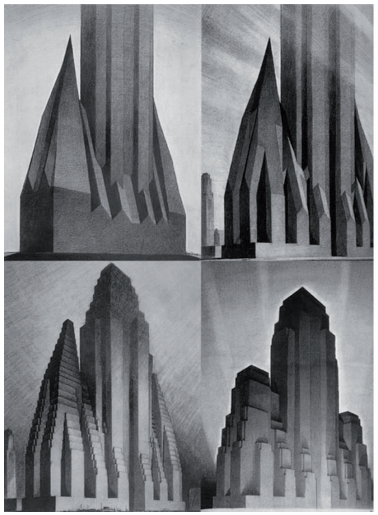
4. Equinoccios de otoño y primavera

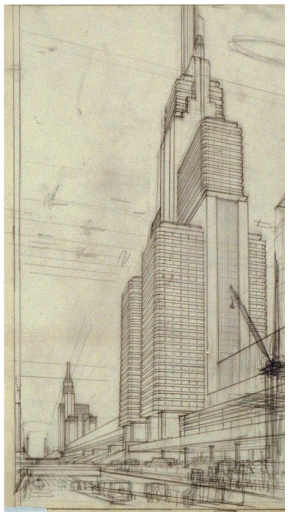
5. Solsticio de verano

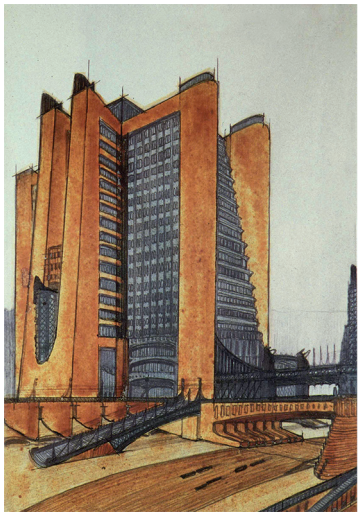
edificios; primero en los hospitales y sanatorios, pero después se extiende a todas las tipologías, fundamentalmente a las viviendas.

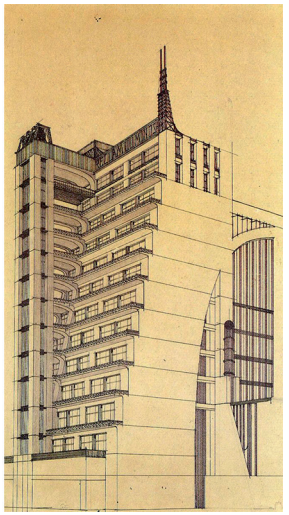
Aunque las evidencias de las bondades de la radiación solar se conocían con certeza desde finales del siglo XIX, los estudios publicados en Francia a finales de la década de 1920 trataban la problemática de manera global y desde un enfoque científico y pragmático por lo que tuvieron mucha repercusión en el ámbito del planeamiento y la arquitectura.

Un poco antes, en 1912, William Atkinson (1862-1932) ya había publicado *The Orientation of Buildings or Designing with the Sun*. Con sus postulados convence a las autoridades de Boston para poner en marcha una normativa, que permita garantizar el acceso solar a todos los edificios, limitando su altura a 2,5 veces la anchura del vial. Desde un acercamiento parecido se redactó la *Zoning Resolution* de Nueva York (1916), aunque en este caso buscaba el acceso solar a los espacios públicos más que a las construcciones. Los volúmenes debían retranquearse


1


2


3


4

5

Fig. FD.3.02. Edificios escalonados

1. y 2. Envolventes téoricas en Nueva York, principios de los años 20. Dibujos de Hugh Ferris (1889-1962) arquitecto y dibujante.

3. y 4. Dibujos de la ciudad del futuro, Antonio Sant'elia. Extraídos de *Manifesto dell'architettura futurista* (1914)

5. Hotel Joël et Jan Martel, Mallet Stevens (1926)

conforme ganaban altura, y el resultado formal de edificios escalonados tuvo mucha dispersión, también en Europa, de lo que existen múltiples ejemplos.

El futurismo italiano, con Antonio Sant'Elia (1888-1916) como su mayor exponente, planteó estaciones, fábricas y edificios de viviendas escalonados. En Francia, Henri Sauvage (1873-1932) utilizo un sistema de escalonamiento que incluso se registró como patente: *Construction à gradins*; sistema utilizado, con un lenguaje más racionalista, por Robert Mallet Stevens (1886-1945) poco después. También Adolf Loos (1870-1933) ideó viviendas unifamiliares y colectivas con este planteamiento.

Otra normativa, *Zeilenbau,* se aplicaba en Alemania desde mediados de la década de los veinte. Así lo atestigua Catherine Bauer en su libro seminal, *Modern Housing* (1934), en el que pone como título a uno de sus apartados "*Heliotropic Housing*". En él comenta como en Alemania se consideraba una

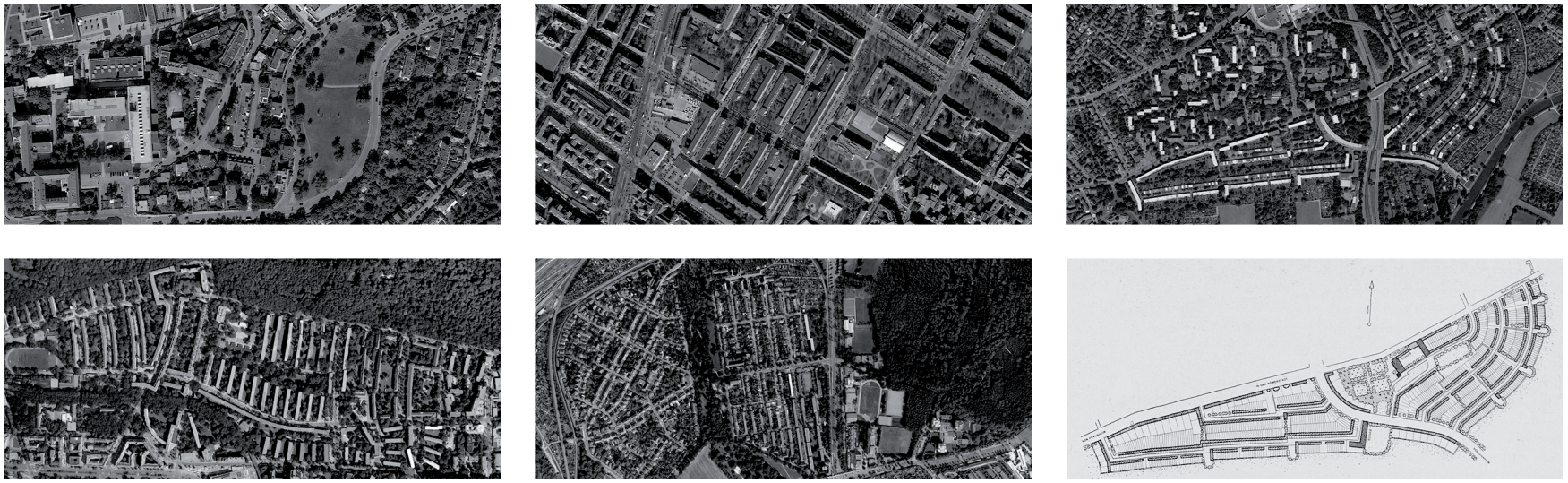
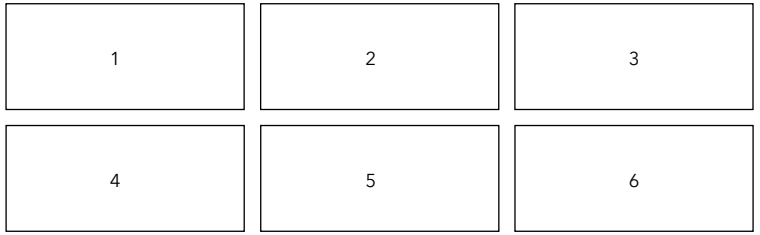


Fig. FD.3.03. Barrios alemanes diseñados según la *Zeilenbau*



1. Weissenhofsiedlung
2. Wohnstadt Carl Legien
3. y 6. Siedlung Westhausen
4. Großsiedlung Siemenstadt
5. Siedlung Dammerstock

regla que todas las viviendas tuvieran dos orientaciones opuestas. También escribió:

> *[El] óptimo científico para la posición geográfica de Frankfurt era un eje longitudinal nornordeste-sursuroeste. Los salones y las cocinas se orientan así hacia el oeste y las habitaciones y baños, en la medida de lo posible, hacia el este.* (Bauer 1934:182)[159]

Ejemplos destacables de la aplicación de la *Zeilenbau* son:

- *Weissenhofseidlung*. Ludwig Mies van der Rohe y otros (Stuttgart, 1927).
- *Wohnstadt Carl Legien*. Bruno Taut y Franz Hillinger (Berlin, 1928-30).
- *Siedlung Westhausen*. Ernst May (Frankfurt, 1929-31).
- *Großsiedlung Siemenstadt*. Martin Wagner, con Hans Scharoun, Walter Gropius, Hugo Häring and others (Berlin, 1929-34).
- *Siedlung Dammerstock*. Walter Gropius y otros (Karlsruhe, 1929).
- *Hellerhof Seidlung*. Mart Stam (Frankfurt, 1929-32).

159. [The] scientific optimum for Frankfurt's geographical position was a row-direction of north-north-west to south-south-east. The living-rooms and kitchens are then put on the west side and the bedrooms and bathrooms, in so far as possible, on the east.

Retomando las publicaciones francesas, en ellas se recogen estudios que reflejan el desplazamiento existente entre las horas de máxima radiación y máxima temperatura. Por este motivo, definen una nueva unidad de medida denominada *valeur héliothermique* que representa el producto de la duración del asoleamiento en un plano por la temperatura media del aire durante este tiempo. Para conseguir el mismo valor heliotérmico en las fachadas, se establece una orientación óptima de los edificios aproximadamente girada 20° respecto del eje norte-sur, coincidiendo con los planteamientos alemanes.

En 1928 Augustin Rey, Justin Pidoux y Charles Barde publican *La science des plan de villes* donde incluyen estas teorías y dan ejemplos de reorganización de barrios, principalmente en París, en base al "eje heliotérmico" (Fig. FD.3.04). Proponen conservar las calles principales, las plazas, los parques y todos los edificios públicos y resituar todos los edificios de viviendas en bloques paralelos orientados según la dirección heliotérmica, suprimiendo los patios cerrados y agrandando la superficie de jardín (Siret, Harzallah 2006:2).

La orientación "óptima"[160] que se estableció, y que fue aceptada ampliamente según las evidencias, también era objeto de controversia en la época. Bauer dice entonces que los estudios de Henry Wright[161] contradecían la práctica alemana (1934:185).

Algo más tarde, en *Tomorrow's House* (1945), George Nelson y Henry N. Wright subrayan la crítica a la orientación establecida en la *Zeilenbau*:

> *…[se suponía que] las estancias del este recibían el sol toda la mañana y las del oeste toda la tarde.*
>
> *Una vez construidos, los propios edificios refutaron una teoría llena de errores. En primer lugar, el coste de caldear estos edificios era excesivo. En segundo, el agradable sol de la mañana variaba con las estaciones. En mitad del verano había cantidad de luz viniendo del este, mientras que en invierno, cuando el sol salía más bien*

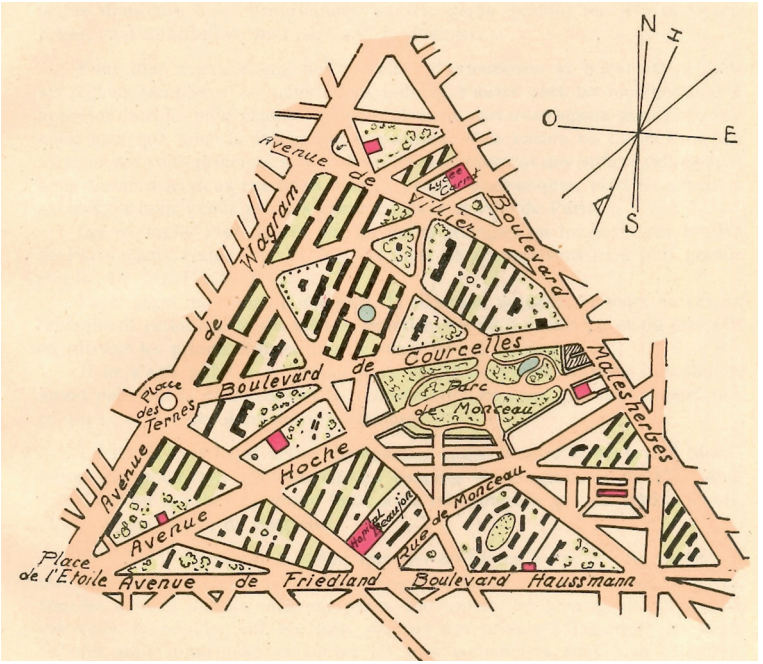


Fig. FD.3.04. Reorganización de un barrio de París según el eje heliotérmico
Fuente: *La science des plans de villes*. (Rey, Pidoux, Barde 1928)

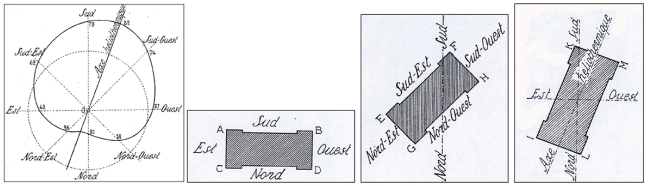


Fig. FD.3.05. Orientación de los edificios según el eje heilotérmico. Fuente: *ibidem.*

160. En realidad, tal y como sabemos en la actualidad mediante evidencia científica, la orientación óptima para obtener un máximo de radiación solar en invierno y poca en verano, buscando un estándar pasivo, en la latitud de las ciudades alemanas es (con pequeñas variaciones) un eje longitudinal del edificio este-oeste, de manera que las fachadas largas den a sur.

161. Probablemente a quién se refería Bauer en su libro era a Henry Wright padre, aunque no hay registro de publicación de sus estudios. Pero debe ser así puesto que Henry N. Wright (hijo) publicó posteriormente a 1934 (año de publicación del libro de Bauer, Modern Housing).

> *cerca del sur, sólo había un corto rato en el que estas habitaciones recibían los dudosos beneficios de su orientación oriental. En tercer lugar, la gente que vivía en las estancias del oeste encontraba que esta orientación era prácticamente intolerable durante todo el año. En el interior se abrasaban en verano debido al sol de la tarde, y la potente luz que entraba con un ángulo muy bajo era incómoda y difícil de atenuar con aleros o lamas* (Nelson, Wright 1945: 157) [162]

Esto se ha podido demostrar posteriormente por lo que el planteamiento del eje heliotérmico es erróneo, ya que no favorece el correcto acceso solar y además no tiene en cuenta las pérdidas de calor, ni la radiación. De hecho las técnicas actuales de estudio solar permiten negar las condiciones planteadas en *La Science des plans de villes* y en la *Zeilenbau*.

> *Respecto a la temperatura, en la fachada oeste de un inmueble orientado exactamente norte-sur, se produce un calentamiento ligeramente superior que en la fachada este. La diferencia es algo sensible en marzo y junio, y prácticamente nula en diciembre.*
>
> *Sin embrago, la orientación heliotérmica no permite regular estas diferencias. Tiende a aumentar sensiblemente la temperatura de la fachada sureste todo el año, especialmente en verano, y a disminuir la de la fachada noroeste, por tanto al final, se acentúa la diferencia entre las dos fachadas la mayoría del tiempo. El eje heliotérmico no permite alcanzar la simetría térmica.* (Harzallah, Siret et al. 2005:4*)*

El que entonces la teoría se considerara como "científicamente óptima" explica el hecho de que Le Corbusier hiciera suyo el precepto del eje heliotérmico como principio fundamental para la orientación de sus propuestas urbanísticas y contribuyera a difundir ampliamente este pensamiento con la publicación de *Urbanisme* (1925) o *La Ville Radieuse* (1933).[163]

A pesar de la aparición de antibióticos, que redujeron significativamente la problemática de las enfermedades relacionadas con la falta de iluminación en el

162. *…the east rooms would get sun all morning and the west rooms would get sun all afternoon.*
Once built, the structures themselves punched the theory full of holes. In the first place, the cost of heating these buildings was excessive. In the second place, the cheerful morning sun varied with the seasons. In midsummer there was plenty of sunlight coming in from the east, while in midwinter, when the sun rose far to the south, there was only a short time in which these rooms received the dubious benefits of their eastern exposure. In the third place, people living in the west rooms found that for most of the year this exposure was practically intolerable. The interiors were blistered in summer by the late afternoon sun, and the strong light coming in at a very low angle was unpleasant and hard to screen out with shades.

163. El principal objetivo en este momento era optimizar el acceso solar en las viviendas, durante todo el año, el ideal higienista, relegando a un segundo plano la cuestión de los sobrecalentamientos en verano que ya eran conocidos.

interior de las viviendas, y del problema de sobrecalentamiento producido por el uso de los nuevos paños de vidrio en las orientaciones indicadas, Le Corbusier continuó utilizando el principio de simetría térmica que buscaba el planteamiento de eje heliotérmico[164] en obras de su etapa más madura como por ejemplo en la *Unité d'habitation* de Marsella (1945), pero introduciendo correcciones externas, como ya veremos, que pretendían mitigar el desequilibrio real.

Los modelos de bloques *à redents* que plantea Le Corbusier en la *Ville Radieuse* (1931) y de bloques de edificios lineales que presenta Gropius en la ponencia del III CIAM (1930)[165] se encuadran en este contexto higienista que vemos. En el esquema que realiza el arquitecto alemán (Fig. FD.3.06), se observa cómo la distancia entre los edificios tiene que ser calculada en relación a la altura para conseguir un correcto asoleamiento y ventilación, así como una densidad adecuada por economía de servicios.

Estos planteamientos critican, en cierto modo, el modelo tradicional de barrios extensivos – aceptados por Garnier y Wright entre otros–aunque no lo excluyen totalmente. Tony Garnier (1869-1948), había publicado en 1917, *Cité industrielle*[166], libro en el que proponía una ciudad organizada según una trama ortogonal que seguía los ejes cardinales, en la que cada zona albergaba usos distintos a los que se adaptaba urbanística y tipológicamente. La altura de la edificación no superaba las dos plantas, con lo que la densidad era muy baja, rompiendo con la tradicional ciudad densa. Además, las zonas residenciales se concebían con tipología de vivienda unifamiliar exclusivamente y la ordenanza que las regulaba garantizaba unas condiciones mínimas de sol, ventilación y zonas verdes (Benevolo 1974:362).

El modelo de ciudad jardín de la *Cité industrielle* permitía ofrecer a cada persona una casa individual aislada, pero fue considerado en los CIAM como excepcional debido al alto coste de los servicios primarios y secundarios y a los obstáculos que se derivaban de la duración de los desplazamientos entre casa y casa, o entre casa y servicios (Benevolo, Melograni et al. 1978:181). En cualquier caso

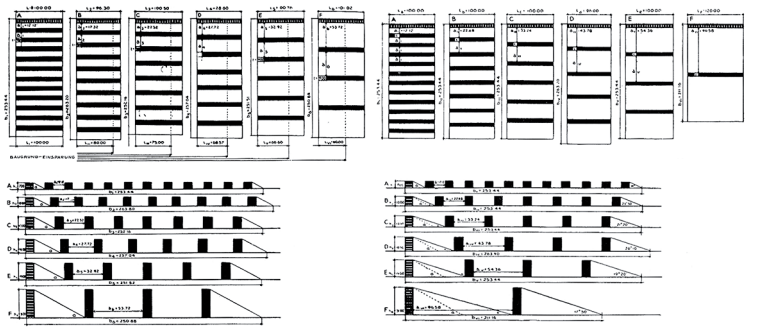


Fig. FD.3.06. Esquema de cálculo altura-separación edificios para un correcto asoleo. Presentado por Gropius en la ponencia del III CIAM (1930)

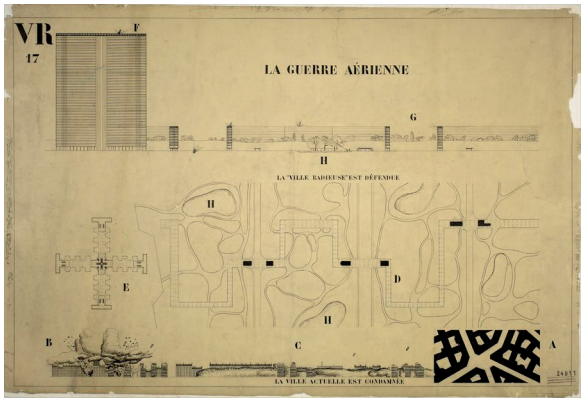


Fig. FD.3.07. *La Ville Radieuse* (1931). FLC 24911

164. Más que eje heliotérmico, podemos decir que la búsqueda de la simetría térmica en las dos fachadas del edificio puesto que orientó sus *Unités* con el eje longitudinal prácticamente coincidente con la dirección norte-sur.

165. CIAM: *Congrès International d'Architecture moderne*
El III CIAM se celebró en Bruselas en 1930, "¿Casas unifamiliares, edificios medios o bloques altos?".

166. La propuesta para la *Cité industrielle* fue realizada en 1904, pero se publicó más tarde.

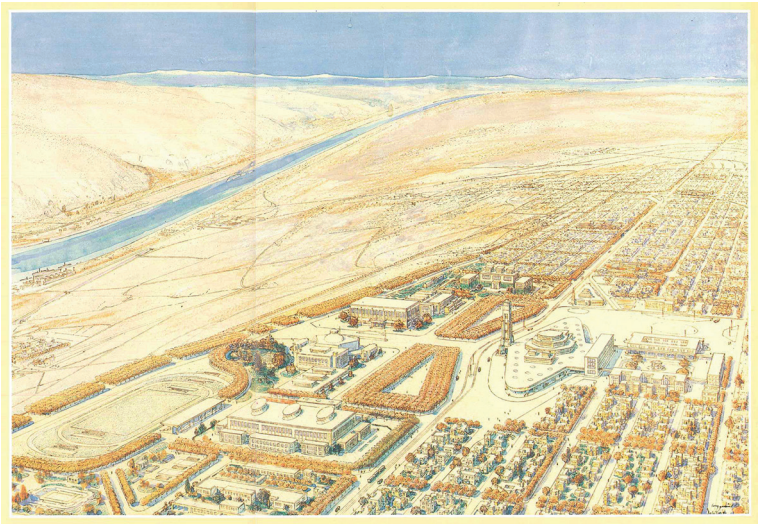


Fig. FD.3.08. Vista aérea *Cité industrielle* . Tony Garnier (1917)

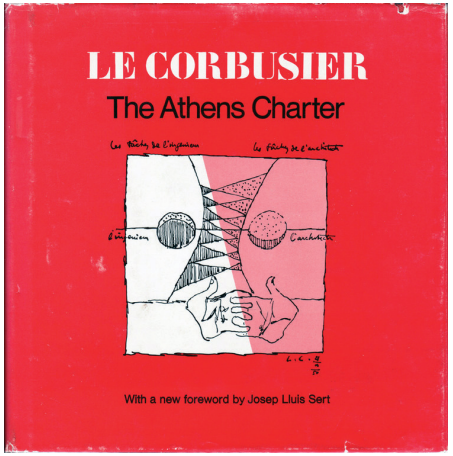


Fig. FD.3.09. Portada de The Athens Charter (La Carta de Atenas, 1934), La imagen corresponde a una edición posterior de 1942.

167. La Carta de Atenas se ideó durante el IV CIAM, celebrado en 1933, cuyo lema era *La ville fonctionnelle*. Fue publicada en 1943 por Le Corbusier, con ayuda de José Lluis Sert y con introducción preliminar de Jean Giraudoux (1882-1944).

mejoraba las condiciones de la manzana decimonónica criticada por Gropius en sus escritos sobre las condiciones que debía tener la vivienda mínima (*minimal-wohnung*) en cuanto a iluminación y ventilación naturales (Aymonino [1971] 1973).

Sin duda, los postulados higienistas en general y de Garnier concretamente influyeron decisivamente en las concepciones urbanísticas del movimiento moderno. A pesar de ello existían discrepancias. Durante el III CIAM, ponentes como Boehm y Kaufmann, en el intento de determinar la altura óptima de los edificios de vivienda colectiva, tema central del congreso, introducen la variable de los costes de ejecución. Someten sus cálculos a la sanción de distintas empresas constructoras de reconocida solvencia destacando el aumento del precio de construcción a medida que aumenta el número de plantas. Pero Gropius se decanta decididamente por el edificio en altura, apoyándose en consideraciones heliotrópicas que, según él, están por encima de cualquier análisis de costes (del Pozo Barajas 2011:131).

Durante el IV CIAM se redactó la *Carta de Atenas* (1933), documento donde los arquitectos participantes recogieron su ideario urbanístico. Está repleta de referencias higienistas[167]. Por ejemplo:

> *Artículo 26. Debe señalarse un número mínimo de horas de exposición al sol para toda vivienda.*
>
> *La ciencia, al estudiar las radiaciones solares, ha descubierto que son indispensables para la salud humana y también que, en ciertos casos, podrían ser perjudiciales para ella. El sol es el señor de la vida. La medicina ha demostrado que donde no entra el sol, se instala la tuberculosis; exige situar de nuevo al individuo, en la medida de lo posible, en "condiciones naturales". En toda vivienda debe penetrar el sol unas horas al día, incluso durante la estación menos favorecida. La sociedad no tolerará que familias enteras se vean privadas de sol y condenadas por ello a languidecer. Todo plano de edificio en el que una sola vivienda se halle orientada*

> *exclusivamente hacia el norte, o privada de sol por las sombras proyectadas sobre ella, será rigurosamente condenado. Hay que exigir de los constructores, un plano que demuestre que durante el solsticio de invierno el sol penetra en todas las viviendas dos horas diarias como mínimo. Sin esto, se negará la licencia de construcción. Introducir el sol es el nuevo y más imperioso deber del arquitecto.*

Se refleja perfectamente, a través de la claridad en las expresiones, la importancia que se le daba a la cuestión; aun así, autores como Anthony Denzer, opinan que llegaba tarde (Denzer 2013). Su planteamiento se hacía una generación después de los primeros sanatorios antituberculosos "tipo Davos"[168], de la publicación de *La cure du Soleil* (1914) y de *L'Heliotherapie* (1923), ambos de Auguste Rolliers[169]; y más de una década después de la construcción del *Zonnestraal sanatorium* (1919) de Jan Duiker (1890-1935) y Bernard Bijvoet (1889-1979) en Hilversum (Holanda). Incluso antes, en 1908, en el Congreso internacional de la tuberculosis en Washington, Augustin Rey había subrayado en su ponencia que la orientación del sol debía guiar a los urbanistas y que era su deber concebir las estancias de manera que todas pudieran recibir asoleamiento directo. Harán falta más de veinte años para que Gropius y Le Corbusier pudieran hacer de este imperativo un apostolado (Harzallah, Siret et al. 2005:8)[170].

En el ámbito americano, Ludwig Hilberseimer, publica *Penetration of Sunlight Into the Room* en 1935. Hace un estudio "cuidadoso y concienzudo"[171] del acceso solar en función de la orientación y establece que las mejores orientaciones (para la latitud 42°) son este, sur o sureste habiendo calculado que reciben prácticamente la misma cantidad de horas de sol a lo largo del año. Pero resalta que no es lo mismo cantidad que calidad; y su investigación arroja que la orientación sur recibe el máximo de radiación en invierno y el mínimo en verano, mientras que la este es justo al revés, lo cual inclina la balanza hacia la primera de ellas (Hilberseimer 1944:85). Introduce todas las recomendaciones en *The New City: Principles of Planning (1944),* libro en el que expone su teoría urbana y de planificación. (Fig. FD.3.12)

Fig. FD.3.10. *Zonestraal Sanatorium* (1908). Jan Duiker y Bernar Bijvoet

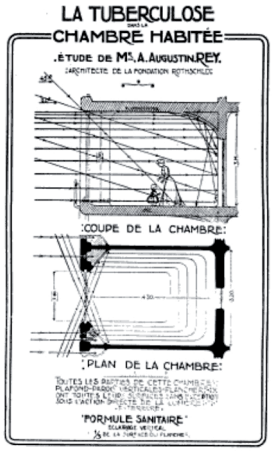


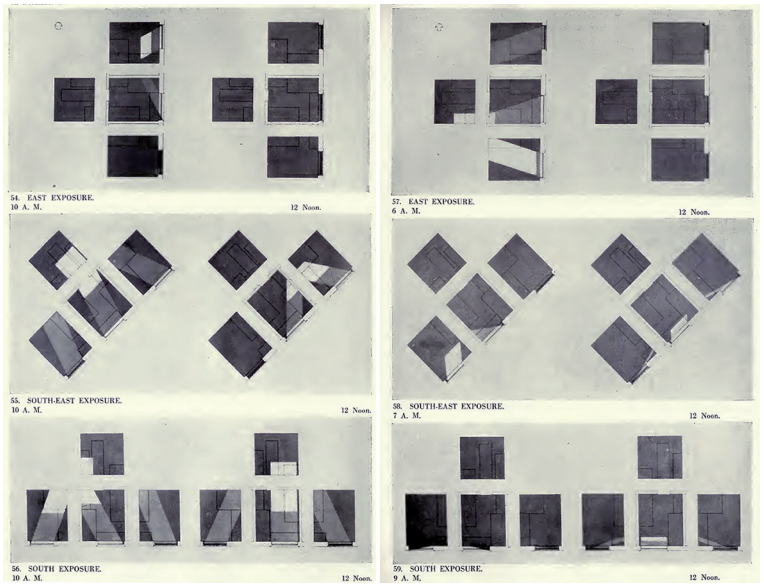
Fig. FD.3.11. Estudios solares para habitación en sanatorio de tuberculosos (1908). Augustin Rey

168. La tipología de los primeros sanatorios construidos se suele denominar "tipo Davos" porque en esta ciudad suiza se realizaba mucha investigación para la cura de la tuberculosis.

169. Primer director de Les Frêres (Leysin, Suiza, 1911) probablemente el primer sanatorio antituberculoso construido específicamente para la "helioterapia".

170. Los autores lo extraen de: Ragon, M., 1972. *Historie mondial de l'architecture et de l'urbanisme modernes, Tome 2, Pratiques et méthodes 1911-1976*. París: Casterman.

171. Él mismo lo define así en The New City: Principles of Planning (1944)



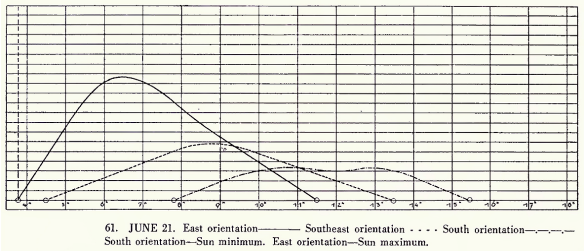


Fig. FD.3.12. Estudios de acceso solar en una habitación tipo para diferentes orientaciones en el solsticio de invierno (21 diciembre, arriba izq.) y en el de verano (21 junio, arriba dcha.) para una latitud: 42º. Diagrama de radiación en el interior para diferentes orientaciones (21 junio, abajo).

Fuente: *The New City: Principles of Planning* (1944). Los dibujos son originarios de su libro, *Penetration of Sunlight Into the Room* de 1935.

172. Texto traducido por el autor: *Le Corbusier est un biologiste non sous l'aspect d'une ponte académique qui connaît les lois de nos relations intimes avec certain microbes, mais sous celui d'un homme que s'est donnée la peine de chercher les grandes lois naturelles – ceux qui conditionnent notre existence sur la planète et que personne n'a le droit de porter atteinte à la douleur de confusion, le désordre, la souffrance, la maladie et la mort. Toute l'œuvre de Le Corbusier tourne autour de cette biologie familière – différente de celles des savants de laboratoire et tellement oubliée des civilisés actuels et qui pourtant devrai régler notre horaire quotidien; garantir nos humeurs…tonifier notre vie spirituelle…*

LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

En el marco de la Bauhaus todavía europea, varios arquitectos continuaron la línea iniciada por Gropius. Hans Meyer (1889-1954), director en el periodo 1928-1930, añadió al discurso teórico la plasticidad de los materiales y también estudió el efecto del sol en el interior de las estancias (Yáñez Parareda 2008:37).

Otros arquitectos del movimiento moderno estudiaron la incidencia solar en sus edificios, pero no llegaron a desarrollar el universo teórico y material que alcanzó Le Corbusier introduciendo cuestiones tan importantes como la ventilación, la presencia de agua o la vegetación como herramientas generadoras de la idea proyectual. En su caso, el paisaje no solo era un constructo teórico con el que se establecía un diálogo poético (como podía pasar con Mies), sino que era un modulador ineludible de la arquitectura como una parte más de un "ecosistema" superior.

> *Le Corbusier es un biólogo no en el sentido de una figura académica que conoce las leyes de nuestras relaciones íntimas con ciertos organismos, sino como un hombre que se ha dado a la tarea de buscar las leyes naturales – aquellas que condicionan nuestra existencia sobre el planeta y que nadie tiene el derecho de transgredir so pena de crear confusión, desorden, sufrimiento, enfermedad o muerte. Toda la obra de Le Corbusier gira entorno de esta biología familiar – diferente de la de los científicos de laboratorio y tan olvidada por la gente civilizada– y que sin embargo debería regular nuestro horario cotidiano; garantizar nuestros humores, tonificar nuestra vida espiritual…*(Winter 1938:14)[172]

D.3.2. Grands travaux (1920-1930)

Volviendo al final de la década de los años 20, en este momento Le Corbusier está interesado principalmente por la estandarización y el taylorismo. Ha conseguido que un fabricante metalúrgico fabrique sus ventanas en serie y sustenta sus posibilidades estilísticas en la combinación de distintos elementos industriales. Pero por otro lado no olvida que:

> *La certidumbre proporcionada por la experiencia es que los hombres que sufren del calor o del frío dan un rendimiento de trabajo inferior y se resienten, se fatigan y se agotan rápidamente.*
> (Le Corbusier 1930:38)

Lo más significativo de los proyectos de esta época es su confianza en la utilización de ciertos sistemas muy novedosos de control térmico. Se concentra en inventar el *mur neutralisant* y utilizar sistemas que permitan una *respiration exacte*. Más que una respuesta estructural, propone soluciones mecánicas, intentando crear edificios *isothermiques* eficaces contra el frío y el calor. Propone técnicas científicas internacionales, que permitan diseñar una sola casa para todos los países, todos los climas, y el sistema que lo permite es la *respiration exacte* (Le Corbusier, Jeaneret 1937:210).

Para llegar hasta este punto hay que pasar por la completa revolución conceptual que había supuesto la posibilidad de la *fênetre en longueur*, gracias a la ausencia de funciones portantes que, ahora, tenían las fachadas y al resto de desarrollo lógico-proyectual que resumen los *cinq points d'une nouvelle architecture*. La ventana se complementó con una serie de soluciones constructivas que resolvían el detalle constructivo –cortinero, bandeja de apoyo, goterón con salida al exterior de las posibles filtraciones y condensaciones, hornacinas para radiadores y hasta, en algunos casos, mecanismos de limpieza (Herreros Guerra, Ábalos Vázquez 1987:70). Pero todavía era un hueco en la envolvente; el paso siguiente fue evolucionar al muro completo de vidrio. Mies van der Rohe (1886-1969) lo planteó por primera vez en el proyecto no construido de Edificio de oficinas de

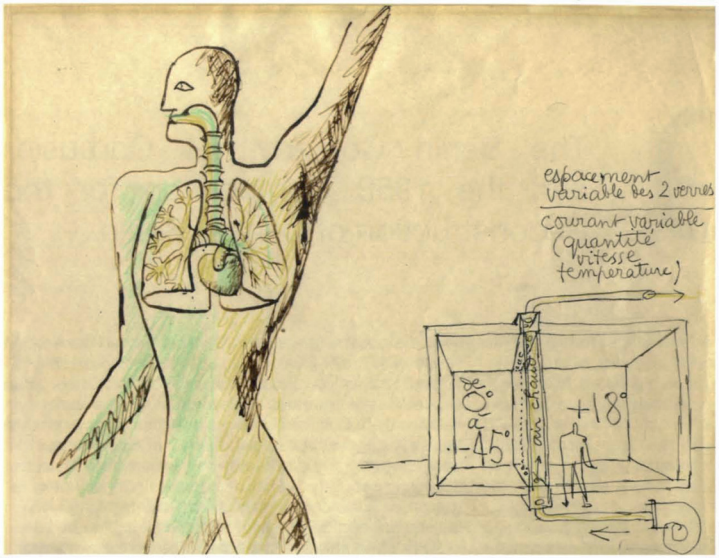


Fig. FD.3.13. Esquema de analogía entre el *mur neutralisant* y la respiración humana. Dibujo de 1928 regalado por Le Corbusier a Teodoro Golzález de León (empezó a trabajar con Le Corbusier en 1947)

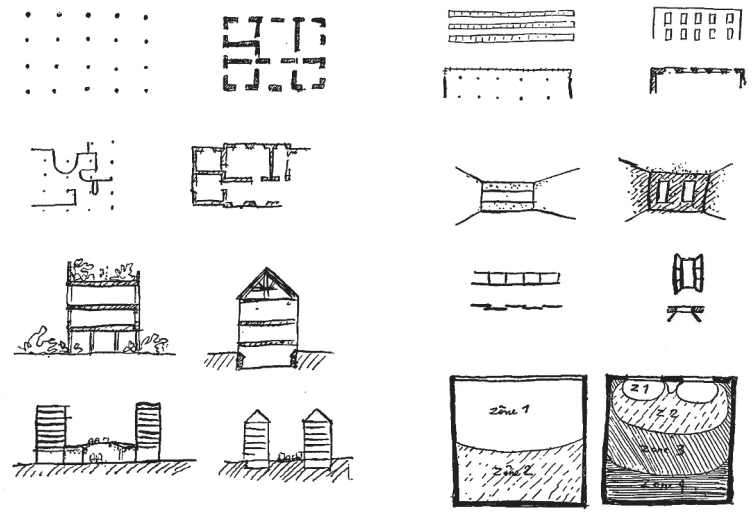


Fig. FD.3.14. Esquemas para *Le cinq point d'une nouvelle architecture.* Le Corbusier, 1926.

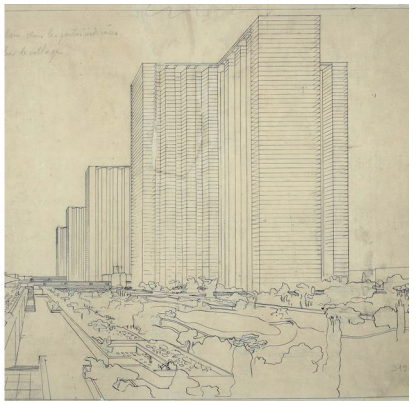


Fig. FD.3.15. (izq.) Edificio de oficinas en la *Friedrichstrasse* (1919-1921). Mies van der Rohe (dcha.) Detalle vista *Plan Voisin*, París (1925). Le Corbusier. FLC 31910

Fig. FD.3.16. Maisons Weissenhofsiedlung, Stutgart (1927) Le Corbusier. FLC/ADAGP Vista del muro acristalado desde el sur.

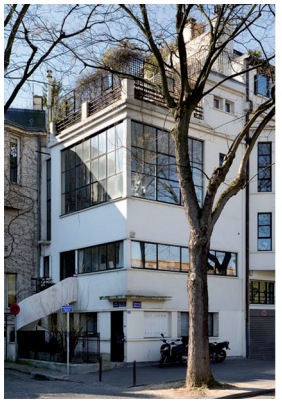


Fig. FD.3.17. (izq.) Maison - Atelier Ozenfant, Paris (1922). Le Corbusier

la *Friedrichstrasse* (1919-1921) en Berlín y Le Corbusier lo trasladó al "rascacielos cartesiano" incluido en sus primeras propuestas urbanas como una trasposición que no iba más allá de lo eminentemente formal.

En la práctica, el maestro suizo ya había utilizado grandes huecos de vidrio, casi paños completos, en las viviendas parisinas diseñadas para artistas: *Atelier Ozenfant* (1922) y *Maisons La Roche-Jeanneret* (1923), siempre orientados a norte, buscando la luz difusa que requería el *atelier* de un pintor. Reyner Banham destaca además que los propietarios de estas viviendas, amantes del arte, habían experimentado anteriormente este tipo de ambientes, indudablemente mal atemperados, y por tanto estaban dispuestos a hacerse cargo de los costos de calefacción que suponían (Banham 1969:152).

Pero a partir de su propuesta para el Weissenhofsiedlung (1927), también según Banham, pierde el sentido común en la orientación de los muros de vidrio (1969:152)[173]. Este hecho debe entenderse bajo el prisma de control racional y sistematización del espacio interior que permitía la nueva tecnología.

173. Si bien, es cierto que Banham lo excusa diciendo, que si estuvieran orientadas a norte mirarían directamente a las dos viviendas que están justo detrás y además no podrían disfrutar de las esplendidas vistas sobre la ciudad de Stuttgart.

En esta época realizó viviendas unifamiliares hito en su obra como la *Villa Savoye* (1928), incluso empezó a modificar su universo material tal y como veremos con la *Villa de Mme. Mandrot* (1929-1930), pero los proyectos (por su idiosincrasia) en los que intentó desarrollar soluciones tecnológicas novedosas en colaboración con ingenieros y grandes empresas del sector son los *grands travaux*.[174]

Durante este periodo (década de los veinte y principios de los treinta), trabaja en el diseño de varios edificios de gran envergadura, entre los que destacan:

El Palacio de la Sociedad de las Naciones. (1927, Ginebra. Proyecto)
Centrosoyus (1929-1930, Moscú. Construido)
Cité de Réfuge (1929-1933, París. Construido)
Pavillon Suisse (1930-1933, París. Construido)
Edificio de Oficinas Rentenanstalt (1933, Zúrich. Proyecto)
Imprenta Draeger (1930, Montrouge. Proyecto)

El Centrosoyus de Moscú –Unión Central de Cooperativas de Consumidores– se presentó como una serie de concursos internacionales encadenados. Le Corbusier se presentó al segundo y tercero, ganando éste último junto a Peter Beherens y tres arquitectos soviéticos. El proyecto definitivo se presentó en enero de 1929, fue revisado entre ese año y el siguiente, cuando se realizó el encargo definitivo.

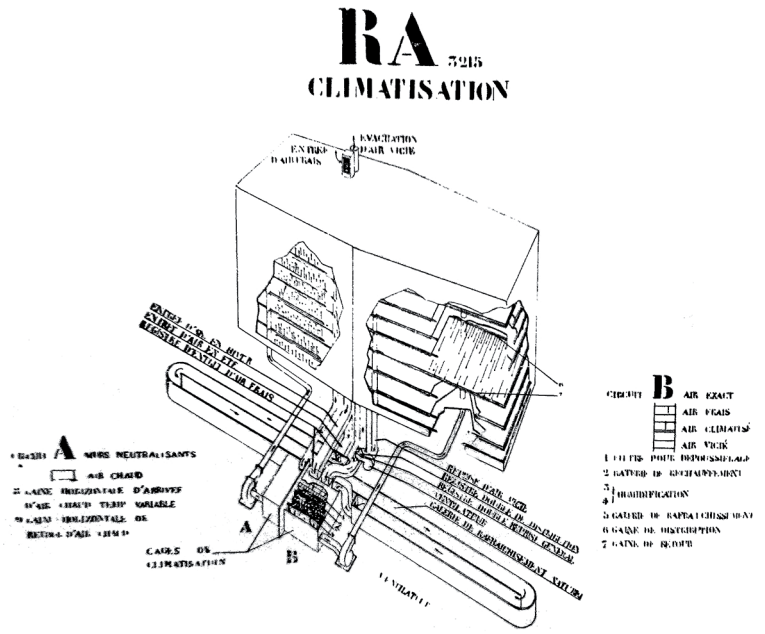
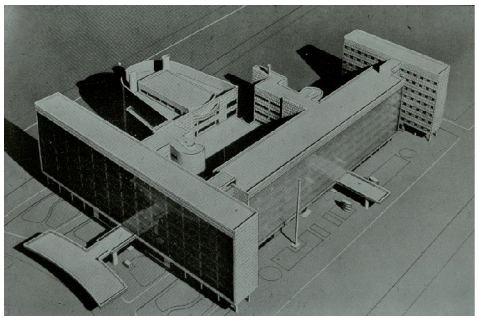


Fig. FD.3.18. Edificio de oficinas Rentenanstalt, Zúrich (1933) Le Corbusier. Axonometría esquemática del sistema de climatización.

174. Le Corbusier utilizó el término *L'ere des grands travaux* en una conferencia en Alger en 1934. También en *Vers une architecture*, p.261. Tim Benton escribió un ensayo denominado "The Era of The Great Projects" en *Century*, pp.164-199. En todos los casos se refieren a los grandes edificios de la década de los veinte y principios de los treinta.



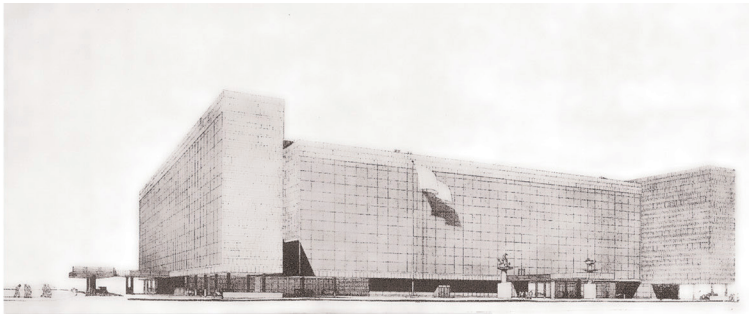


Fig. FD.3.19. Maison du Centrosoyus, Moscú (1929-1930) Le Corbusier. Maqueta - Vista a pie de calle - Perspectiva

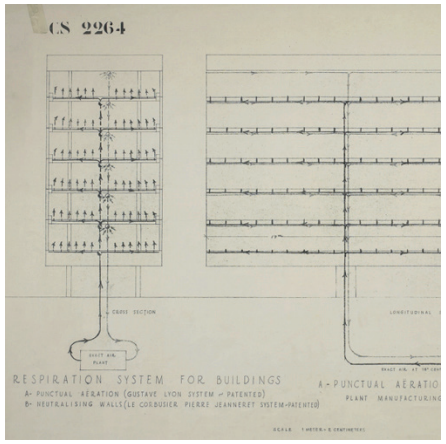


Fig. FD.3.20. Esquema sistema de ventilación respiration exacte. Centrosoyus, Moscú. FLC 15720

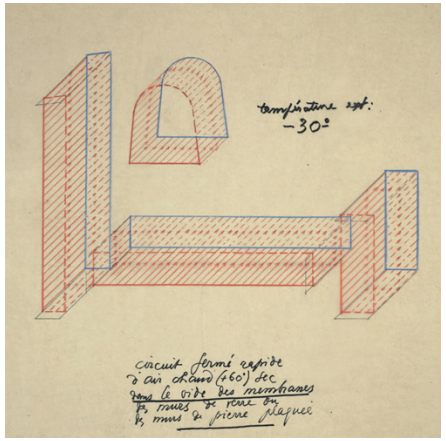


Fig. FD.3.21. Esquema sistema de ventilación respiration exacte. Centrosoyus, Moscú. FLC 15781

175. Un sistema parecido al *mur neutralisant* fue implementado anteriormente en el gran hueco acristalado de la sala de estar volcado al paisaje de la Villa Schwob (1923). Por el interior de la cámara de aire del doble vidrio discurrían las tuberías de calefacción, así además de calentar el edificio evitaban condensaciones y corrientes de convección en invierno (Frampton 2001:16) y (Banham 1969:159-159)

176. A principios del siglo XX, se consideraba como temperatura de confort para interiores 18°C.

Este mismo año (1930) se realiza la axonometría donde representa el *"Mur Neutralisant. Système LC-PJ»* y el sistema de *"l'Aération Ponctuelle. Système Gustave Lyon"*. El *mur neutralisant* es un sistema de atemperamiento del interior del edificio consistente en la impulsión de aire seco en el interior de la cámara estanca del doble acristalamiento del *pan de verre* (paño de vidrio) y también en el resto de cerramientos que eran de 40 cm de espesor y estaban aplacados de piedra Arkik del Cáucaso, que tiene buenas propiedades aislantes. Este aire se climatizaría: frío, en verano, y caliente, en invierno; mediante intercambiadores de calor, actuando como aislamiento activo.[175]

Para el correcto funcionamiento del sistema, el edificio tenía que ser completamente estanco, por lo que se planteó el *air exacte*, basado en la *aération ponctuelle* de Gustave Lyon (1857-1936) para garantizar la renovación de aire interior. Consistía en la impulsión mecánica de 80 l/persona de aire puro a 18°C[176], del que parte se obtenía por recuperación dentro de circuito cerrado para control térmico y el resto se añadía tomándolo del exterior.

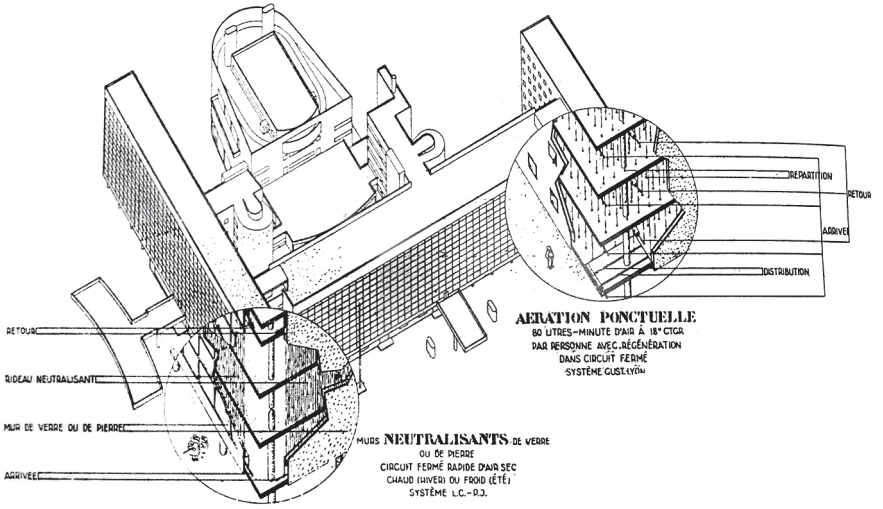


Fig. FD.3.22. Axonometría. Mur neutralisant- Aération punctuelle. Centrosoyus, Moscú. FLC 15690

Finalmente estos sistemas no se utilizaron debido a la desconfianza de las autoridades soviéticas. Le Corbusier busca el apoyo técnico de la *American Blower Corporation* y pese a las buenas intenciones iniciales por parte de esta, el informe final insistía en los elevados costes de funcionamiento y mantenimiento del sistema y sobre la necesidad mucho mayor de refrigeración que de calefacción. También se incidía sobre la escasa renovación de aire en el interior de los locales con el sistema propuesto. Incluso durante la obra, la empresa francesa de vidrios Sant-Gobain, bajo la dirección de Gustave Lyon, realizó estudios en el laboratorio pero de nada sirvió y el sistema no fue finalmente introducido en el edificio.[177]

El proyecto que mejor ilustra la cuestión de su confianza en la técnica es sin duda la *Cité de Refuge de L'Armée du Salut*, construido en París entre 1930 y 1933[178].

> *Habiamos estado buscando una oportunidad –y vino: el asilo del Ejército de Salvación Cité de Refuge. Seiscientas pobres almas, hombres y mujeres, vivirían ahí. Les regalamos la inefable alegría de la plena luz del sol. Mil metros cuadrados de vidrio iluminaban cada habitación, desde el suelo al techo, de pared a pared…el vidrio estaba herméticamente sellado, porque aire caldeado y filtrado circula constantemente en el interior, controlado por los calefactores y los ventiladores.* (Le Corbusier [1937] 1958:39)

La afirmación de que el sistema de aire impulsado estaba dando resultados perfectos en invierno y ampliamente satisfactorios en verano no se correspondía con la realidad, pero sí coincidía con la voluntad ideal de hacer de la residencia una fábrica de bienestar (Torres Cueco 2004:147).

Esta construcción que es, en cualquier caso, ejemplar por su modernidad, presenta el plano de vidrio, orientado hacia el sureste. Le Corbusier, justifica esta orientación por las ganancias de calor en invierno, planificando contrarrestar el exceso de calor en verano mediante un sistema de acondicionamiento del aire (*air exacte*) y con la solución original de enfriamiento por circulación de aire

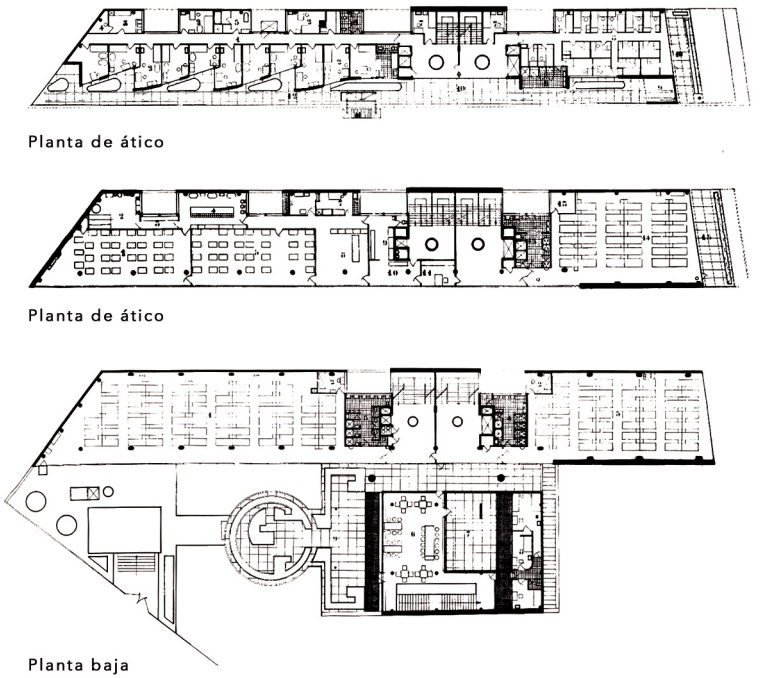


Fig. FD.3.23. Cité de Refuge, París (1930-1931). Le Corbusier

177. Los estudios demostraban que era necesaria una tercera hoja de vidrio que generara una cámara de aire sin movimientos de convección para mejorar el aislamiento. Ensayos publicados en AAVV, 1932, p.16.

178. El encargo se hizo en 1929. El edifico se inauguró el 7 de diciembre de 1933.

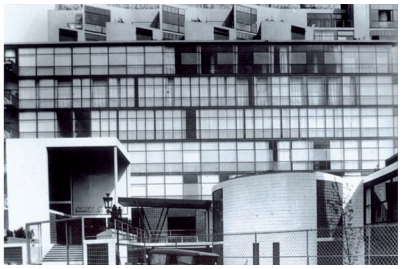


Fig. FD.3.24. Vistas *Cité de Refuge*, antes de la primera modificación de la fachada en la que se añadieron ventanas practicables.

Fig. FD.3.25. Vista *Cité de Refuge*, imagen actual con la reparación de la fachada efectuada después de la guerra en la que además se añadieron los *brise-soleil*.

dentro del doble vidrio de la fachada (*mur neutralisant*). Diferentes dificultades técnicas y principalmente económicas hacen que se tome la decisión de no introducir completamente en obra estos dispositivos, justo cuando ya se había montado la carpintería para vidrios fijos. El *mur neutralisant* se eliminó completamente y el *air exacte* quedó reducido a un sistema de ventilación convencional.

Le Corbusier advierte en la *Œuvre Complète*:

> *…un vidrio orientado a sur es una fuente de calorías inestimable y permite un gran ahorro tanto en la instalación de sistemas de calefacción como en el consumo de estos. El paño de vidrio, por el contrario, es peligroso en verano si los métodos nombrados de respiration exacte o air vivant no se aplican…*(Le Corbusier, Jeaneret 1934:101)

Hay que resaltar que los conocimientos físicos del momento parecen ser insuficientes para construir los dispositivos ideados por el arquitecto. Y tal y como era de esperar los interiores del edificio, aunque en invierno no eran malos, en verano se hacían invivibles, mayormente en los días calurosos, en los que se alcanzaban temperaturas superiores a los 30ºC[179].

Después de un periplo judicial en el que Le Corbusier, no sin ayuda política y técnica, intentó justificar lo que la realidad refutaba, fue condenado a la introducción de medidas correctoras para paliar el exceso de radiación interior y la falta de ventilación. Inicialmente se practicaron aberturas en el muro cortina, denominadas por el arquitecto *fenêtres d'illusion* ya que seguía negando su necesidad, pero la mejora de las condiciones ambientales fue palpable (Banham 1969:172). Finalmente entre 1949 y 1951, debido a que en los bombardeos de la segunda guerra mundial la carpintería había quedado muy estropeada, se aprovechó la intervención para revestir el edificio con una piel de *brise-soleil* de hormigón.

179. Al inaugurarse el edificio en invierno, inicialmente no hubo problemas térmicos pero ya desde ese momento se atestiguaron problemas de renovación de aire interior.

Otro proyecto de esta época es el *Pavillon Suisse* (1930-1933) de la *Cité International Universitaire de Paris*. Es probable que el solar de la *Cité de Refuge* le hubiera dejado poca capacidad de maniobra en la orientación del bloque de habitaciones; pero en este edificio, cuando se iniciaron los estudios preliminares no existían otros edificios excesivamente cercanos y el área era lo suficientemente grande como para aceptar otras disposiciones (Banham 1969:153). Por ello se deduce que la orientación de la fachada de las habitaciones del edificio, prácticamente suroeste (30° desde el sur) fue decidida libremente. En realidad es probable que pretendiera respetar una posible alineación al bulevar que discurre paralelo y que en la época ya estaba planificado tal y como demuestran los planos de proyecto (Fig. FD.3.26). Porque, obviamente, los dos edificios adolecían de problemas similares de sobrecalentamiento, pero su orientación es ciertamente diferente, prácticamente simétrica respecto al eje norte-sur. (Fig. FD.3.27).

Con un presupuesto menos ajustado, en este edificio fueron posibles nuevas propuestas estructurales, tanto en hormigón (pies derechos y losa) como en acero (toda la estructura superior), así como en aislamiento acústico – las particiones de entramado ligero entre habitaciones tenían en su interior láminas suspendidas de plomo—y también en prefabricación de carpinterías.

La fachada, era completamente acristalada, casi imperceptible desde el interior puesto que coincidía con el frente de los forjados y de las particiones, a excepción de una ventana corredera que iba prácticamente de lado a lado de la habitación[180]. En 1926, en una conferencia decía:

> *Pero ahora una casa puede construirse con pilares de hormigón armado…dejando el espacio intermedio completamente vacío… ¿Sería bueno, pregunto, llenar ese espacio otra vez, cuando me ha sido dado vacío?*[181]

En el *Pavillon Suisse*, los problemas de sobrecalentamiento también se hicieron palpables rápidamente, por eso finalmente, en respuesta a la insistencia del

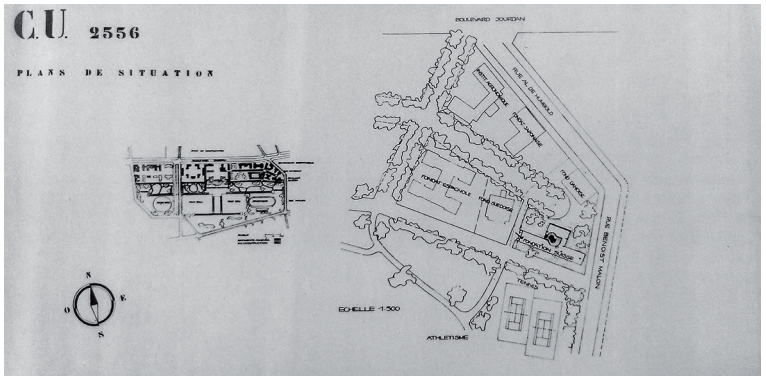


Fig. FD.3.26. *Pavillon Suisse*. Plano de situación. Primera versión, 14 de enero de 1931.

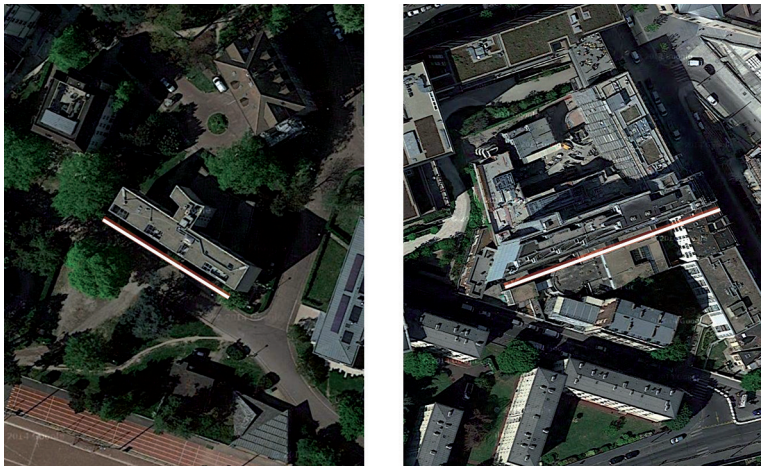


Fig. FD.3.27. Comparativa orientación. *Pavillon Suisse - Cité de Refuge*

180. Realmente las hojas de la ventana no ocupan todo el ancho posible sino que dejan una franja vertical lateral fija que alterna de lado en cada planta. Este diseño de la carpintería que genera un juego vibrante se contemplaba desde los primeros diseños.

181. Texto de una conferencia en la Sorbona, en 1926. Extraído de *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 23, 1926 en (Banham 1969:154)

Fig. FD.3.28. *Pavillon Suisse,* París (1930-1933). Postal con vista de estado original

Fig. FD.3.29. (izq.) *Immeuble Clarté,* Ginebra (1930). (dcha.) *Immeuble Molitor*, París (1932)

director, Le Corbusier acabó añadiendo unas cortinas gruesas, que aminoraban la entrada directa de luz pero que, al encontrarse en el interior, no evitaban la entrada de radiación a través del cristal y por tanto el exceso de calor. En las reparaciones posteriores a la guerra (1949)[182], inicialmente se atendió a lo más urgente: reposición y reparación de piedras del aplacado y reparaciones de las carpinterías y elementos metálicos con problemas graves de oxidación, instalaciones interiores, reposición del mural del *salón courbe* y dotación de mobiliario nuevo. Desde este momento, comienza un largo y complicado proceso marcado por los problemas económicos y diplomáticos que retrasaron la completa restauración del edificio hasta mediados de 1957. Fue entonces cuando se sustituyó completamente el muro cortina y se añadieron las protecciones solares de lamillas metálicas dándole al edificio el aspecto que tiene hoy en día.

En este mismo periodo, aunque no pertenecen estrictamente a los *grands travaux*, desarrolla los proyectos del *Immeuble Clarté* (Ginebra, 1930) e *Immeuble Molitor* (*Immeuble 24 rue Nungesser et* Coli, París, 1932). A ellos se refiere en la obra completa, en *Les problèmes de l'ensoleillement*. Del segundo indica que, teniendo una fachada enteramente de cristal, sabía que iba a hacer calor en el interior, durante la canícula, pero que en ese periodo los parisinos están de vacaciones (Le Corbusier, Jeaneret 1950:109), suponiendo que estarán en otra segunda residencia o de viaje. Los toldos[183] que tan bien funcionan en el edificio suizo (junto con el efecto de los voladizos de los balcones), fueron eliminados conscientemente, en este caso, y colocados al interior, para evitar que se caricaturizara el *pan de verre* por una obturación puramente accidental. Se pretendía que el *pan de verre* verdaderamente existiera, intacto, propio y de buenas proporciones (Le Corbusier, Jeaneret 1950:104).

182. La CIUP (*Cité Internationale Universitaire de Paris*) fue ocupada por las tropas alemanas de 1941 a 1946. En otoño de 1943, las calderas de fuel de todos los edificios se cambiaron por calderas de carbón que era mucho más barato. Durante la instalación, una conexión se realizó mal y la caldera estuvo vertiendo agua al subsuelo (más de 7.000 litros en un corto periodo de tiempo) produciendo un lavado del sustrato que afectó a la cimentación del bloque de planta baja. En la reparación que se realizó en ese momento intervinieron Le Corbusier y las empresas constructoras originales del edificio.

183. Los toldos eran para Le Corbusier un elemento atectónico demasiado influyente sobre la imagen del edificio que solo él quería controlar.

D.3.3. Evolución a través de la vivienda unifamiliar. De la machine à habiter a la coquille de l'escargot

El mismo discurso de los edificios de gran envergadura, se puede repetir para las viviendas que diseñó y construyó Le Corbusier en el primer periodo y que se concebieron desde el precepto de la *machine à habiter*.

Al igual que todos los proyectos pensados a partir del sistema de *respiration exacte* adolecieron de problemas de inadecuación térmica interior, las primeras villas puristas estaban marcadas por un envejecimiento prematuro relacionado con múltiples problemas de humedades a causa de las deficientes impermeabilizaciones, la deficiente solución de cubiertas planas o incluso las condensaciones interiores.

Por ejemplo la *Villa en Vaucresson* (1922), ocho años después de su conclusión resultaba irreconocible por su degradación y la *Villa Savoye* (1928) permanecía prácticamente deshabitada. Las quejas de Mme. Savoye son bien conocidas:

> *Llueve en el hall, llueve en la rampa y el muro del garaje está completamente mojado. Además, llueve en mi cuarto de baño, que se inunda a cada chaparrón.*[184]

El mismo Le Corbusier afirmaba en *Vers une architecture* que:

> *…los primeros efectos de la revolución industrial en la construcción se manifiestan mediante esta etapa primordial: el reemplazo de los materiales naturales por los materiales artificiales, de los materiales heterogéneos y dudosos por los materiales homogéneos y probados con ensayos de laboratorio y producidos con elementos fijos. El material fijo debe reemplazar el material natural, variable hasta el infinito.* (Le Corbusier [1922] 1977:192)

Así, expresaba su confianza en las tecnologías, ya que en todos los dominios de la industria se habían planteado problemas nuevos y se habían creado las herramientas capaces de resolverlos ([1922] 1977:228). Pero, toda la

Fig. FD.3.30. *Villa Savoye*, Poissy (1928). Fotografía del estado actual de la vivienda

Fig. FD.3.31. *Villa Savoye*, Poissy (1928). Fotografías del estado de la vivienda en 1965, a pesar del grave deterioro, la vivienda se encontraba razonablemente bien para el abandono y maltrato al que había sido sometida.

184. Documento FLC 313, 7 de Septiembre de 1937. Extraída de (Torres Cueco 2004:169)

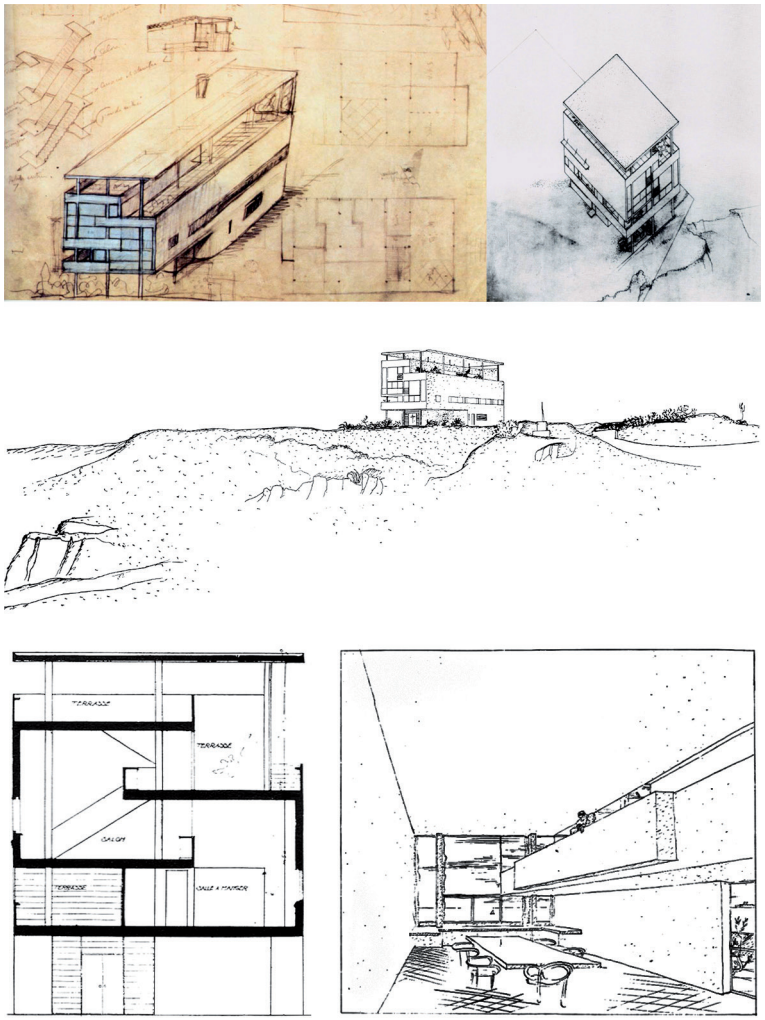


Fig. FD.3.32. Villa Baizeau, primer proyecto 1928.

185. Este elemento es importante puesto que en Marzo de 1951, justo cuando recibe el encargo de la Villa Shodhan, Le Corbuiser hace explícita referencia al "techo para Baizeau, Túnez" en uno de sus *Carnets*. Además aparece en otros proyectos suyos de la India como las Maisons des Péons (1950, Chandigarh) y el Palacio de los Hilanderos (Ahmedabad, 1951)

problemática con las viviendas, le conducía a preguntarse si la producción y las empresas habituales eran congruentes con una tecnología todavía no domesticada (Torres Cueco 2004:169).

Es en ciertos proyectos de vivienda donde debido a los condicionantes climáticos, de presupuesto, de lejanía o por el propio cliente, en los que aparece de una manera más evidente un cierto cambio de actitud.

Tim Benton analiza y desarrolla en su artículo *La Villa Baizeau et le brise-soleil* cómo para Le Corbusier este proyecto debe demostrar la capacidad de su arquitectura para resolver todos los problemas naturalmente (Benton 1987:125).

En el invierno de 1927-28, Lucien Baizeau, un industrial tunecino, le encarga a Le Corbusier el diseño de una pequeña casa en *Sainte-Monique*, Túnez. Hasta el momento el arquitecto no tiene ninguna experiencia en construcciones adaptadas a climas calurosos. En este caso, es el cliente el que insiste en la necesidad de que la vivienda necesita una protección directa del sol y de los vientos calientes de sur y suroeste; así mismo indica que la ventilación interior debe ser "perfecta".

Lejos de limitar los resultados, se proponen nuevas soluciones. En un primer proyecto, fechado en enero de 1928, la casa presenta los característicos *plan libre* y *façade libre*. Además se propone una sugerente sección en doble "C" entrelazada, que se piensa para aprovechar las brisas en climas muy calurosos. Se alternan espacios abiertos y cerrados, en semi-niveles, estableciendo una *coupe libre* (sección libre) que pretende permitir una buena ventilación interna. También aparece el elemento del *toit-parasol (techo-parasol)*[185] que asegura una protección solar. El cliente desecha rápidamente esta solución porque, aun admitiendo su interés arquitectónico, piensa que tendrá el grave inconveniente de no garantizar la protección del sol que considera tan esencial. Él mismo, plantea que ha previsto que la casa tenga una serie de terrazas "desbordantes"

en tres de las fachadas, para protegerse del sol y de "la reverberación intensa de la luz."

Finalmente el sistema utilizado –fuertemente entroncado con el sistema *dom-ino (1914)*– representará posteriormente un arquetipo en el diseño de viviendas y se convertirá en una fuente de inspiración para el *brise-soleil* no sin haber influenciado fuertemente el primer proyecto de la *Villa Savoye* (Octubre 1928) (Benton 1987:127).

Además se intuyen ya las posibilidades que explorará posteriormente con la utilización del espacio exterior que brinda la protección solar. El parasol de hormigón asume el protagonismo como definidor de la volumetría y materialidad del edificio.

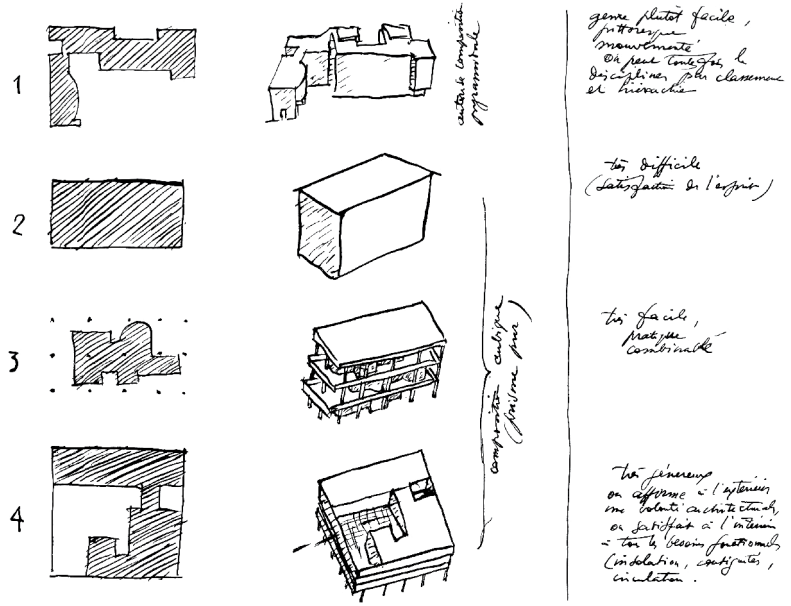


Fig. FD.3.33. 4 procesos de proyecto, Le Corbusier. *Œuvre complète* 1910-1929.
En el proceso 3,el esquema corresponde a la *Villa Baizeau,* al lado indica *Très Facile.*

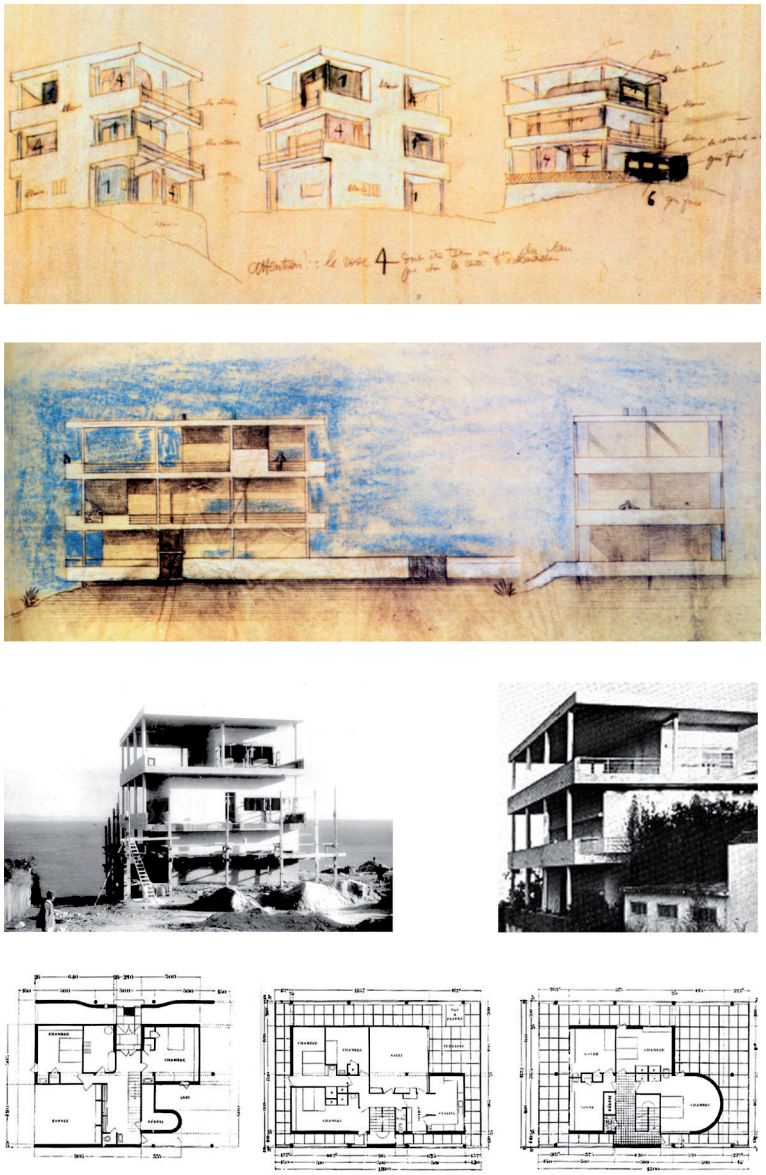


Fig. FD.3.34. *Villa Baizeau*, proyecto definitivo construido, Cártago (1928)

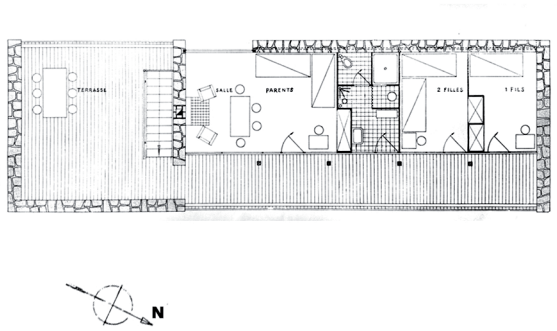


Fig. FD.3.35. *Villa Le Sextant*, Mathes (1935). Planta primera

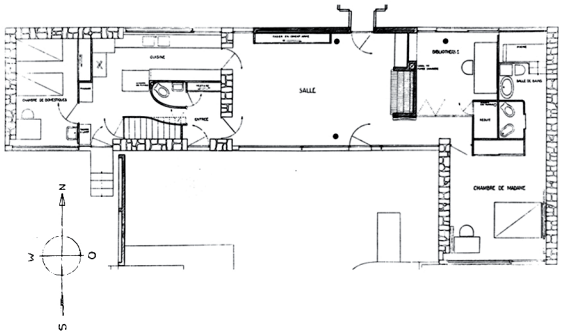


Fig. FD.3.36. *Villa de Madame Mandrot* , Le Pradet (1929-30). Planta baja

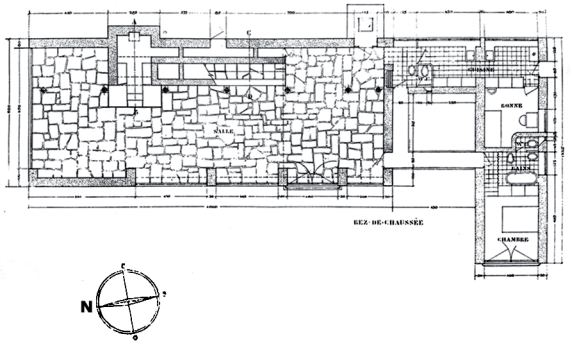


Fig. FD.3.37. Villa Errazuriz, Chile (1930). Planta baja

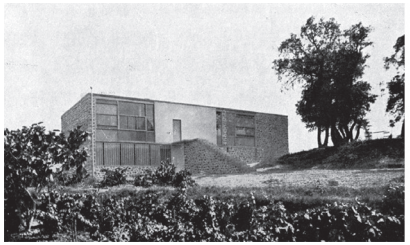


Fig. FD.3.38. *Villa de Madame Mandrot* , Le Pradet (1929-30)

Fig. FD.3.39. *Villa Le Sextant*, Mathes (1935)

Dos años después, en 1930, es en el proyecto de la Casa Errazuriz en Chile (no construida), donde se hace indiscutible la aparición de un nuevo universo material en su arquitectura. El cambio de imagen es explicado en la Œuvre *Complète* por la inexistencia de una mano de obra técnica suficiente, la utilización de materiales del lugar y una colocación en obra fácil. Los muros de piedra que hasta entonces no había utilizado atestiguan que:

> *…la confrontación entre la tecnología moderna y la materia desnuda y ruda realizada con técnicas ancestrales constituye entonces un descubrimiento plástico de primer orden. Además, también parece simbolizar que no es posible encontrar una arquitectura francamente moderna si no existe una verdadera conciencia de la cultura y la tradición.* (Torres Cueco 2004:151)

La Casa Errazuriz podría parecer, en un análisis demasiado enfocado, una anécdota, pero en la siguiente década proyecta y construye diferentes viviendas de las mismas características.

La *Villa de Mme. Mandrot* (1929-1930) en *Le Pradet*, Francia, ilustra el uso de paredes de piedra sin revestir dentro de una sintaxis siempre moderna. La planta

es libre y esto permite la existencia de grandes paños de vidrio, que en bastantes casos se sustituyen por láminas opacas o contrachapados para atenuar el calor y la intensidad lumínica. Estos entrepaños presentan un diseño de cuidada geometría que recuerda a las composiciones pictóricas neoplasticistas.

Las mismas características presenta la *Villa "Le Sextant" (Villa Les Mathes)* (1935). El cliente, Albyn Meyron, escribe a Le Corbusier indicando que no desea:

> *…una construcción ligera, industrial, perecedera y que exija gastos de mantenimiento. Confiesa su desconfianza en los prototipos industriales y su aspecto exterior de* bains parisiens*. Quiero una vivienda de mayor durabilidad, que entre en armonía con el entorno, que se cierre bien en invierno, resista el salitre del ambiente y las lluvias del otoño"*[186].

La casa resulta entrar en armonía con el entorno, se cierra bien en inverno, resiste el salitre del ambiente y las lluvias de otoño, pero no necesita mimetizar imágenes, ni lenguajes, ni siquiera materiales, únicamente sistemas y disposiciones. La distancia con el regionalismo típico de otras arquitecturas del momento es patente, de hecho no existe reminiscencia alguna de una determinada tradición estilística.

En la *Villa Henfel* (1934-35) denominada también *Maison de week-end* y construida en las afueras de París, el diseño está encaminado a satisfacer un "principio impuesto":

> *[la casa debe] ser lo menos visible posible. Consecuencia: […] techo de hierba sobre bóvedas rebajadas, elección de un material tradicional: la sillería con aparejo en seco."*[187] (Le Corbusier, Jeaneret 1938:124).

Para ello se implementan recursos que en otros casos se habían justificado por la lejanía e imposibilidad de controlar la obra, pero que en realidad parecen responder a una sensibilidad con el entorno.

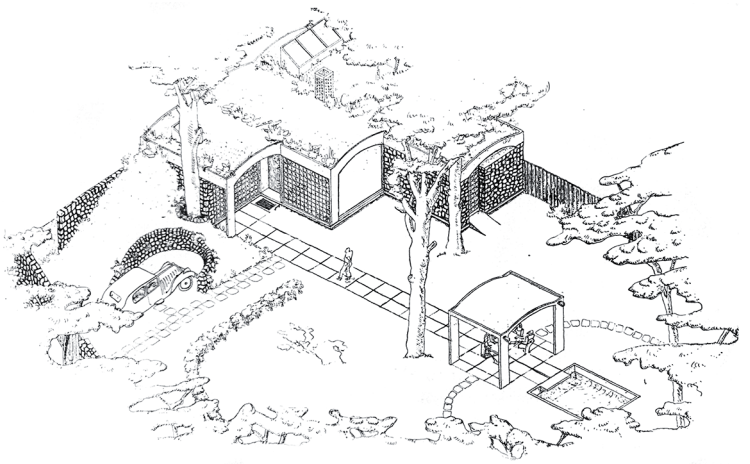


Fig. FD.3.40. Villa Henfel, París (1934-35). Vista exterior

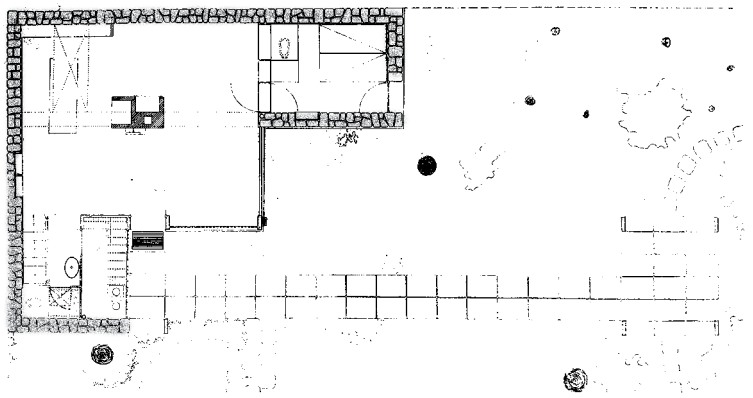


Fig. FD.3.41. Villa Henfel, París (1934-35). Planta baja

186. Carta mecanografiada del 12 de Diciembre de 1934. FLC H-2-9. Extraída de (Torres Cueco 2004)

187. Traducido por el autor: *…d'être le moins visible possible. Conséquence: […] toiture en gazon sur voûtes surbaissées, choix d'un matériau très traditionnel: la maçonnerie de meulière laissée apparente.*
Destaca el orden de descripción del techo. Parece ser más importante la hierba que la propia cubrición.

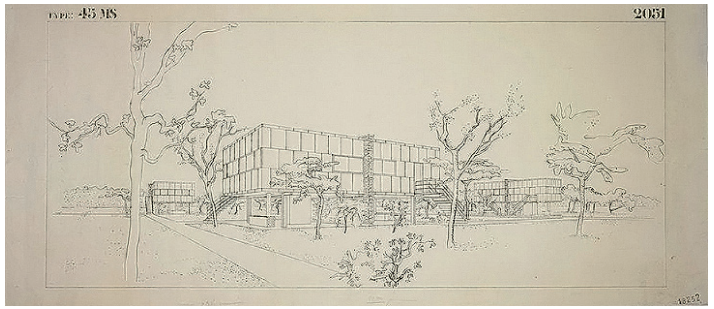


Fig. FD.3.42. *Maisons Locheur*, sin lugar (1929). No construido.

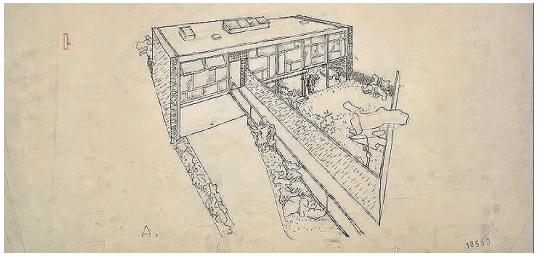


Fig. FD.3.43. *Maison du Dr. Rameaux,* Romainville (1936). No construido.

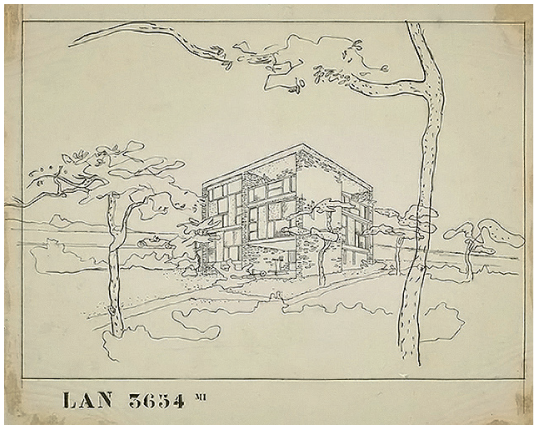
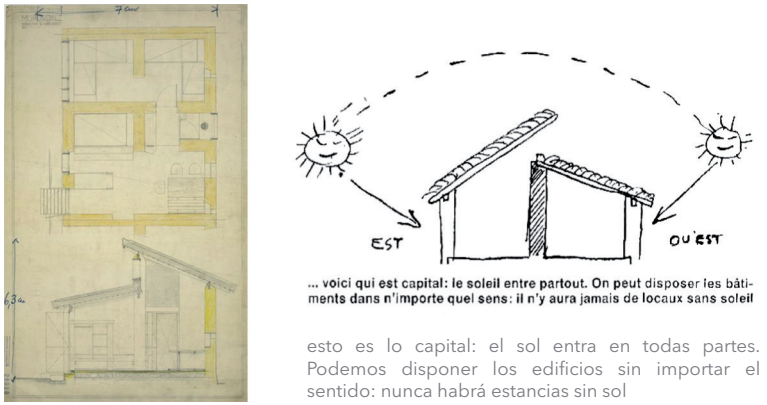


Fig. FD.3.44. *Maison pour ingénieurs et contremaîtres Lannemezan,* sin lugar (1940). No construido. En la imagen el modelo para ingenieros.

Además, bóvedas y ciertos cerramientos se doblan por el interior con paneles de madera contrachapada. Así se conforma un doble cerramiento que aúna los beneficios de un cerramiento pesado de hormigón (con ajardinamiento) que pertenece a una tradición vernácula de la arquitectura, y de un elemento interior aislante que favorece el control térmico.

Presentan continuidad con la nueva actitud las *Maison Locheur* (1929), prototipo de vivienda estandarizada y taylorizada pero con los nuevos materiales; la *Maison du Dr. Rameaux* (1936), las *Maison pour ingénieurs et contremaîtres Lannemezan* (1940) y las casas *Murondins* (1940).



esto es lo capital: el sol entra en todas partes. Podemos disponer los edificios sin importar el sentido: nunca habrá estancias sin sol

Fig. FD.3.45. *Maisons Murondins*, sin lugar (1940). No construido.

Para el montaje por parte de los clientes, Le Corbusier indica la lección paso por paso en la *Oeuvre Compléte*: "Primero, hay que buscar el lugar, atentos a las direcciones del aire y el soleamiento."

Según varios autores, el proyecto para las *Maison Locheur* en Francia y la Casa Errazuriz, suponen en la práctica el fin del sueño de crear la casa taylorizada. En las primeras, Le Corbusier asume que la mitad del mercado inmobiliario francés está formado por:

> *…innumerables pequeños propietarios […] y las circunstancias actuales hacen absolutamente imposible realizar la construcción de una casa en las condiciones técnicas suficientes y a buen precio.*
> (Le Corbusier, Jeaneret 1937:78)

En la segunda, adapta sus ambiciones tecnológicas a la disponibilidad del lugar. En definitiva, el fracaso de este proyecto de taylorización[188], conduce a una apuesta por las tecnologías intermedias que combinan técnicas primitivas y punteras según las necesidades y los medios (Frampton 2001:70).

El viaje que realizó en 1931 a Marruecos y Argelia, le permitió certificar la estrecha relación entre arquitectura, cultura, paisaje y hombre. Sin duda, quedó influenciado por la intrínseca racionalidad que la arquitectura popular presenta cuando se trata de integrarse en la naturaleza y protegerse de ella.

Paradójicamente en estos mismos años está desarrollando parte de sus *grands travaux* donde aborda, como ya hemos visto, el confort desde una perspectiva muy distinta. Las circunstancias en unos proyectos y otros son difícilmente asemejables, pero se puede comprobar que lo ocurrido en estos años abre para Le Corbusier una nueva vía de investigación, encabezada por el brise-soleil, que generará múltiples herramientas proyectuales que se aplicarán en todos sus proyectos –independientemente de la escala– a partir de la década de los años 30 y significativamente después de la guerra.

Podemos decir que la obra del maestro suizo, representa una evolución biológica y darwiniana: de la *Villa Falet* (1906), repleta de decoraciones, a la *Unité d'habitation de Marseille* (1945-1952), con su envolvente de hormigón bruto, pasando por la etapa intermedia que representan las villas puristas (Gargiani 2015:167). Si nos centramos en el periodo posterior a la *Chaud-de-Fonds*, existe un punto de inflexión que él mismo reconoce en el número especial de *L'Architecture d'aujourd'hui* dedicado a hacer una revisión de su obra[189]. En un fotomontaje (Fig. FD.3.47) sitúa dos conchas huecas sobre la fotografía de la

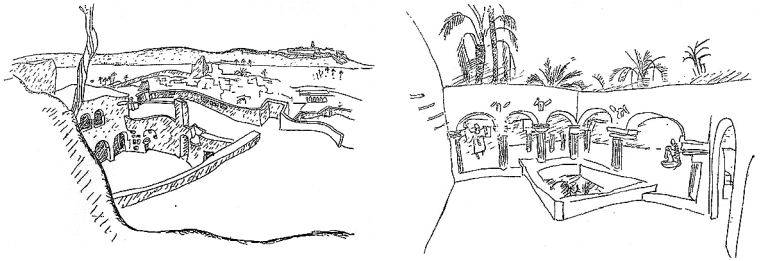


Fig. FD.3.46. Edificaciones enterradas en Ghardaïa, Marruecos. Dibujos realizados por Le Corbusier en su viaje de 1931.

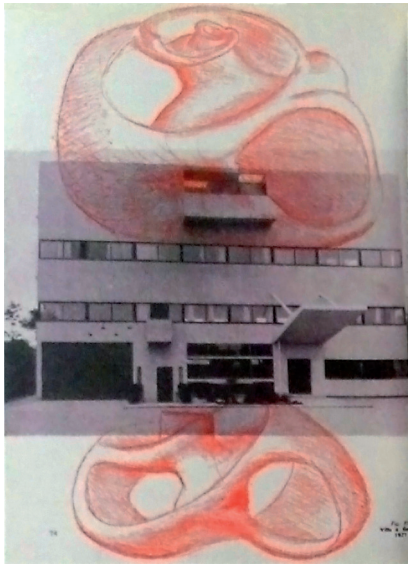


Fig. FD.3.47. Fotomontaje (1948) Le Corbusier.

188. Así lo califica Kenneth Frampton

189. L'Architecture d'aujourd'hui, número especial, 1948, p. 74 en (Gargiani 2015)

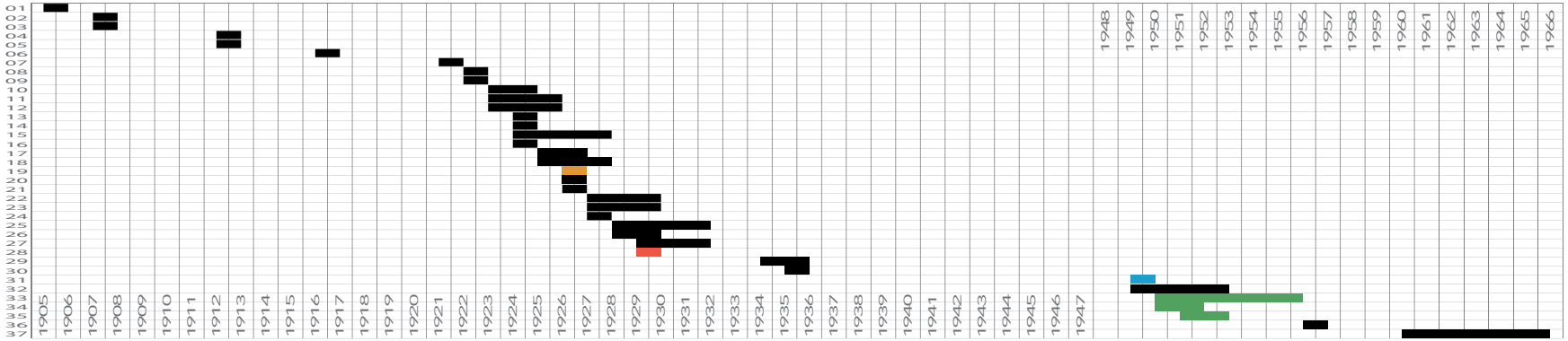


Fig. FD.3.48. Cronograma de viviendas unifamilares construidas por Le Corbusier en toda su obra (no se incluyen los proyectos)

19. *Villa Stein*, Garches (1926-1927) en color naranja

28. *Villa de Mme. Mandrot*, Le Pradet (1929-1930) en color rojo

31. Casa Curruchet, La Plata (1949) en color azul

33. *Villa Sarabhai*, Ahmedabad (1950-1955) en color verde

34. *Villa Hutheesing-Shodhan*, Ahmedabad (1950-1952) en color verde

35. *Maisons Jaoul*, París (1951-1953) en color verde

El cronograma a mayor tamaño y todas las viviendas enumeradas, se puede consultar en el Anexo I

La barra comprende todo el periodo de desarrollo de proyecto y de contrucción hasta la finalización de la obra. La fecha viene indicada exclusivamente por años, no se especifica el mes.

Villa Stein (1926-1927) en *Garches*, pareciendo indicar que justo en esta casa se sitúa el centro de gravedad de su evolución artística y arquitectónica.

Observando un cronograma de las viviendas construidas (Fig. FD.3.48) y en términos puramente estilísticos, tal vez el punto de inflexión debería desplazarse algo más adelante, a la *Villa de Mme. Madrot* pero ciertamente un cambio de tal calado no puede más que gestarse de manera no lineal.

La máquina como modelo de precisión y progreso universal es desplazada por una relación más cercana con la naturaleza, el lugar, el clima, y una valoración cercana de las culturas vernáculas, que tan bien han funcionado.

> *Tiene apetencia de tecnología [pero también] Tiene un sentido de pasión por la naturaleza que motivó un profundo deseo de encontrar soluciones funcionales que permitieran, por ejemplo, el paso libre de la luz, el aire y el control de la energía del sol.* (Menin, Samuel 2003:2)[190]

Así, entre mediados de los treinta y principios de los cincuenta, Le Corbusier, desarrolló un interés por la construcción con materiales propios del lugar, la inercia térmica, la ventilación natural, el control de la radiación solar, que desplazó la prevalencia del planteamiento eminentemente tecnológico que

190. Traducción del autor: He has an attitude to technology. There is a sense of passion for nature that motivated a very deep desire to find functional solutions that would allow, for instance, the free passage of light, air and control of the sun's energy.

tampoco abandonó sino que complementó (Requena Ruíz 2011:59). La nueva actitud se hizo evidente primero en las viviendas, pero acabó formando parte del hacer proyectual del arquitecto.

En cuestiones estéticas y plásticas, en este periodo, se interesa por las leyes internas de la percepción del espacio y redefine sus preceptos en base a las investigaciones realizadas por Victor Basch y Charles Henry[191]. Los trazados reguladores de su pintura purista empezaron a ordenar el espacio cognitivo y estimular esos *"yeux qui ne voient pas"*[192] (Blistène 2015:11) con el tiempo también lo harían en su arquitectura.

Para demostrarlo en la escala de la vivienda unifamiliar tuvieron que pasar 14 años. Desde 1935, año en el que se construye la *Villa le Sextant*, no volvió a construir otra vivienda hasta la Casa Curruchet en 1949. Y esta se puede considerar una vivienda en transición hasta llegar a las tres que construyó después y que verdaderamente son las más representativas de este periodo: las *Maisons Jaoul (1951-1953)*, la *Villa Hutheesing-Shodan (1950-52)* y la *Villa Sarabhai (1950-1955)*. Le Corbusier describe la *Villa Hutheesing-Shodan* en el Modulor II como:

> *…una concha de caracol [coquille de l'escargot] rodeada de un dispositivo para dar sombra en verano; pero el sol de invierno penetra profundamente. Se han fabricado corrientes de aire para proporcionar confort. La techumbre y las fachadas fabrican sombra. Dentro se circula, se actúa libremente. Y el aire también circula, puesto que la casa está abierta a los vientos dominantes.* (Le Corbusier [1955]1962:309-310)

En los tres casos demuestra cómo estaba introduciéndose en el estudio de la masividad y la sombra. También hacen referencia a aspectos de diseño que el arquitecto denominaba como "femeninos, irracionales y primitivos" (Ubbelohde 2003). Son viviendas, especialmente las de la India profundamente enraizadas y conectadas al lugar y a la cultura.

191. Basch y Henry pertenecían al grupo de críticos que habían subrayado en sus artículos en *L'Esprit Nouveau* la aparición de una "estética experimental" o "estética de la experiencia", concepto creado por Fechner a principios de siglo XX y que estaba basado en estudios psicofísicos de la percepción sensorial. En definitiva, los planteamientos de Juhani Pallasmaa que veíamos en el apartado A.0 habían nacido mucho antes.

192. Traducción: Ojos que no ven. Así titula Le Corbusier un grupo de tres artículos que publica con Saugnier en *L'Esprit nouveau* y que incluye posteriormente en *Vers une architecture* (1924). Trata de las nuevas máquinas como los coches, los paquebotes y otros vehículos motorizados, pero la expresión (que él probablemente utilizó con otro sentido) define también su trabajo posterior al hilo de conceptos como el ambiente, el oculocentrismo y la hapticidad que tratamos en el capítulo A.

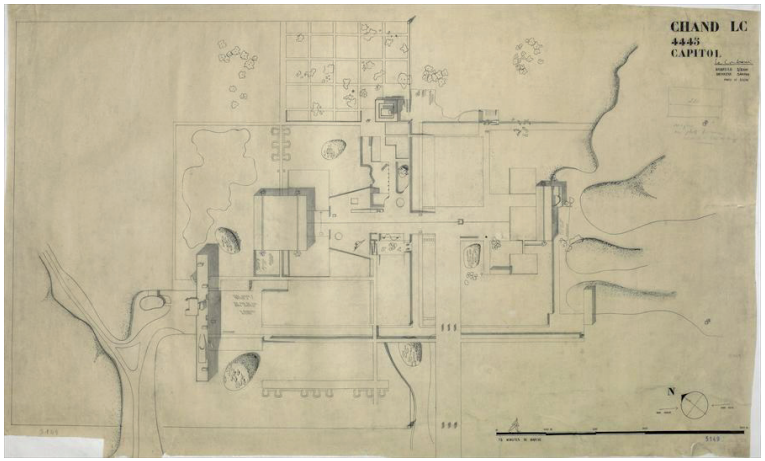


Fig. FD.3.49. Planta General del Capitolio, Chandigarh (1950-1965). FLC 4445

D.3.4. Inclusión y control de parámetros higrotérmicos

Con los proyectos de la India, a principio de la década de los cincuenta, culmina este proceso que veíamos y se ponen en práctica y a prueba estos planteamientos. Cuestiones como la orientación, la forma de los edificios, las protecciones solares (*brise-soleil*), los materiales, la ventilación, la inclusión de agua y vegetación fueron tomando forma como herramientas/elementos de diseño que avocaron en una metodología de trabajo que los tenía en cuenta al mismo nivel que otras variables como la estructura, la proporción o la adecuación programática.

Esta evolución, basada en la prueba-error y en el aprendizaje experimental, es coherente con su forma de pensar. Ya en 1921 escribía:

> *El estándar se establece sobre unas bases concretas, no arbitrariamente, pero con la seguridad de los objetivos motivados y de una lógica controlada por la experimentación. Todos los hombres tienen el mismo organismo, las mismas funciones. Todos los hombres tienen las mismas necesidades. El acuerdo social que evoluciona a través de los años es el que determina las clases, las funciones, las necesidades estándar que dan los productos de uso estándar.*[193]

El clima, así como el contexto sociocultural, entre otros factores, eran para Le Corbusier completamente desconocidos en el momento en el que recibió el encargo de realizar el plan urbanístico de Chandigarh y los edificios representativos que conformarían el Capitolio.

Como respuesta a esa situación utilizó una de las estrategias que caracterizan su trayectoria, rodearse de profesionales de la arquitectura y de la ingeniería que mediante sus conocimientos tangentes y trabajo le ayudaran a conseguir sus objetivos[194]. En este caso trabajó con Balkrishna Vithaldas Doshi (1927), arquitecto local, o Jean-Louis Véret (1927-2011), arquitecto francés que había

193. Le Corbusier, Saugnier, (1921) «Des yeux qui ne voient pas…III. Les autos». *L'Esprit nouveau*, nº 10, p.1141 en (Migayrou 2015:15).

194. No se puede obviar que la figura de Pierre Jeanneret era básica para completar la actitud y aptitud artística, estética e innovadora de Le Corbusier gracias a su perfil más técnico. Por ejemplo durante las reparaciones que se llevaron a cabo en el *Pavillon Suisse* a principios de los cincuenta, centró sus esfuerzos en la pintura del nuevo mural para el *salon courbe* y en el diseño y dibujos de las banquetas (*banquettes*) y dejó el trabajo de reparación del muro cortina y otras cuestiones más técnicas a su sobrino. En una carta de *Pierre* al director de la fundación le indica que estará encantado de encargarse de las reparaciones de "nuestro hijo". (Zaknic 2004:233).

trabajado en entornos calurosos como Marruecos. Ambos fueron los principales encargados de supervisar las obras *in situ*.

En el ámbito de la ingeniería colaboró con André Missenard (1901-1989), ingeniero francés que fue uno de los pioneros, por un lado del estudio del confort térmico y ambiental en la edificación y, por otro, en la aplicación práctica de sus teorías a través de la empresa de instalaciones de calefacción que había cofundado, Missenard-Quint.[195]

En el momento en el que comenzó a trabajar con Le Corbusier, Missenard ya había publicado más de diez artículos científicos y el libro *L'Homme et le climat* (1937) donde situaba el clima como uno de los condicionantes antropológicos (Requena Ruíz 2012). Fue capaz de demostrar que las condiciones ambientales son el origen de todo comportamiento humano mediante un estudio concienzudo repleto de referencias científicas.

También colaboró en este último periodo el ingeniero griego Ianis Xenakis (1922-2001). Tuvo un papel decisivo en la sistematización e instrumentalización de diferentes procesos de ideación que se llevaban a cabo en el *atelier*, especialmente en cuestiones de asoleo y ventilación. Podemos destacar, en colaboración con Missenard, los *Épures du soleil* y la *Grille climatique* (Sterken 2004:232), que se aplicaron en el diseño de proyectos como la *Tour des ombres* o *l'Arc des solstices*.

Esta actitud parametrizadora de Xenakis, fue muy importante en la organización del trabajo de despacho y ayudó a que un creciente número de colaboradores y trabajadores del despacho tuvieran una metodología con la que aprender y trabajar (Requena Ruíz 2011:87).

> *[En la India] Le Corbusier se propone olvidar cualquier modelo preconcebido, deducir de la realidad que se le ofrece una arquitectura nueva; su metodología exige, sin embargo, una inmediata cualificación formal de los datos del entorno, y entonces*

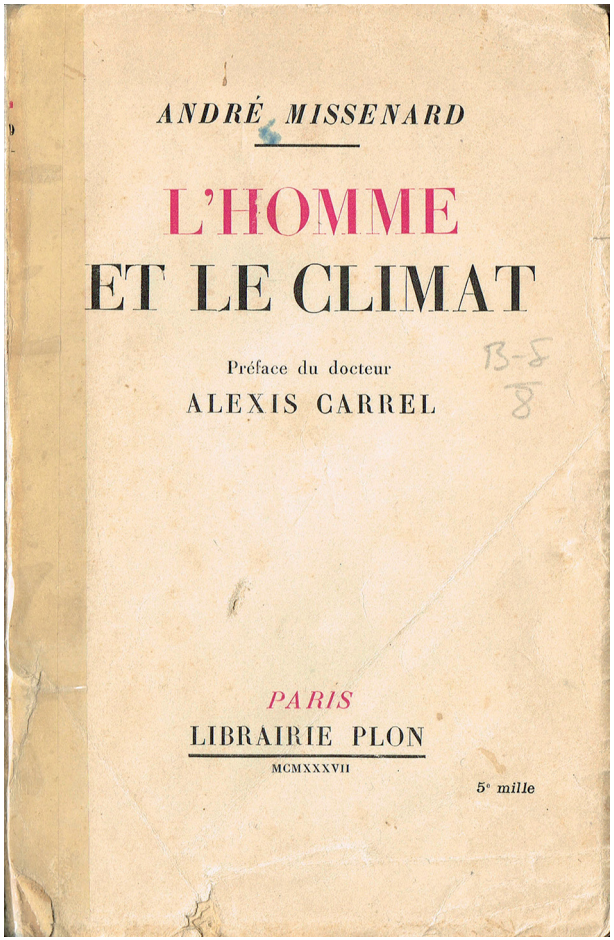


Fig. FD.3.50. Portada *L'homme et le Climat* (1937) André Missenard.

195. Le empresa fue creada en 1918 por *Joseph Quint* y su hermano *Georges* que ya trabajaba en el sector de las instalaciones de calefacción. *André Missenard*, yerno del primero se unió en 1926. En la actualidad sigue existiendo como empresa en activo y en 2009 cambió su denominación a *Missenard Climatique*.

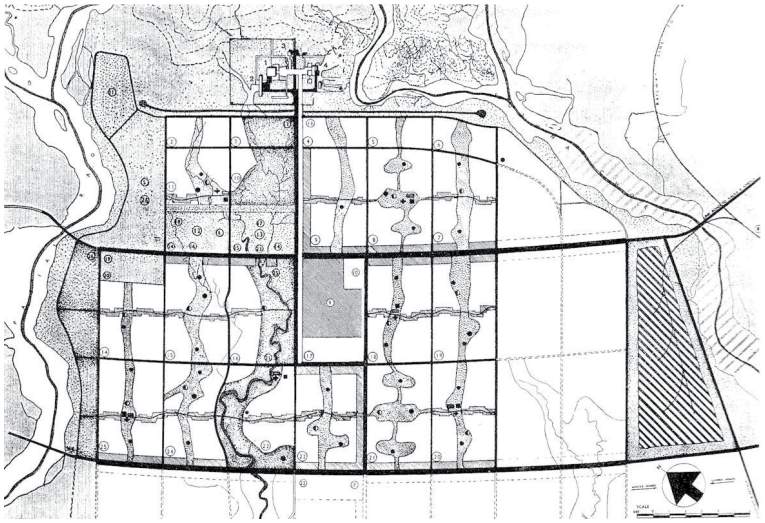


Fig. FD.3.51. Plan director de Chandigarh (1950-1965)

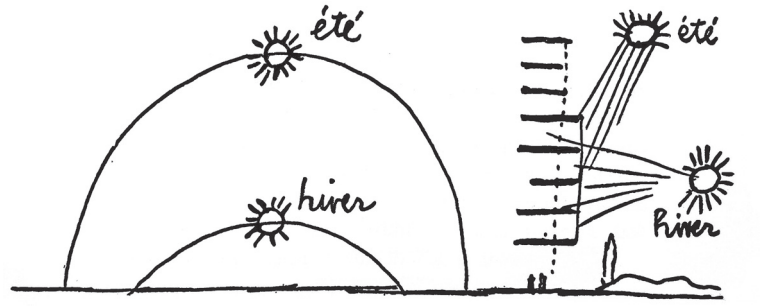


Fig. FD.3.52. Dibujo de la trayectoria solar y su influencia en el acceso solar. Le Corbusier.

> *opta por partir de los datos inmutables del clima, mejor que las variables de las relaciones sociales.* (Benevolo 1974:741)

En sus viajes al país atestigua la dureza de las condiciones y como influirán en sus diseños.

> *El país es tropical. El monzón ruge dos meses al año y es un dúo de truenos y rayos de sol alternos. Un arquitecto de occidente ha aprendido su forma de hacer durante toda una vida; en la India es también su forma de hacer la que debe de aplicar pero la tiene que adaptar a un programa antagónico: el confort aquí es el frío, la corriente de aire, la sombra. Y por tanto el sol debe penetrar a las horas favorables, en las estaciones que conviene. Los mosquitos están por todos lados y las ventanas no pueden estar abiertas sin ciertas protecciones. Ya sea en las viviendas, o en los palacios, las directrices son dadas por un sol implacable con condiciones variables de un mes a otro en temperatura, humedad y sequía – todos factores contradictorios. Jugar el papel del arquitecto moderno en estas condiciones no es fácil.* (Le Corbusier 1953:114)

También es consciente de la influencia que las condiciones de entorno tienen en el desarrollo de una cultura y de sus costumbres.

> *[…] el sol es el factor imperativo o imperante, en este país. Es con él que se debe componer una nueva sociedad india con su economía moderna; porque el sol es tan violento aquí, que los hábitos de reposo, siesta e indolencia aparecen obligatoriamente en los condicionantes de la arquitectura local y no permiten realizar ningún trabajo en ciertas épocas y a ciertas horas. La estación de lluvias presenta igualmente una serie de problemas muy difíciles de resolver.*(Le Corbusier 1953:129)

Las grandes realizaciones se sitúan en Chandigarh, pero en Ahmedabad sus obras son de igual importancia. En una carta enviada por Le Corbusier al Sr. Kaul el 17 de Marzo de 1951 expresa:

> *El edificio de los Millowners (Palais des Filateurs) es un pequeño palacio, verdadero testimonio de la arquitectura moderna en el clima de India. Esta será, junto con las otras construcciones de Ahmedabad (el Museo del Conocimiento y las tres villas de Mr. Chïmanbhai, de Mr. Hutheesing -Shodhan y de Mrs. Sarabhai) un mensaje real de arquitectura india en la que yo he puesto toda mi capacidad sacrificando personalmente meses de estudio y meses de trabajo. Le atribuyo a estos trabajos en Ahmedabad una importancia capital al igual que a los planos de Chandigarh.* (Candela Suárez 2009:85-86)

Le Corbusier alcanzó en la India la máxima expresión de sus teorías urbanísticas y arquitectónicas, atestiguando que nunca diseñó una forma gratuita. Cada una de ellas estaba enraizada y concebida desde una visión profunda de los hombres y de su manera de vivir (Wogensky 1967:2).

Todas las herramientas acabaron de "madurar" gracias al aporte de los colaboradores y la oportunidad que supuso el trabajo encargado en la India, pero su génesis había empezado mucho antes.

D.3.5. Elementos de control higrotérmico

Toda la problemática experimentada, conduce a Le Corbusier a buscar métodos de naturaleza completamente arquitectónica para controlar las sombras sobre el paño de vidrio. Así nace el *brise-soleil*, pero no es el único mecanismo. Los materiales más naturales y tectónicos, que utilizó a partir de ese punto de inflexión, aportan mayores inercias térmicas, los muros y las ventanas adquieren profundidad (espesor), las corrientes de aire se tienen en cuenta y las cubiertas siguen ajardinándose.

Las herramientas que conducen la arquitectura de Le Corbusier hacia un mayor control climático, por tanto hacia una racionalidad de medios en el control

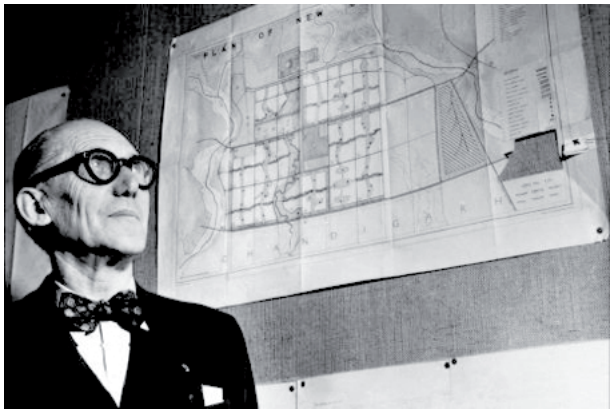


Fig. FD.3.53. Le Corbusier con el plan director de Chandigarh

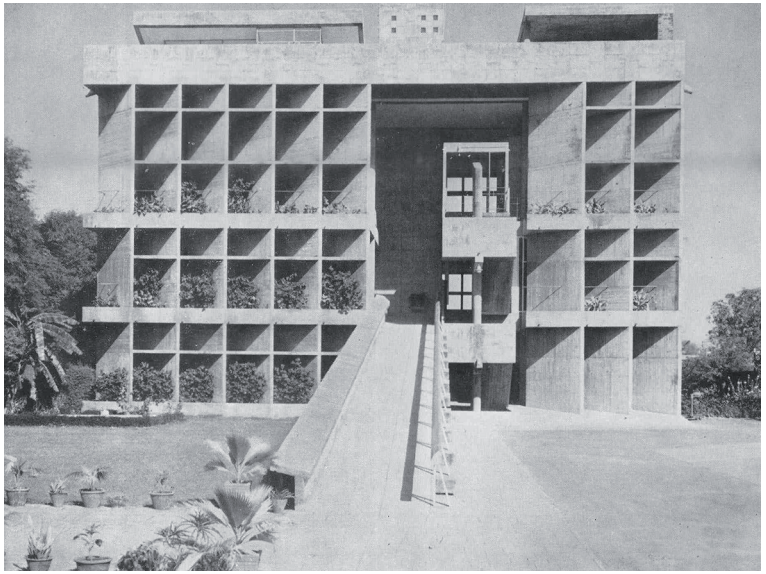


Fig. FD.3.54. Palais des Filateurs, Ahmedabad, India (1951)

N°	PROYECTO	LOCALIDAD	PAÍS	AÑO
1	**Plan de la Chaux-de-Fons**	**Chaux-de-Fonds**	**Suiza**	**1913**
	E: NE-SO - F: SE - NO - Preexistente, continúa con la trama urbana			
2	**Cité-jardin aux Crétets**	**La Chaux-de-Fonds**	**Suiza**	**1914**
	E: Var - F: Var - Ladera hacia S, edificación sigue LN. Indica dirección del viento			
3	**Cité Ouvrière du Vouly**	**Troyes**	**Francia**	**1917**
	Sin información de orientación			
4	**Ville contemporaine de 3_M d'habitants**	**sl**		**1922**
	E: N-S + E-O - F: N - S - E - O - Rascacielos cruciforme y bloques *à redents*			
5	**Cité Jardin**	**sl**		**1925**
	Sin información de orientación - Contiene *Lotissements à alvéols*			
6	**Immeuble-vilas**	**Boulogne-sur-Seine**	**Francia**	**1925**
	E: NE-SO - F: SE - NO - Viviendas giran, mismas piezas diferente orientación			
7	**Plan de Paris**	**París**	**Francia**	**1925**
	E: N-S + E-O - F: N - S - E - O - Rascacielos cruciforme y bloques *à redent*			
8	**Plan Voisin**	**Paris**	**Francia**	**1925**
	E: NE-SO + NO-SE - F: SE - SO - NE - NO, igual V. contamporaine girado +60°			
9	**Quartier Monteclin**	**Bièvres**	**Francia**	**1929**
	E: NNE-SSO - F: ESE - ONO - Bloques pero poca longitud, denomina *immeubles*			
10	**Urbanismo Buenos aires**	**Buenos aires**	**Argentina**	**1929**
	Sin información de orientacion			
11	**Urbanismo Río de Janeiro**	**Río de Janeiro**	**Brasil**	**1929**
	Todas las piezas con fachada orientada al mar independientemente de orientación			
12	**Urbanismo A. B, C, H**	**Argel**	**Argelia**	**1930**
	Bloques lineales curvos. Bloque pantalla paralelo a línea de costa			
13	**Ville Radieuse**	**sl**		**1931**
	E: NE-SO + NO-SE - F: SE - SO - NE - NO, igual V. contamporaine girado +20°			
14	**Urbanización l'Oued-Ouchaia**	**Argel**	**Argelia**	**1933**
	E: NE-SO - F: SE - NO - Bloques con misma orientación. Viviendas acoplan a geografía			
15	**Plan Macià**	**Barcelona**	**España**	**1933**
	E: NE-SO + NO-SE - F: SE - SO - NE - NO. Bloques à redents, girado 30°			
16	**Urbanismo Genève**	**Genève**	**Suiza**	**1933**
	Sin información de orientación. Rascacielos cartesianos y bloques lineales			
17	**Urbanismo Nemours**	**Nemours**	**Francia**	**1933**
	E: E-O - F: N-S - Bloques lineales, denomina *Habitations Europeenes*			
18	**Urbanismo Estocolomo**	**Estocolomo**	**Suecia**	**1933**
	E: NNO-SSE + ENE-OSO - F: SSE - NNO - ENE - OSO - Bloques *à redents* y curvos			
19	**Urbanismo Rive gauche de l'Escaut**	**Anvers**	**Bélgica**	**1933**
	E: NNE-SSO + ESE-ONO - F: SSO - NNE - ESE - ONO - Bloques *à redents*			
20	**Urbanismo Bat'a Hellocourt**	**Hellocourt**	**Francia**	**1935**
	E: E-O - F: S - Rascacielos cartesianos con fachada ppal. a S			

Tabla. TD.3.01. Proyectos de urbanismo (01-20, 1913-1935)
Correspondiente a matriz 1 en página opuesta

higrotérmico, son: Orientación, Brise-soleil, Cubierta ajardinada, Materialidad, Cerramientos practicables (ventanas) y Ventilación

Orientación

Como veíamos, Le Corbusier, adoptó los preceptos de la corriente higienista y por ende la utilización del eje heliotérmico para orientar los edificios. Al menos fue así desde un punto de vista teórico en sus primeras propuestas urbanísticas. Cuando intervenía en entornos urbanizados o con fuertes condicionantes contextuales la realidad estaba por encima de la utopía y era necesario acoplarse al entorno. Si bien es cierto, también construyó edificios como las Unités en los que tenía plena libertad de disposición del edificio, en los que la orientación se basa en el principio de simetría térmica, que como ya hemos comentado tampoco funciona.

Donde el arquitecto alcanzaba mayores grados de libertad, en este aspecto, es en las propuestas urbanísticas. En un análisis comparativo-cronológico (matriz de proyectos de esta página y la siguiente, así como las tablas que las acompañan) observamos que solo utilizó el eje heliotérmico, estrictamente hablando, en el proyecto teórico de la *Ville Radieuse* (1931, nº 13) y en el proyecto de Urbanización de la *Rive Gauche de l'Escaut* (Bélgica, 1933, nº 19) que es una aplicación exacta, a un lugar concreto, de los principios establecidos por el primero. En proyectos anteriores como la *Ville contemporaine* (1922, nº 4) o el *Plan de Paris* (1925, nº 7), los ejes longitudinales de las edificaciones coinciden con los cardinales, y además debido a la tipología edificatoria de rascacielos cruciforme y bloques *à redents*, no existe una orientación predominante para las fachadas.

En los *Immeubles-villa* (1925, nº 6) o los *Lotissements à alvéols* (1925, nº 5), proyectos en los que investigaba la agregación de células tipológicas de vivienda y su disposición en macro-manzanas o bloques, giraba o daba simetría a viviendas de idéntica distribución. La orientación no parecía ser importante en

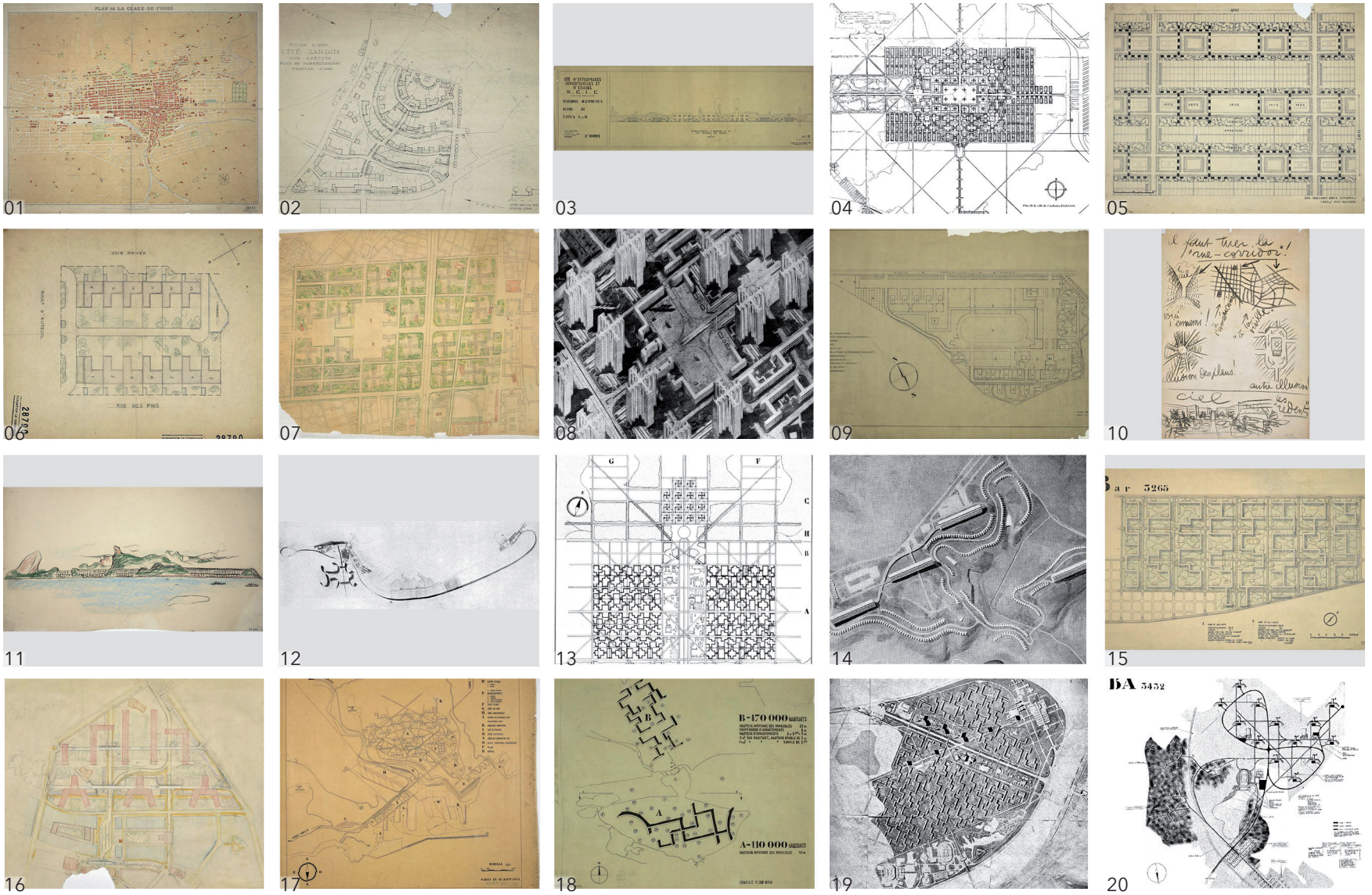


Fig. FD.3.55. Matriz 1 de proyectos de urbanismo (1-20, 1913-1935)

Nº	PROYECTO	LOCALIDAD	PAÍS	AÑO
21	**Urbanismo Bat'a Zlin**	**Zlin**	**República Checa**	**1935**
	Sin información de orientación. Bloques lineales y à redents en una zona reducida			
22	**Plan director**	**Buenos aires**	**Argentina**	**1936**
	E: NO-SE - F: NE - Rascacielos cartesianos con fachada ppal. NO			
23	**Stade de 100,000 places**	**París**	**Francia**	**1936**
	Elíptico no cerrado. Diseña y orienta para que el público no reciba el sol de frente			
24	**Quartier de la Marine - Grataciel**	**Argel**	**Argelia**	**1938**
	E: E-O - F: N + S. Las fachadas giran ligeramente, forma de 'huso'			
25	**Urbanismo Vézelay**	**Vézelay**	**Francia**	**1940**
	Sin información orientación			
26	**Usine verte**	**Abusson**	**Francia**	**1944**
	E: NNO-SSE - F: NNE + SSO. Iluminación con diente de sierra con hueco hacia NNE			
27	**Urbanismo Marseille**	**Marseille**	**Francia**	**1945**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Icono señala simetría radiación.			
28	**Urbanismo La Rochelle-La Pallice**	**La Rochelle-La Pallice**	**Francia**	**1945**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Icono señala simetría radiación.			
29	**Urbanismo Sant-Dié**	**Sant-Dié**	**Francia**	**1945**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Icono señala simetría radiación.			
30	**Unité de grandeur conformé**	**sl**		**1945**
	Unité doble orientación: E: NNE-SSO - F: ESE + ONO. Extremo SO, células giran			
	Unité simple orientación: E: ESE-ONO - F: SSO + SNE.			
31	**Urbanismo Saint-Gaudens**	**Saint-Gaudens**	**Francia**	**1945**
	Poca definición. Edificios curvos, el resto son fábricas			
32	**Urbanismo Marseille Sud**	**Marseille**	**Francia**	**1946**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Viv. Unifamiliares à redents giradas 45°			
33	**Urbanismo Izmir**	**Izmir**	**Turquía**	**1948**
	E: SE-NO - F: SO + NE			
34	**Urbanismo Chandigarh**	**Chandigarh**	**India**	**1950**
	E: NE-SO - F: SE + NO. La orientación la marca el viento que se indica en icono			
35	**Capitol Chandigarh**	**Chandigarh**	**India**	**1950**
	E: NE-SO - F: SE + NO. La orientación la marca el viento que se indica en icono			
36	**Urbanismo Bogotá**	**Bogotá**	**Colombia**	**1950**
	Piezas debaja altura y compactas con cuatro facahdas similares. Trama girada 45°			
37	**Urbanisation Quartier Roterdam**	**Strasbourg**	**Francia**	**1951**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Icono señala simetría radiación.			
38	**Urbanismo Meaux**	**Meaux**	**Francia**	**1957**
	E: N-S - F: E + O. Unitées d'habitation. Icono señala simetría radiación.			
39	**Urbanismo Berlín**	**Berlín**	**Alemania**	**1958**
	E: N-S - F: E + O. Bloques à redents direccionales. Rasc. Cartesiano con fachada ppal. O			

Tabla. TD.3.02. Proyectos de urbanismo (21-39, 1935-1958)
Correspondiente a matriz 2 en página opuesta

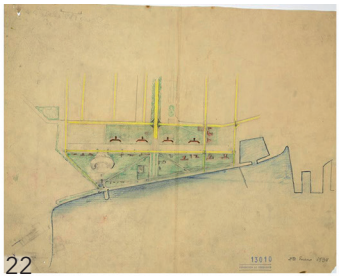
un momento en el que el análisis se centraba en generar la vivienda para una nueva época, en la que los preceptos higienistas se traducían en dotarlas de espacios exteriores y de garantizar mayor espacio libre a la ciudad.

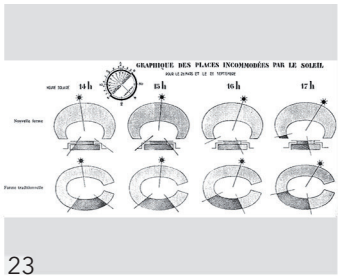
Es destacable el *Plan de la Chaux-de-Fonds* (1913, nº 1), en el que un joven Charles Édouard Jeanneret representa, no solo la orientación, sino los vientos dominantes que coinciden con el eje longitudinal de las manzanas de la población. Urbanísticamente se limita a extender la trama urbana existente sin modificar cuanto apenas su morfología.

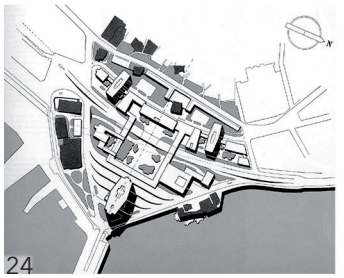
Toda esta primera etapa, que abarca hasta 1931, con la ideación de la *Ville Radieuse,* se puede denominar de aprendizaje e investigación. Hasta este momento utiliza cuatro unidades de agregación: el rascacielos cruciforme, los bloque *à redents*, la macro-manzana y los bloques curvos, que permiten la inclusión del espacio libre y la naturaleza en el ámbito urbano pero que no se caracterizan por buscar una orientación concreta. Consciente de esta realidad, a partir de este momento, Le Corbusier abandona el uso de esa tipología de rascacielos en forma de cruz y utiliza el rascacielos cartesiano (en pata de pollo), que aunque no se encuentra en el diseño (1931), sí se defiende en el libro (1933):

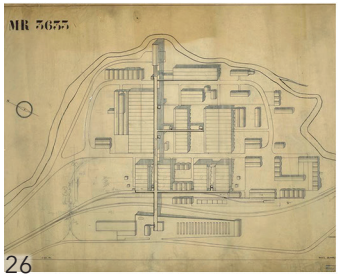
> *En estos últimos años he hecho evolucionar la forma de rascacielos en cruz hacía una forma más viva, de igual seguridad estática: una forma dictada por el soleamiento. En adelante, ya no habrá más oficinas situadas al norte. Y esta forma es infinitamente más viva.* (Le Corbusier 1933:134 en Frampton 2001:39)

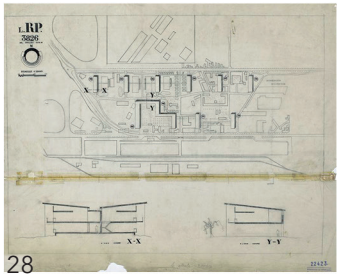
También abandonará la macro-manzana, y trabajará exclusivamente con bloques *à redents*, bloques lineales (tipo *Unité*) y piezas especiales o bloques lineales curvos para responder a situaciones específicas de orografía o accidentes topográficos. El avance que realiza en ellos, es la adaptación de la sección del edificio en función de la orientación. En los bloques con eje sensiblemente norte-sur (fachadas este y oeste) en los que se pretende conseguir la simetría térmica, el corredor es central y las viviendas a dos manos, mientras que en los

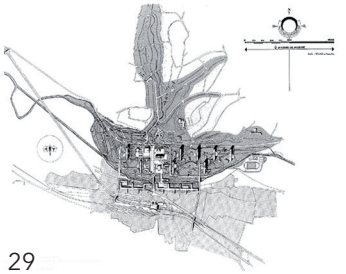


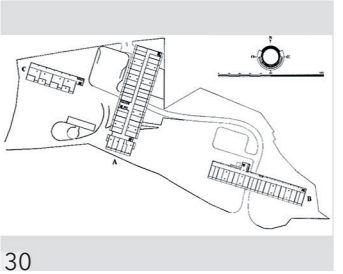


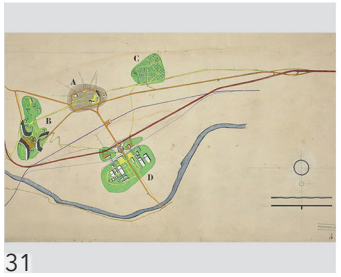


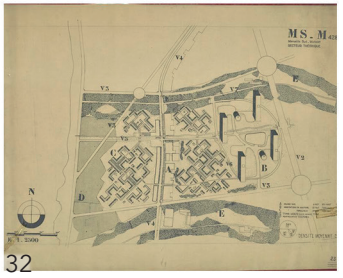


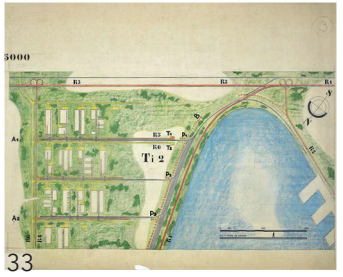


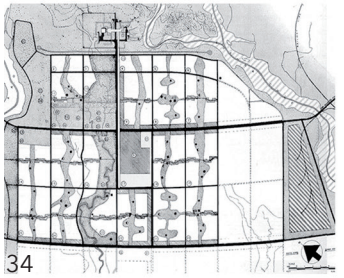


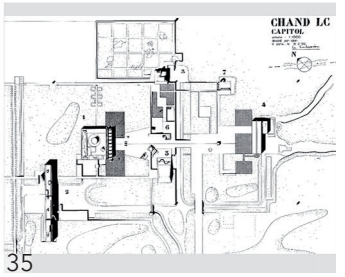


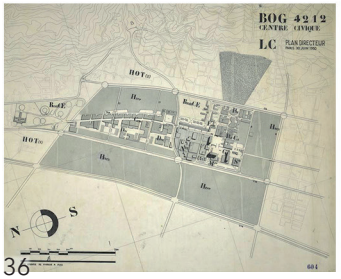


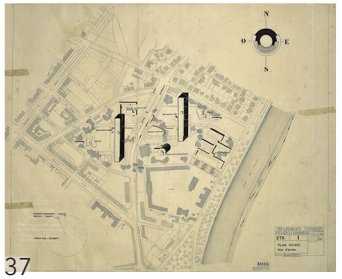












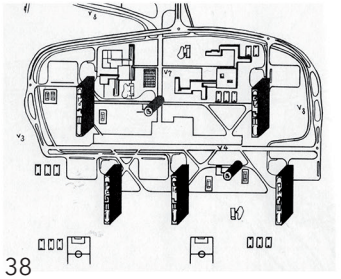


Fig. FD.3.56. Matriz 2 de proyectos de urbanismo (21-39, 1935-1958)

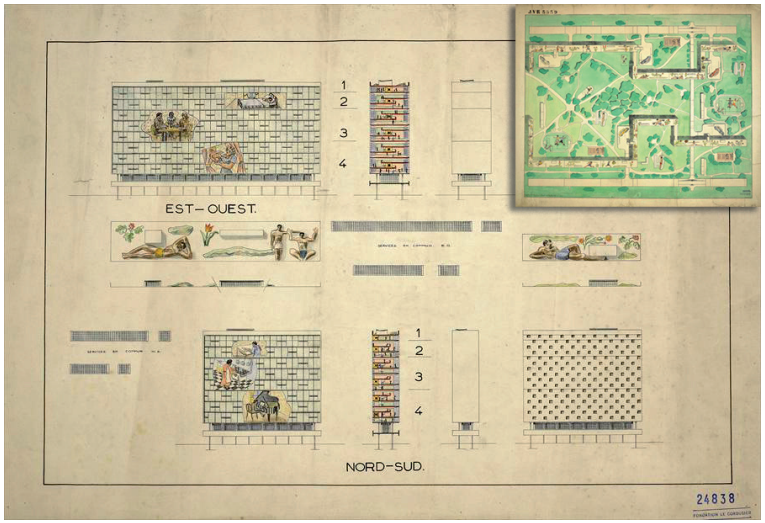


Fig. FD.3.57. Jeu Ville Radieuse, 1938

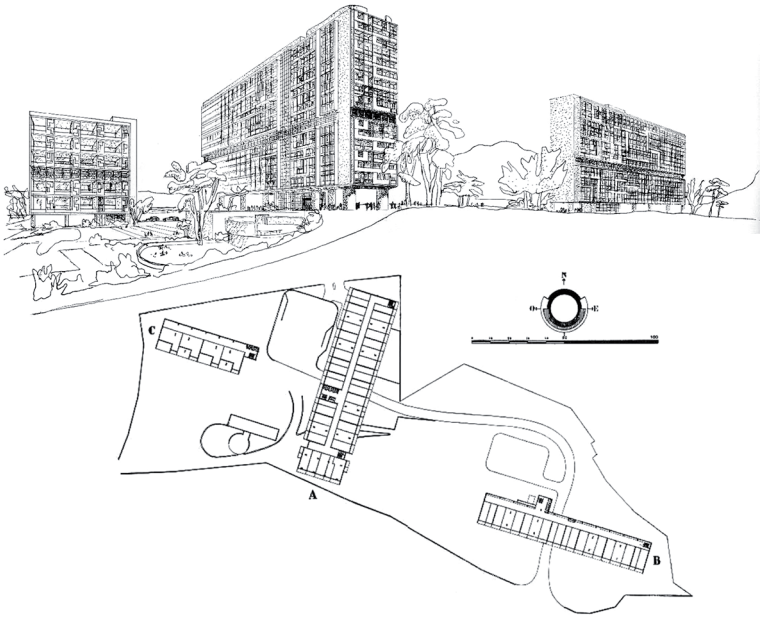


Fig. FD.3.58. Unité de granderu conformé (sin lugar, 1945)

bloques con eje sensiblemente este-oeste (fachadas norte y sur), el corredor se desplaza a la fachada norte de manera que las piezas vivideras recaen a sur. Esta característica de secciones diferenciadas, aunque no completamente desarrollada, ya existía en los planes anteriores como el *Plan Voisin*, pero a partir de la *Cité Radieuse* influye en la profundidad edificada del bloque y en el diseño de fachadas. En un juego de planos preparado para una exposición, se dedica una lámina a explicar este idea (Fig. FD.3.57).

El rascacielos cartesiano fue planteado finalmente en un número limitado de proyectos (ver tablas TD.3.01 y TD.3.02), además solo hasta 1936, en el Plan Director de Buenos Aires, en el periodo que podemos denominar intermedio. Desaparece después completamente hasta 1958, cuando reaparece por última y única vez en el Plan Urbanístico en Berlín, donde se orientan a oeste.

La apuesta definitiva de Le Corbusier, a partir de 1936, fue la utilización de bloques lineales tipo *Unité (Unité de grandeur conformé)*, orientados siempre, con ligeras variaciones, con un eje longitudinal norte-sur, de manera que las fachadas principales daban a este y oeste. Indudablemente buscaba la simetría térmica y así lo indicaba con los iconos de información cardinal, donde se dibujaba el periodo solar. Son ejemplos: *Urbanización en Marsella* (1945, nº 27), primer gran plan de estas características, *Urbanización en Saint-Dié* (1945, nº29) y *Urbanización Quartier Roterdam* (1951, nº 37).

No se acopla a esta línea general el Plan de Chandigarh (1950, nº34, Fig. FD.3.51) y su *Capitolio* (1950, nº 35), que se orientan buscando que el viento favorezca la ventilación de los interiores, tan necesaria en la India para el control higrotérmico.

Tampoco el proyecto teórico *Unité de grandeur conformé* (1945, nº 30, Fig. FD.3.58) en el que parece que Le Corbusier quisiera exponer cómo orientar todas las tipologías que utiliza. Se dispone un edificio de corredor central (orientado según el eje heliotérmico), otro de corredor lateral (perpendicular al anterior) y finalmente un *immeuble-villa* de cuatro viviendas por planta (también

perpendicular). A pesar de ello, todas las Unités que finalmente construyó no siquieron este esquema, sino que las orientó estrictamente con eje norte-sur, (Fig. FD.3.59).

[La Unité construida en 1956, en Briey-en-Forêt, en los planos de la Œuvre *complète* esta dispuesta igual que el resto, pero según la vista aérea de Google Maps parece que está girada aproximadamente -10°.]

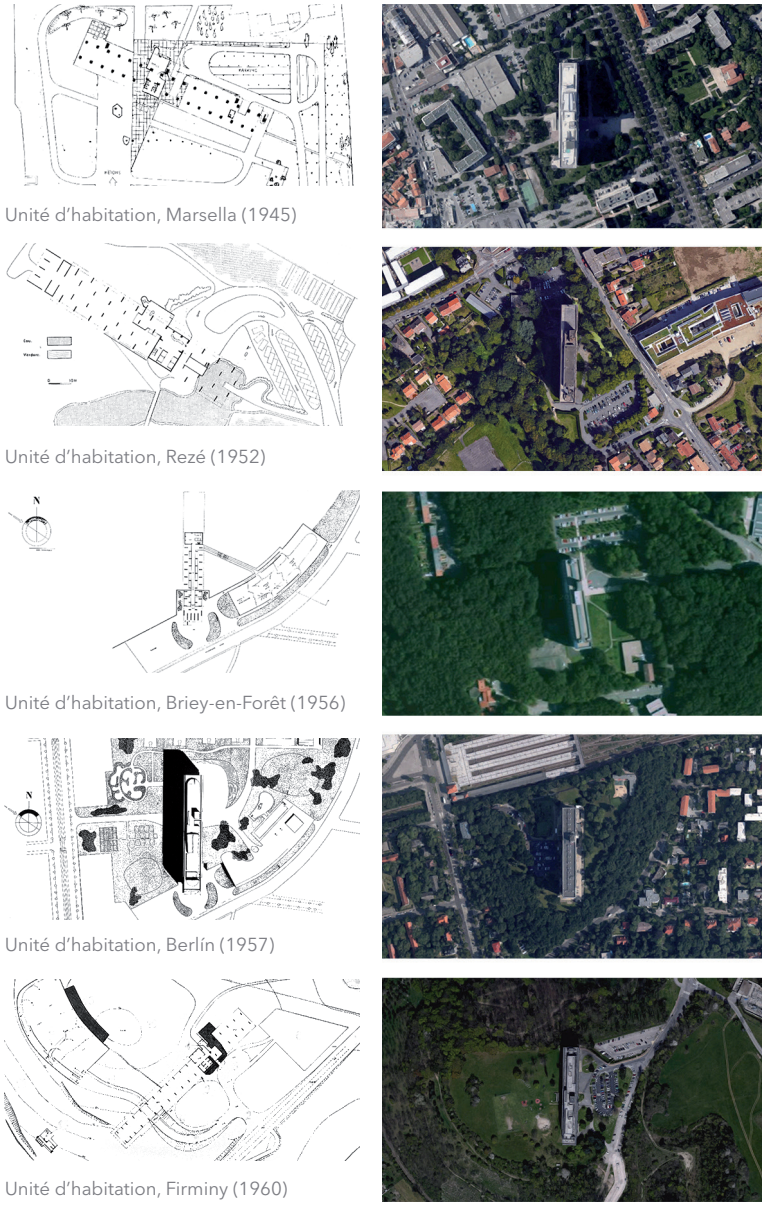
Brise-soleil

Durante su carrera, Le Corbusier perfecciona el *brise-soleil* y, al igual que el resto de sus descubrimientos técnicos, lo transforma en un nuevo elemento de su lenguaje arquitectónico.

> *La fachada de la calle de la Casa Curruchet, por ejemplo, se considera como una puesta a prueba de los potenciales del brise-soleil en hormigón. Aquí, los problemas de distribución, asoleamiento y estética se abordan simultáneamente.* (Benton 1987:128)

No fue denominado de manera consciente como tal hasta 1948, pero tal y como dice Daniel Siret tuvo dos probables orígenes de nacimiento (Siret 2004:2). Por un lado frente a la dureza climática africana en la *Villa Carthage* (*Villa Baizeau*, 1928), que el mismo Le Corbusier reconoce en la Œuvre *complète* que ya hemos visto; por otro lado, también sitúa el punto de partida en su apartamento de la calle *Nungeser et Coli* (1934):

> *Ha sido en un país templado, en París, donde he sentido los efectos indeseables del sol en ciertas estaciones (verano) detrás de un paño de vidrio. Este acristalamiento que es adorable durante diez meses deviene un enemigo en la canícula. Sería necesario entonces inventar algo. Es en mi atelier privado de la calle Nungesser et Coli, donde he sufrido en silencio (¡y con razón!), que he abierto los ojos al brise-soleil, que lo he imaginado, que lo he bautizado con este*



Unité d'habitation, Marsella (1945)

Unité d'habitation, Rezé (1952)

Unité d'habitation, Briey-en-Forêt (1956)

Unité d'habitation, Berlín (1957)

Unité d'habitation, Firminy (1960)

Fig. FD.3.59. Comparativa orientación Unités d'habitation construidas. Orientación del plano tal y como se muestra en la Œuvre *complète*

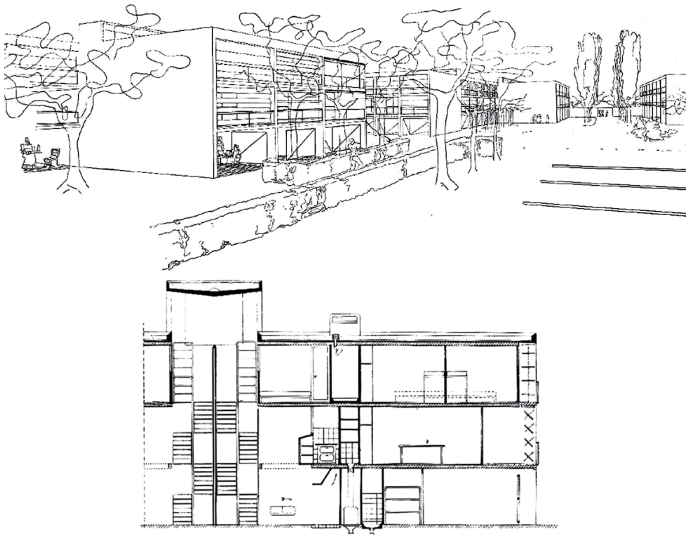


Fig. FD.3.60. Vista y sección de Alojamientos en Barcelona (1931)

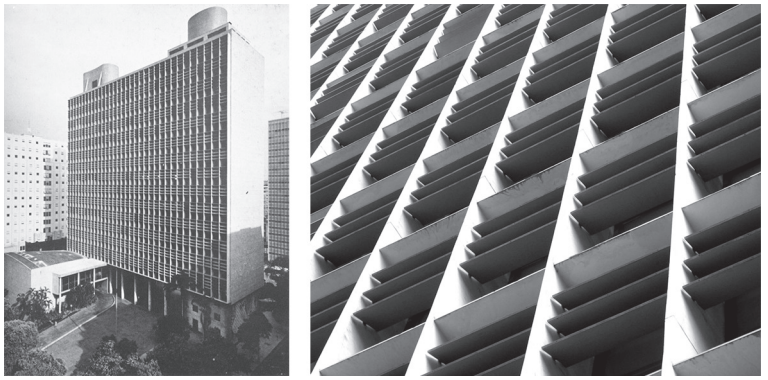


Fig. FD.3.61. Ministerior de Educación Pública y Salud, Río de Janeiro (1936). Arquitectos: Lucio Costa, Oscar Niemeyer y Le Corbusier.

196. Se trata de una publicación doble que incluye el Informe técnico del Plan Director para Bogotá y una serie de artículos analíticos sobre el arquitecto, así como las conferencias que impartió.

197. GATEPAC: Grupo de artistas y técnicos españoles para el progreso de la arquitectura contemporánea.

> *término que ha devenido universal hoy: el brise-soleil.* (Le Corbusier 1958:114)

Lejos de ser un condicionante, se convierte en un una oportunidad de explorar nuevos universos plásticos. En una conferencia que imparte en Bogotá el 20 de julio de 1947, dice:

> *Ahora se trata de evitar esta luz que sale del sol, que está presente en invierno y que se vuelve dramática en verano, incluso en los lugares más sórdidos de París. Pues delante de una evidencia tal como la entrada posible de luz, hemos tenido que admitir o las buenas cosas o renunciar a tanto vidrio y tanta luz, y eso es una lástima, es un crimen contra el progreso. O bien podíamos permanecer positivos y permitir la entrada de toda la luz favorable en invierno y toda la sombra favorable en verano. Y bien, todo esto, refiriéndose a las leyes del sol, es fácil hacerlo de una manera simple. El objetivo es este: la cota del sol en invierno y la cota del sol en verano. Esas dos cotas nos darán la solución que necesitamos. Sol de invierno, sol de verano.* (Le Corbusier 2010:35-36)[196]

En definitiva, la función principal del *brise-soleil* consiste en conciliar los beneficios del sol en invierno y generar sombras en verano. El asunto se plantea de manera teórica en varios proyectos en la década de los treinta, que no llegan a construirse. Entre 1932 y 1940, el *brise-soleil* se materializa en formas bien diferentes: una serie de "cajas" ancladas a los paños de vidrio de las fachadas sur y oeste en los proyectos residenciales de Alger (1933), una retícula homogénea en el Palacio de justicia, también en Alger (1938), como un sistema de celosías pivotantes en el proyecto para Barcelona (1933), lamas oblicuas y parteluces verticales en Rio (1936).

Destacan las protecciones solares propuestas para los alojamientos en banda del Plan Macià en Barcelona, en el que participó por invitación de los miembros del GATEPAC[197], entre los que estaba José Lluís Sert (1902-1983). Estas son unas bandejas (lamas) móviles que pueden orientarse para el control de la entrada de

luz y rayos solares directos.[198] En contadas ocasiones volvió a proponer elementos móviles;[199] que se llegaran a construir, sólo en el edificio del Ministerio de Educación de Rio de Janeiro de Lucio Costa y Oscar Niemeyer. Los arquitectos brasileños, obtienen el encargo a través de un concurso organizado por el ministro de entonces y consiguen rápidamente que Le Corbusier sea invitado a Rio para participar con ellos en el proyecto. En los primeros bocetos se observa como por primera vez se abandonan los principios del *mur neutralisant* y de la *respiration exacte* para un edificio monumental y presenta esquemáticamente un sistema de lamas verticales y horizontales que el equipo de arquitectos desarrolla posteriormente a su marcha. No se sabe si desde los trazos iniciales o bien una vez se realizó la concreción detallada, pero lo cierto es que se incluía un astuto sistema de orientación de las protecciones (Benton 1987:128).

Otros proyectos, anteriores a la guerra, en los que estudia diferentes posibilidades plásticas, son la Estación biológica de Roskoff (1939) y el rascacielos del Barrio de la Marina en Argel (1938-42). En ellos se "engrosa" la piel exterior del edificio mediante la interposición de balcones conformados por la misma reticula del *brise-soleil*. El espacio exterior cubierto gradúa el diferencial de temperaturas al crear una zona de sombra en contacto con la piel de vidrio y al mismo tiempo funciona como un espacio de estancia al aire libre para los trabajadores dentro del propio edificio. Igualmente evita los reflejos directos del sol en el mar y la lluvia.

En la Œuvre *complète 1938-1946*, analiza en el apartado *Problèmes de l'ensoleillement* (Fig. FD.3.65, pág. siguiente) las diferentes concepciones de la ventana a lo largo de la historia y las ventajas que aporta el uso del *brise-soleil* dando diferentes ejemplos de sus trabajos hasta la fecha.

> *Os voy a mostrar una serie de pequeños descubrimientos sucesivos que me han permitido ser y seguir siendo amigo del sol y aportar, incluso en ciertos países como Brasil bajo el sol tropical, las soluciones que son las primeras en dejar florecer en total libertad*

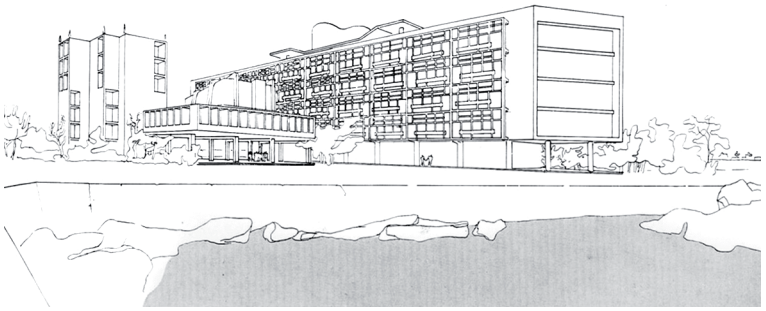


Fig. FD.3.62. Estación biológica de Roskoff (1939)

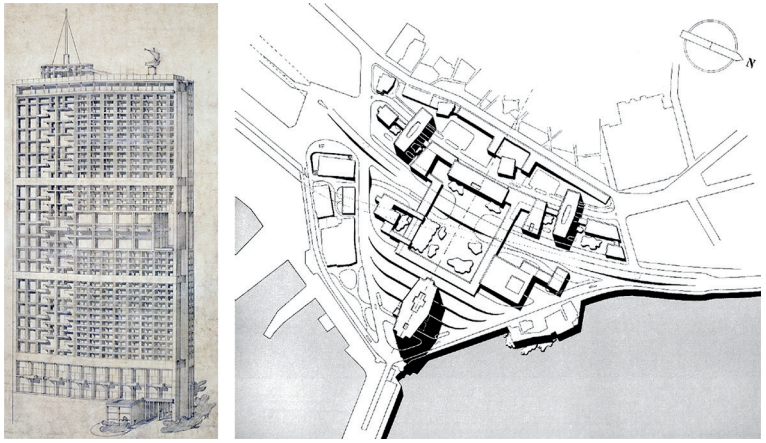


Fig. FD.3.63. Rascacielos del barrio de la Marina, Argel (1938-42)

198. Tal y como demuestra Ignacio Requena, las lamas resultaban excesivas en su protección puesto que los niveles lumínicos en el interior no superarían los 300 lux, protegiendo de la radiación directa más de un 90% a lo largo de todo el año.(Requena Ruíz 2011:70).

199. En una propuesta posterior a la segunda guerra mundial de protección solar para el *Pavillon Suisse* que no se desarrolló, proponía un sistema de brise-soleil de estas características.

En los esquemas de *Problèmes de l'ensoleillement* reconocemos proyectos de esta década:

- 13. Villa Baizeau , Cártago (1928) [Indicado en esquema]
- 14. Alojamientos en banda, Plan Macià, de Barcelona (1933) [Indicado en esquema]
- 15. Une Maison Locatif, Argel (1933)
- 16. Propuesta inicial para el Ministerio de Educación en Rio de Janeiro, Río de Janeiro (1936) [Indicado en esquema]
- 17. Propuesta definitiva para el Ministerio de Educación Pública y Sanidad en Rio de Janiero, Brasil 1936
- 18, 19, 20 y 21. Rascacielos en el Barrio de la Marina de Argel (1938-42). Secciones, alzado y vista interior de las oficinas [Indicado en esquema]

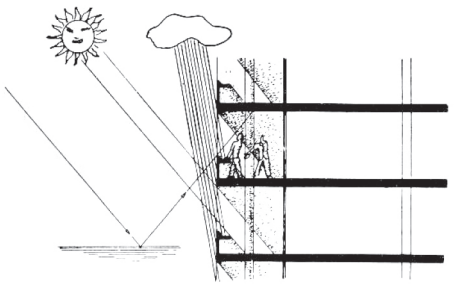


Fig. FD.3.64. Esquema de sección explicando el funcionamiento del brise-soleil en el rascacielos del barrio de la Marina de Argel. En el pie de la ilustración indica:

> *...A l'intérieur de l'immeuble circule l'air conditionné. Ni le soleil, ni les reflets aveuglants de la mer ne troubleront le travail. La forme et les dimension du brise-soleil sont déterminées par une épure d'ensoleillement qui est elle-même fonction de la lattitude du lieu et de l'orientation des façades.*

Traducido:

> ...En el interior del inmueble circula el aire acondicionado. Ni el sol, ni los reflejos molestos del mar interferirán con el trabajo. La forma y las dimensiones del *brise-soleil* están determinadas por un esquema de asoleo que es función de la latitud del lugar y de la orientación de las fachadas.

> *la vida moderna en un país con unas condiciones climáticas imperativas*...(Le Corbusier, Jeaneret 1950:103)

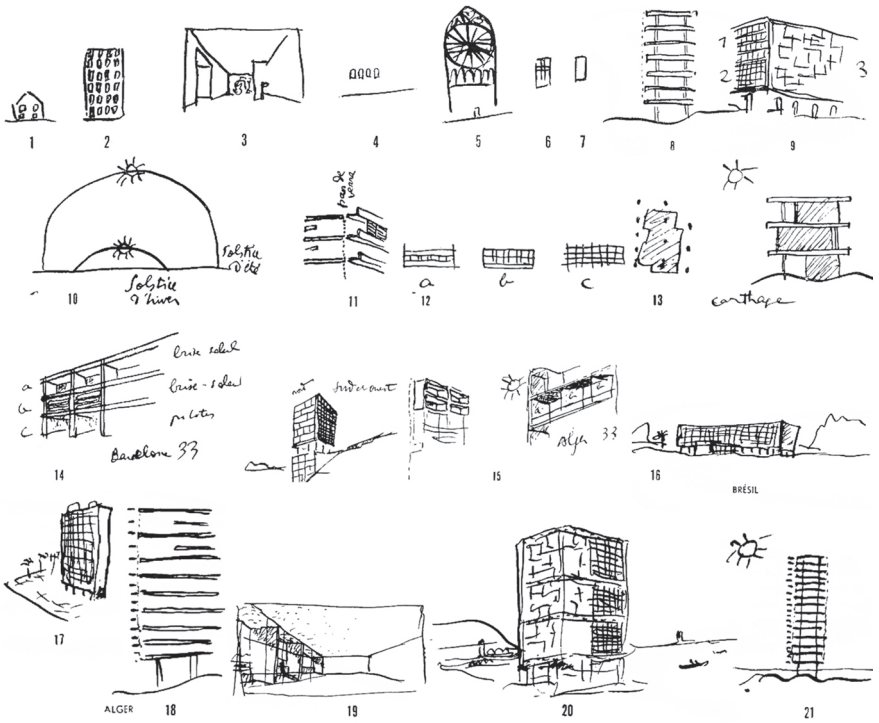


Fig. FD.3.65. Esquemas de *Problèmes de l'ensoleillement. Œuvre complète* 1938-1946

Los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial se caracterizan por un periodo eminentemente teórico en el que se concibe y concreta la *Unité* como aglutinante de sus teorías arquitectónicas y en el que dedica gran parte de sus esfuerzos al planeamiento. Tanto en las publicaciones, como en las múltiples conferencias que imparte, los dibujos de planta se acompañan generalmente de esquemas que sintetizan magníficamente sus ideas. No podemos olvidar que Le Corbusier

era un gran comunicador y que utilizaba los medios necesarios para transmitir exactamente aquello que quería transmitir.

En los primeros estudios concernientes a la *Unité d'habitation,* la búsqueda continúa y ahora persigue integrar la protección solar en los balcones. A partir de 1945 Le Corbusier hace que el propio peto esté perforado de manera que la terraza está detrás de una malla realizada en hormigón que protege, especialmente al mediodía, pero que es transparente a las vistas y a la entrada de aire.[200] Aunque la idea del *brise-soleil* sea muy evocadora en general, en las *Unités* soporta mal el análisis, en las orientaciones este-oeste (orientación que tal y como hemos visto tienen todas) es verdaderamente una quimera puesto que, según modelización y análisis informático, las proporciones de las *loggia* son las mejores para una orientación sur, pero malas para las otras (Siret 2002:4).[201]

Construye entonces también la Factoría Duval (1945, *Sant Dié*) y la Casa Curruchet (1949, La Plata). En todos los casos, las protecciones se estudiaron y justificaron en el *Atelier des Bâtisseurs* (AtBat), oficina técnica, fundada por Le Corbusier en 1943, donde se redactaban los proyectos (principalmente ejecutivos) de los grandes edificios. En estos dos ejemplos, los *brise-soleil* se apoyan sobre la estructura del edificio tan solo en ciertos puntos, es decir conceptualmente estaban superpuestos.

> *En Sant Dié, el muro cortina estaba […] protegido por un brise-soleil de hormigón; claramente articulado y sutilmente separado de la fachada, era una parte integral del edificio original. Las tres partes eran independientes la una de la otra, pero unificadas: el marco de hormigón, el muro cortina y el brise-soleil, aparentemente flotando, todos regulados por le Modulor.* (Zaknic 2004:313)[202]

A partir de aquí, siempre pasaron a ser una prolongación de los elementos estructurales. Esta evolución teórica, en la práctica es contraproducente en cuanto a transmisión de calor al interior del edificio se refiere. Obviamente, si el

Fig. FD.3.66. Vista actual Usine Duval, Saint-Die (1945)

Fig. FD.3.67. Vista frontal Casa Curruchet, La Plata (1949)

200. Veremos que este nuevo matiz supone un notable avance, de hecho la ventilación natural se convertirá en una cuestión principal en sus edificios de la India.

201. En relación a la capacidad de comunicación dirigida, tal y como resalta Daniel Siret (2002:4), cuando presentaba la sección con los estudios solares de las *Unités* para indicar que en invierno el sol penetraba toda la profundidad de la célula, no mostraba el esquema en planta que hubiera demostrado que el sol era tapado por las paredes laterales de la *loggia*.

202. Traducido por el autor: *At Sant Dié, the curtain Wall was indeed protected by a concrete brsie-soleil; while clearly articulates and subtly separated from the glazed façade, it was an integral part of the original building. All three part were independent of each other, yet unified: the concrete framework, the curtain wall, and the seemingly floating brise-soleil, all regulated by the Modulor.*

Fig. FD.3.68. Viviendas Vallmon, Tibro (1945-47) Ralph Erskine

brise-soleil tenía que conformar un espacio accesible era difícil hacerlo de otra manera con una estructura de hormigón.

En este sentido, Ralph Erskine (1914-2005) arquitecto inglés que trabajó principalmente en Suecia, en la misma época alrededor de 1945, estaba construyendo en entornos completamente opuestos a los de Le Corbusier, es decir con climas extremadamente fríos. Su solución para evitar el puente térmico que supone proyectar el forjado hacia el exterior de la envolvente para crear un alero, terraza o balcón, fue colgarlos de una estructura exterior independiente. (Fig. FD.3.68)

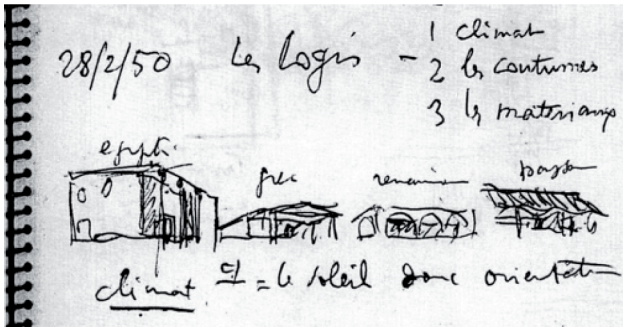
Finalmente, el trabajo de Le Corbusier en India demuestra su maestría, y la de sus colaboradores, adquirida en el uso del *brise-soleil* tanto a nivel funcional como estético. Los edificios construidos en el país constituyen una muestra de las posibilidades ilimitadas de este elemento que, en este momento, no es ni mucho menos nuevo pero gana mayor profundidad y adquiere las características de un lugar de estancia. Algo así, ya había pasado en el rascacielos del Barrio de la Marina en Alger (1938-42) pero en la India encuentra referencias locales. Le Corbusier presta especial atención a los elementos del lugar, siendo la *vérandah* uno de los más relevantes. Así lo indican algunos de sus apuntes gráficos y escritos.

> *La vérandah (palabra india) es la condición misma de la vivienda […] De noche se duerme en la cubierta de Abril a Octubre excepto Julio y Agosto = lluvia / se duerme en la vérandah."*[203]

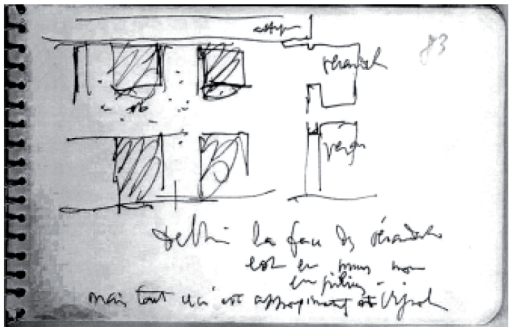
Sert, en una reseña sobre el arquitecto en el mismo año de su fallecimiento escribe:

> *Más que por las grandes realizaciones del pasado, Le Corbusier siempre ha esta impresionado por las obras anónimas, la arquitectura popular, viva, esto encaja perfectamente con su propia espontaneidad.* (Sert 1965)

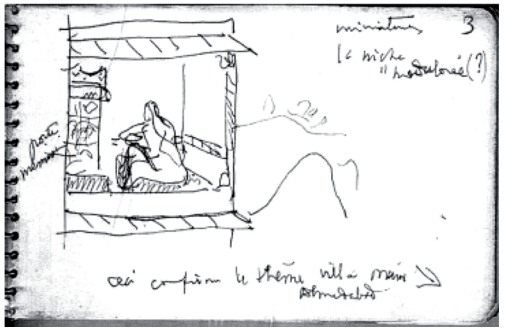
203. Álbum Punjab Simla. Chandigarh, Mars 1951, p. 17 (en los archivos de la FLC). Extraída de (Candela Suárez 2009)



1



2



3

Fig. FD.3.69. Dibujos en *Carnets*, Le Corbusier
1. y 2. *Carnet E21*, ilustración 497
3. *Carnet E23*, ilustración 611

En los dibujos que realizaba en sus cadernos cuando viajaba, quizá pensando en las soluciones que a lo largo de la historia pudieran asimilarse a la *vérandah* india, Le Corbusier esquematiza una casa egipcia, una griega, una renacentista y otra campesina (Fig. FD.3.69.1). En todas ellas, una especie de *loggia* antecede a la fachada orientada al sol. Acompaña a los dibujos el apunte:

Les Logis - 1 climat	Las viviendas - 1 clima
2 les coutumes	2 las costumbres
3 les materiaux	3 los materiales
climat = le soleil donc orientation	clima = el sol entonces orientación

En el anverso de la página, una nota resulta concluyente: "Costumbres: la *vérandah* es la clave (cumple con el sol)". En otra página de los apuntes (Fig. FD.3.69.2) esquematiza la fachada y la sección de un edificio de dos niveles, explicando: "Los laterales de las *vérandahs* son muros no pilares…" *(La face des vérandah est en murs no en piliers)*

A simple vista puede comprenderse el rol vital que cumple este espacio exterior cubierto dentro de la vida doméstica india (Fig. FD.3.69.3). Le Corbusier comprendió desde un principio su valor cultural, pero a la vez debió de reconocer su potencial arquitectónico: espacio de transición, vacío generador de

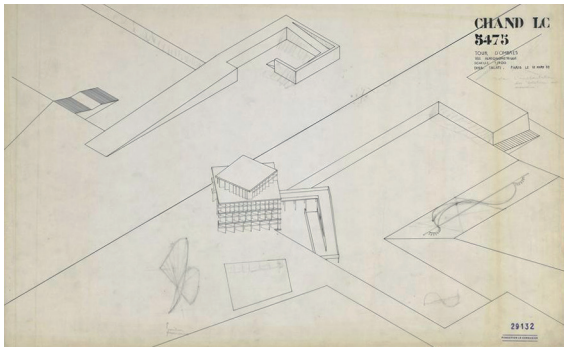


Fig. FD.3.70. Axonometría de la *Tour d'ombres* y ordenación circundante que no se llegó a realizar, el complejo incluía otras construcciones como *l'Arc des Solstices* de Xenakis.

Fig. FD.3.71. *Tour d'ombres*. Fachada este y detalle brise-soleils.

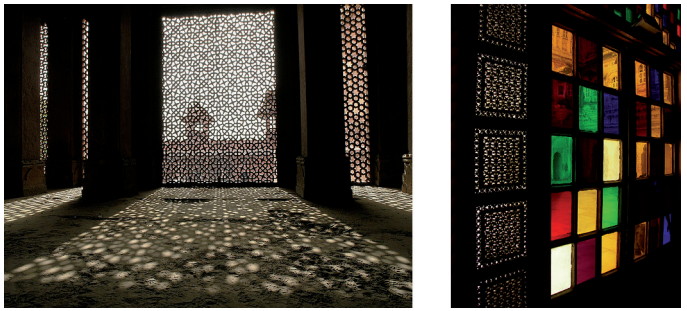


Fig. FD.3.72. Ejemplos de *Jali* en palacios indios

claroscuros, elemento capaz de ser domesticado, reelaborado e integrado en forma de arquitectura moderna.

En concreto, en la *Tour d'ombres* (Capitolio Chandigarh, 1951), a pesar de que en este caso el *brise-soleil* es una envolvente y no un espacio de estancia, da una brillante demostración de sus posibilidades. Toda la serie de proporciones y dimensiones variables en altura y orientación son capaces de hacer que en el interior del cascarón nunca se produzca la entrada directa de un rayo de sol y con un nivel de iluminación aceptable para un edificio representativo. Incluso en el remate del edificio la malla de partesoles y bandejas se gira 45° respecto a las fachadas inferiores buscando remarcar esa capacidad de "domar" el sol independientemente de la orientación y posicionamiento.

En las viviendas y edificios, la conjunción del brise-soleil con los diseños de carpinterías interiores y colores en los vidrios (especialmente en los espacios domésticos), confoman un entramado que recuerda a las mallas de piedra tallada típicas de los palacios indios, denominadas *jali* (Shodhan 2008:37). De nuevo toma referencias culturales y de nuevo es una innovadora modernización del concepto.

Fig. FD.3.73. Vista interior de la sala de estar de la Vivienda Shodhan, Ahmedabad (1952)

En este mismo apartado analizamos un elemento que aunque tiene entidad propia es concebido e incluso nombrado en muchas ocasiones por Le Corbusier como un *mur horizontal*: el parasol (Le Corbusier [1922] 1977:150).

Brise-soleil y parasol son dispositivos planteados sobre la necesidad de resolver un problema climático. Y para él, la necesidad es el punto de apoyo de la invención estética.

Como ya veíamos, en la *Maison Baizeau*, concebida casi treinta años antes de trabajar en la India y que había sido un proyecto iniciático en cuanto a los *brise-soleil,* también presentaba en su diseño inicial –el que tenía sección en doble "C" invertida– un parasol idéntico al que luego se utiliza para la *Villa Hutheesing-Shodhan*. Respecto a la primera, mejora ampliamente su funcionamiento climático y supera las simetrías formales que la limitaban.

El parasol aparece en casi todos los proyectos de la India. En unos tiene más peso que en otros. Además de en la *Villa Hutheesing-Shodan (1952)*, en la *Haute Cour* (1952) y en la *Villa du Gouverneur* (1950-1965) marca claramente la imagen de los proyectos; pero lo podemos encontrar en las *Maisons de Péons* (1950-1952), en el *Secrétariat* (1953), en la *Villa Sarabhai* (1955) y en el *Palais des Filaterus* (1952).

Es un elemento con un valor de control higrotérmico muy alto porque supone la creación de una sombra sobre la vivienda –las cubiertas siempre reciben la radiación del sol en las horas en las que está más alto– y al estar separado permite la libre circulación de aire que disipa el calor almacenado. Le Corbusier anota en un cuaderno (Fig FD.3.76):

Le parasol perforé largementel	El parasol perforado ampliamente:
1° pour la brise	1° para la brisa
2° pour les plants	2° por las plantas
3° pour les lits	3° por las camas

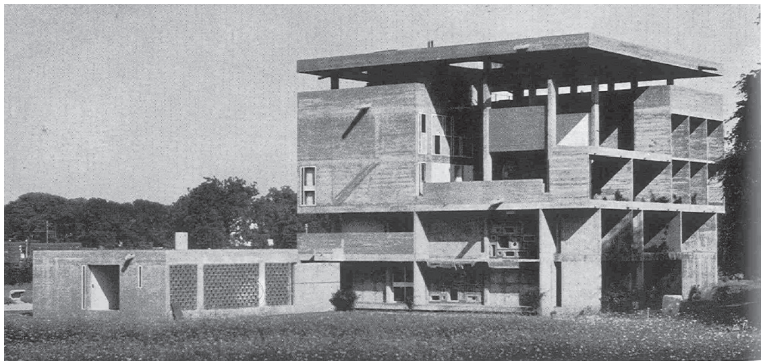


Fig. FD.3.74. *Villa Shodhan*, Ahmedabad (1952). Vista de las fachadas NO y SO

Fig. FD.3.75. *Haute Cour*, Capitolio Chandigarh (1952)

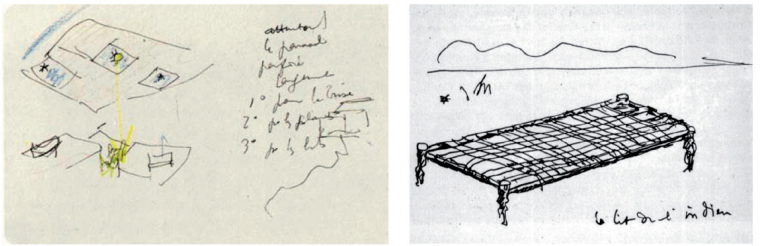


Fig. FD.3.76. FLC W1.2.967 (junio 1953) Dibujos y apuntes (el parasol y la cama india)

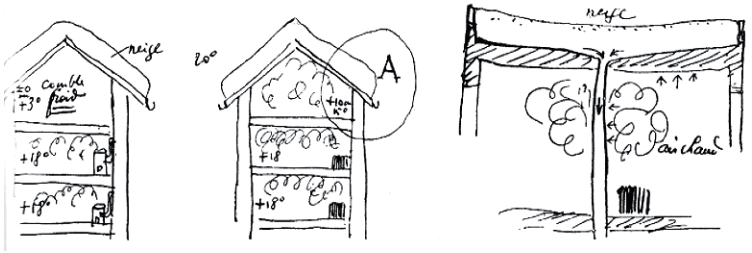


Fig. FD.3.77. Esquemas de cubierta jardín. Le Corbusier

Fig. FD.3.78. *Villa Le Lac,* Corseax, Suiza (1923)

Fig. FD.3.79. *Villa Savoye*, Poissy, Francia (1928). Ajardinamiento en patio y cubierta.

Con el vocabulario evocador que Le Corbusier solía utilizar, definió su etapa en la India como "la conquista de las sombras y del frescor".

Cubiertas Ajardinadas

La cubierta ajardinada se da en gran cantidad de proyectos de Le Corbusier. Fue formulada muy pronto y respondía más bien a ideas proyectuales abstractas, aunque también a una búsqueda específica de soluciones higrotérmicas. Las incluyo en los *cinq points d'une nouvelle architecture* (Fig FD.3.14):

- Los pilotis, que levantan la masa por encima del terreno.
- La planta libre, conseguida mediante la separación de las columnas portantes y las paredes que subdividen el espacio.
- La fachada libre, corolario de la planta libre en el plano vertical.
- La ventana corrida, horizontal e independiente de la partición interior.
- La cubierta ajardinada.

En principio se justificaba como devolución a la "naturaleza" del terreno ocupado por la casa, favoreciendo el disfrute de un jardín privado, que actuaba a su vez de solárium, pero el mismo Le Corbusier era consciente del papel que jugaba para alcanzar el confort interior. Su capacidad aislante protegía las nuevas cubiertas de hormigón armado plano de los cambios de temperatura exterior. También las planteó como solución para reducir las necesidades de calefacción en los espacios interiores. Adicionalmente la cubierta plana –que facilita el ajardinamiento– posibilita la colocación de las bajantes en el interior de la vivienda y al estar el interior calefactado se evitaba, que en los días más fríos, estas se congelaran con los problemas consiguientes. (Fig. FD.3.77)

En 1927 Le Corbusier publicó, en la revista *L´Architecture Vivante,* "*Théorie du toit-jardin*", un documento que trata del planeamiento y el uso de la terraza. En él defiende su uso extensivo para todo tipo de climatologías.

> *Se puede admitir que igualmente es aplicable a los casos medios (climas templados, suaves, o incluso cálidos). El hormigón armado es el nuevo medio que permite la realización de una cubierta homogénea […]. En conclusión: razones de orden técnico, económico, de confort e incluso sentimentales nos llevan a adoptar como solución la cubierta terraza.* (Le Corbusier 1927:18)

Obras en localizaciones tan distintas como la *Villa Le Lac*, que hizo para su madre frente al lago Le Mans; la *Villa Henfel* (casa para fin de semana) o la *Villa Sarabhai* son testimonio de aquello en lo que Le Corbusier tanto insistió años más tarde: la conjunción entre el soporte de hormigón armado, la impermeabilización flexible y el remate mediante una capa vegetal es una de las soluciones constructivas más acertadas y duraderas que se pueden realizar.

Lo cierto es que la utilización de cubiertas ajardinadas ha tenido gran proyección histórica de manera destacable en la época actual, habiendo generado un curioso concepto comercial, las cubiertas ecológicas, en el marco de la denominada "naturación urbana". Las cubiertas vegetales suponen una herramienta bioclimática de primer orden por la cantidad de ventajas que tienen. No sólo a nivel higrotérmico sino acústico, de contaminación y de absorción de CO_2.

Para la edificación en la que se sitúan reducen la escorrentía superficial en las zonas donde existen episodios de lluvias intensas que puedan colapsar el alcantarillado. En una cubierta estándar de unos 15cm de sustrato la escorrentía se reduce alrededor de un 50%. Respecto a la durabilidad, prolongan la vida útil de la cubierta reduciendo las dilataciones térmicas de los elementos de cubrición. Las cubiertas verdes, por su cromatismo, absorben menos calor del que reflejan, lo que aumenta significativamente su vida. Los techos verdes raramente alcanzan temperaturas por encima de 30°C, mientras que los techos de asfalto negro pueden llegar a temperaturas de alrededor de 71°C. Por este motivo actúan como aislamiento en verano reduciendo la demanda de aire

Fig. FD.3.80. *Villa Henfel* (maison du wekk-end), La Celle-Saint-Claude, Francia (1934)

Fig. FD.3.81. *Maisons Jaoul*, Neuilly-sur Seine, París, Francia (1956). Vista de cubiertas desde la casa B, planta segunda.

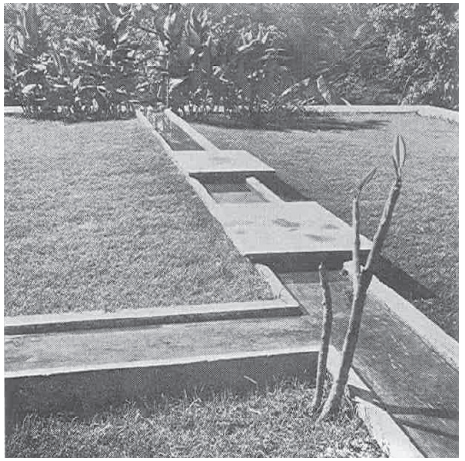
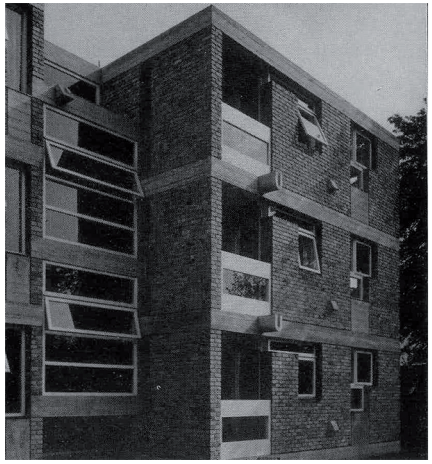


Fig. FD.3.82. *Villa Sarabhai*, Ahmedabad, India (1951). Delle ajarinamiento y canalización de agua en cubierta.

Fig. FD.3.83. *Maisons Jaoul*. Vista desde patio de acceso



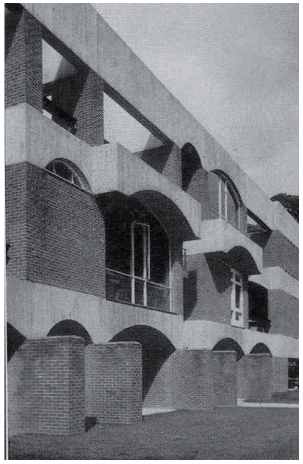


Fig. FD.3.84. (izq.) Viviendas en Ham Common, Surrey, Inglaterra (1955-1958) James Stirling y James Gowan.
(dcha.) Universidad de Sussex, Inglaterra (1959) Basis Spence and partners

204. Datos numéricos extraídos de www.urbanarbolismo.es y de "*Naturación urbana un desafío a la urbanización", Revista Chapingo* (Urbano-López 2013)

acondicionado. Por el otro lado, en invierno la vegetación crea una capa que limita el movimiento del aire en la cubierta por lo que mejora su comportamiento térmico frente al frio.

En el entorno inmediato de la edificación y a nivel de ciudad reducen el efecto isla de calor. En general, la vegetación dentro de una ciudad ayuda al enfriamiento de la zona circundante. Al crear una superficie con vegetación, se reduce la temperatura del aire exterior.

Finalmente mejoran la calidad del aire: 1m^2 de cobertura vegetal genera el oxígeno que necesita una persona durante un año, 1m^2 de cobertura vegetal atrapa 130g de polvo al año, absorbe CO_2 y reduce hasta 10dB la contaminación sonora.[204]

Materialidad

> *En la década siguiente (1950-60)... El mundo de la arquitectura anhelaba su trabajo, temblaba y obedecía. [...] De las casas Jaoul, Stirling y Gowan inteligentemente aprendieron un nuevo camino en la arquitectura doméstica (y el resto del mundo aprendió de ellos.* (Banham 1966)

Las *Maison Jaoul* en *Neuilly-sur-Seine*, París (1954-56) es una de las obras que mejor representa esa utilización de materiales más elementales que se ha tratado anteriormente. Estas viviendas están construidas con ladrillo, hormigón, rasillas planas, bóvedas "a la catalana", cubiertas revestidas de hierba.

Cabe destacar que, aunque realmente no es una obra rompedora sino que se encuadra en una línea evolutiva lógica que comenzó en la década de 1930, sí que tuvo mucha repercusión en los arquitectos coetáneos, muchos de los cuales evolucionaron hacia una corriente postmoderna. Probablemente esto ocurrió así porque su dimensión es superior a otras viviendas anteriores, por la

complejidad del programa fantásticamente resuelto y por su localización muy cercana a *les Champs Elysées* en Paris.

Se proyectaron en la misma época en la que Le Corbusier estaba escribiendo y pintando el *Poême de l'angle droit*, trabajando en sus grandes proyectos en la India y en proceso de concreción del concepto de *l'espace indicible*. Por tanto se idean en un periodo en el que la materialidad es básica para el arquitecto.

> *No hay referencia alguna a ningún aspecto mecánico en Jaoul, ni en construcción ni en estética. Estas casas que en total costaron 30.000 libras esterlinas, fueron construidas por obreros argelinos equipados con escaleras, martillos y clavos, y, a excepción del vidrio, no se utilizó ningún material sintético; tecnológicamente no suponen ningún avance con respecto a la construcción medieval.* (Stirling [1955] 1995:209)

Pero destilan modernidad en todos los aspectos. El nuevo repertorio de materiales: hormigón, ladrillo, madera, tierra y pétreos eran bastos y sin necesidad de acabados especiales, además eran más acordes con la estética que propugnaba por ese entonces y permitían un ahorro, con respecto a materiales más industrializados, del 20% tal y como argumentó Le Corbusier a los clientes (Martín Fuentes 2015:6).

Por tanto además de ser sostenibles térmica y naturalmente hablando, también lo eran económicamente. Desde un punto de vista actual, estos materiales son baratos por su abundancia, facilidad de obtención y en general cercanía entre el lugar de producción y de colocación (se reducen los transportes). Además debido a su buen comportamiento térmico reducen el consumo en acondicionamiento interior. Al menos en ese momento eran aislantes con mejor comportamiento que los industrializados y con una inercia térmica muy superior. Al ser productos naturales o con un reducido proceso de fabricación suponen una menor emisión de CO_2 a la atmósfera (han sido generados de manera natural por el propio planeta), en muchos casos su reutilización es factible, su

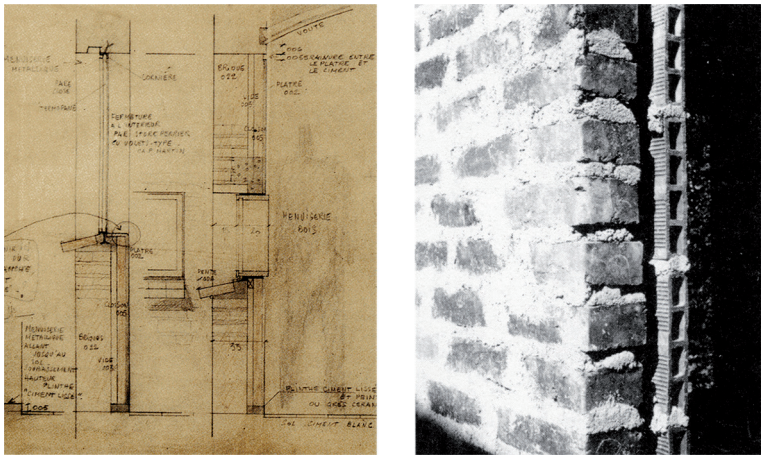


Fig. FD.3.85. Los cerramientos en las Maison Jaoul son de doble hoja con cámara de aire. Detalle constructivo, FLC 30649 (detalle)

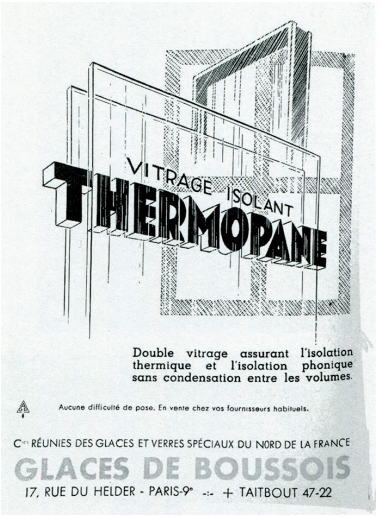


Fig. FD.3.86. En las viviendas se instaló desde el principio doble acristalamiento. Anuncio de Thermopane ("vidrio aislante") en Techniques & Architecture nº 5-6, 1952, p. 16

mantenimiento y reciclaje es sencillo y en cualquier caso, debido a su composición, son biodegradables.

Aunque es cierto que de este grupo de materiales de construcción se tiende a excluir al hormigón y a los cerámicos (ladrillo), las nuevas técnicas de trituración y molido para generar áridos para nuevos hormigones y rellenos los acercan al grupo de materiales con un reducido impacto negativo sobre el medioambiente por su capacidad de reciclaje.

Las Maisons Jaoul, suponen, además, la culminación de un *objet-type* que había iniciado mucho antes, caracterizado por la organización en bandas, la estructura muraria y la cubrición mediante bóveda. Como observamos en la tabla TD.3.03, en la que se relacionan los proyectos y obras de Le Corbusier en los que utilizó cubrición abovedada, ya en 1922, aparece en el proyecto *Maison d'artiste* un espacio con cubrición curva, muy similar al que utilizó luego en el *Immeuble Molitor* a principios de los treinta. Aquí, aunque se atisba la capacidad evocadora del espacio, todavía no se utiliza la bóveda como sistema estructurador de la planta junto al muro portante, algo que ocurrió definitivamente en la *Résidence Peyrissac domaine agricole*.

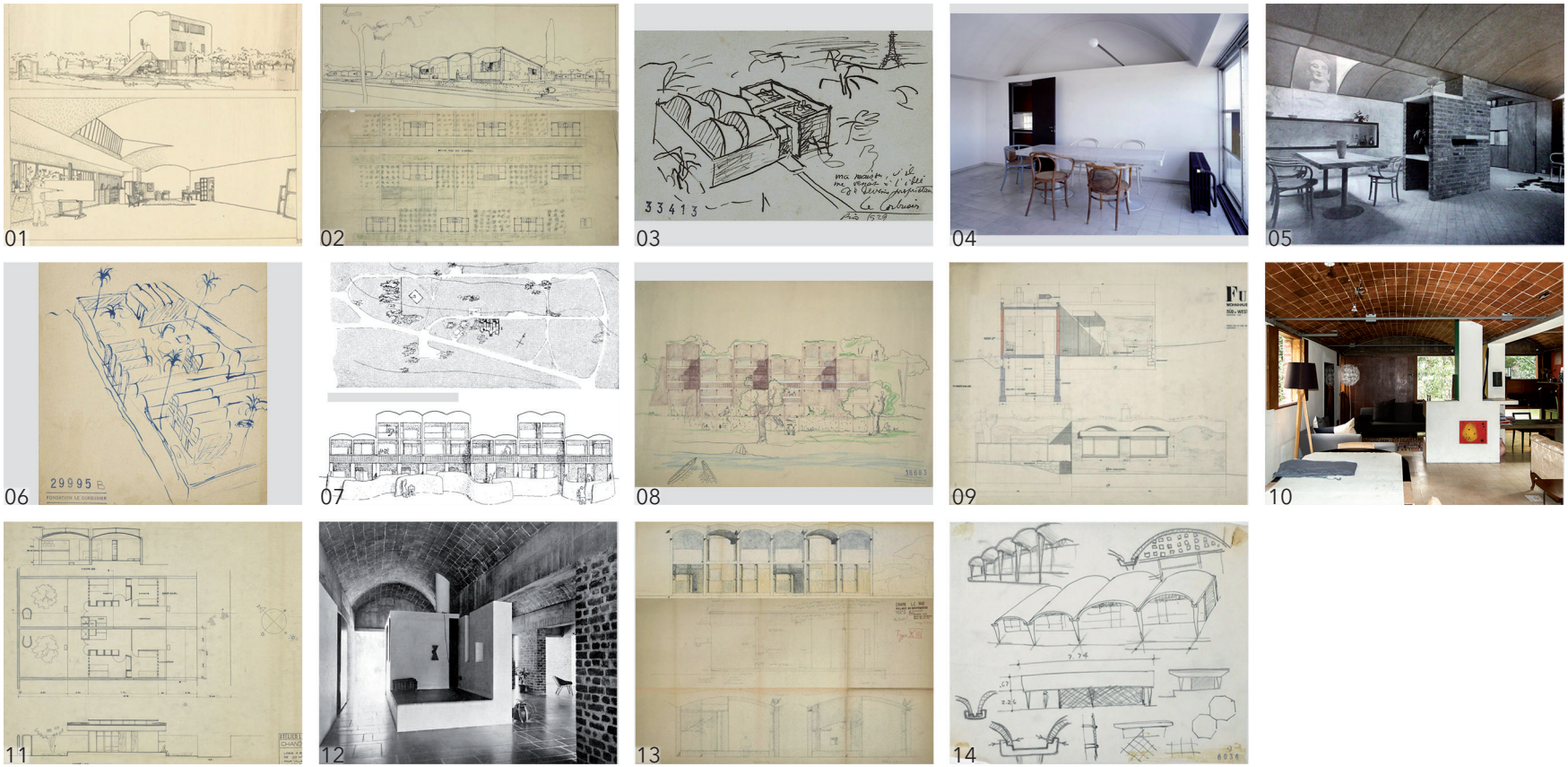
Nº	Proyecto	Ciudad	País	Año	Material	Ajardinamiento
1	Maison d'artiste	sl		1922	H	No
2	Maisons Monol	sl		1929	H	No
3	Ma Maison	sl		1929	H	No
4	Immeuble Molitor	París	Francia	1931 -1934	(Met)	No
5	Maison Henfel (de week-end)	París	Francia	1934 -1935	H + M	Sí
6	Résidence Peyrissac	Cherchell	Argelia	1942	(H)	No
7	Nouvelle cité de Saint-Baume	Saint-Baume	Francia	1948	H	Sí
8	Roq et Rob	Roquebrune-Cap-Martin	France	1949	(H)	Sí
9	Maison Fueter	Constance Lake	Suiza	1950	L	Sí
10	Maisons Jaoul	Neuilly-sur-Seine (París)	Francia	1951	L	Sí
11	Maisons de Péons	Chandigarh	India	1951 -1952	L	Sí
12	Villa Sarabhai	Ahmedabad	India	1951 -1956	L	Sí
13	Village du Gouverneur	Chandigarh	India	1959	L	Sí
14	Bureau Thapar	Chandigarh	India	1965	(L)	No

Tabla TD.3.03.Obras y proyectos con cubrición abovedada. Ver nota al margen.

Código de materiales:

H (hormigón)
Met (Estructura principal metálica)
M (Incluye revestimiento interior de madera)
L (Ladrillo cerámico macizo)

Se indica entre paréntesis cuando se ha supuesto el material en base a la documentación consultada, pero no se tiene completa evidencia.



En esta tipología de viviendas, en la que se incluyen las *Maisons Jaoul*, la *Villa Sarabhai,* el conjunto *Roq et Rob* o la *Maison Fueter*, entre otras, la composición en planta responde a un sistema de naves concatenadas, los muros son portantes y por tanto su espesor es mayor de lo que había sido en los cerramientos de las viviendas puristas. Los límites de mayor espesor y mayor inercia mejoran el comportamiento térmico y acústico de los paramentos que están revestidos por el interior para evitar las condensaciones (Boesiguer, Girsberger 1971).

Fig. FD.3.87. Matriz de proyectos y obras con cubrición abovedada. Referencia de proyectos en la tabla TD.3.03

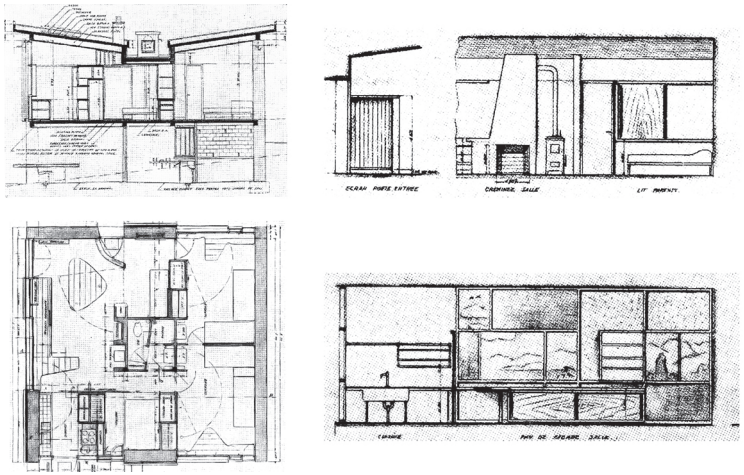


Fig. FD.3.88. *S.P.A. Lannemezan Type de maison pour contremaitre* (1940)
Planta, sección y alzados interiores

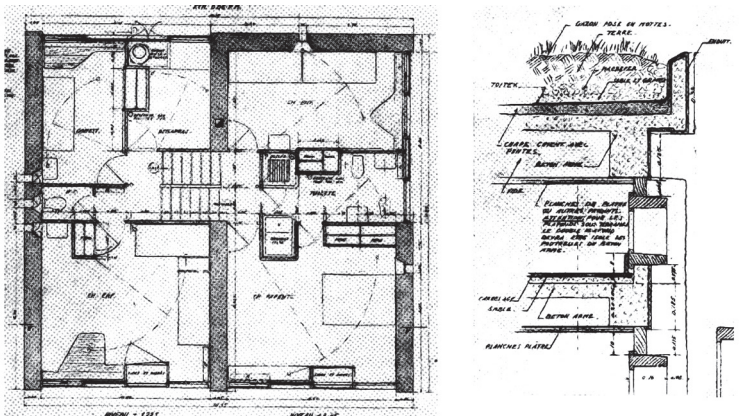


Fig. FD.3.89. *S.P.A. Lannemezan Type de maison pour ingenieur* (1940)
Planta y sección constructiva

205. A partir de la *Villa de Mme. Mandrot (1929-1930)*, todas las viviendas (tanto unifamiliares como plurifamiliares) que construyó en los siguientes treinta años tienen las carpinterías realizadas en su mayor parte en madera.

206. Le Corbusier, 1950. Œuvre *complète. 1938-1946,* Zurich:*Les editions d'Architecture*, pp. 103-115

Y a la vez que los cerramientos opacos adquieren espesor; los entrepaños o cerramientos semitransparentes ganan profundidad y se concreta "*Le quatrième mur*" –la incorporación de estantes y materiales opacos dentro de las ventanas– sintomático de la reciente actitud de Le Corbusier ante la profundidad de la superficie. Las ventanas no existen ya para mirar a través de ellas, sino para ser contempladas (Stirling [1955] 1995:210).

Cerramientos practicables (ventanas)

Conjuntamente con la nueva materialidad, la concepción moderna de la ventana como un desencuentro entre dos muros se potencia. Los entrepaños que cierran el espacio de muro a muro se construyen en madera[205] –material de altas prestaciones– y se componen de entramados o mallas de cuidada composición que disocian "huecos" de diferente función. Unos son transparentes –aunque no necesariamente practicables– para la iluminación; otros son practicables– aunque no necesariamente transparentes– para la ventilación; otros albergan estantes, incluso muebles cerrados y otros son simplemente opacos.

Son ejemplos de esta magistral aplicación de la "ventana" las viviendas trabajadas en la misma línea que la Casa Errazuriz posteriormente a 1930. Y a pesar de que al principio es menos obvio, a partir de los tipos de casas *S.P.A. Lannemezan para contremaître et* ingénieur (1940), el *quatrième mur*, tal y como lo denomina Le Corbusier, se utiliza al completo conteniendo (en este proyecto en concreto) todos los muebles de las habitaciones a excepción de la cama (mesitas, estantes y pupitres). Otro ejemplo posterior son las *Maisons Jaoul* o la *Unité de Nantes-Rezé,* que en la actualidad todavía conservan esas carpinterías (con reparaciones y sustituciones en algunos casos).

En "*Problèmes de l'ensoleillement*"[206] aparece el término *quatrième mur* por primera vez, pero su concepción se inicia con los estudios teóricos para el rascacielos del Barrio de la Marina en Argel (1938-42) y se basa en la aplicación de la *façade libre*. En el mismo escrito, Le Corbusier señala las ventajas del *brise-*

soleil para el interior de las oficinas cuando este se agranda y convierte en *loggia* (Le Corbusier, Jeaneret 1950:106). Añade, además de las bondades de la protección solar, la posibilidad de limpiar el vidrio desde el exterior porque está al alcance de la mano y resalta sobre este cerramiento que su diseño presenta la posibilidad de una diversidad considerable.

En el mismo texto el arquitecto explica que al *brise-soleil* se le añadirá el:

> *brise-vent con la posibilidad de constituir paredes herméticas acristaladas traslúcidas, transparentes, opacas si queremos. Se alcanza una conquista arquitectónica: la explotación de la cuarta pared de la habitación*. (1950:107)[207]

Y tal y como se observa en la Fig. FD.3.90, al igual que en función de la altura se desplaza la posición del paño –para corregir la escala de la protección solar–, se puede ajustar su diseño y equipamiento al uso de la estancia que sirve. El entramado admite contener paneles fijos o abatibles, traslúcidos o trasparentes, de vidrio normal o helado, pavés. Incluso se le pueden añadir muebles, cajoneras, baldas para libros o paneles crudos o decorados. El sistema también permite controlar la entrada de luz en la estancia deslizando pantallas correderas unas sobre otras para tamizar al 30%, 60% o 100% las superficies acristaladas.

Además, demostrando que seguía confiando plenamente en sus ideaciones, Le Corbusier indica que, eventualmente la pared, si es de vidrio, se puede construir con el *mur neutralisant* y que, en caso de colocar huecos no practicables, se puede conjugar útilmente con la instalación del *air exact*.

Construyendo los huecos a la manera del *quatrième mur* se minimizan los puentes térmicos en el punto más delicado de la envolvente térmica. Además, desde una óptica actual, la madera con lo que se realiza, es un material con muy reducida huella ecológica (si su producción es en bosques responsables) y es un magnifico aislante térmico.

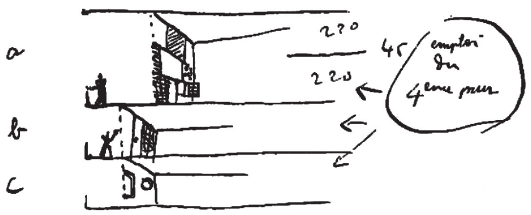


Fig. FD.3.90. Esquema 22 *emploi du quatrième mur* (empleo de la cuarta pared) extraido de *problèmes de l'ensoleillement*

Fig. FD.3.91. Ejemplo de diseño de carpinterías a la manera del quatrième mur. *Maisons Jaoul,* (izq.) vivienda B, (dcha.) vivienda A.

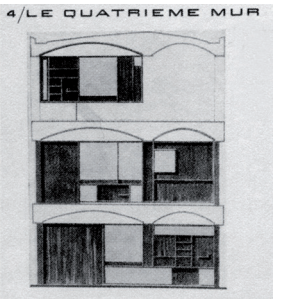


Fig. FD.3.92. (izq.) Carpintería habitación principal vivienda B, *Maisons Jaoul* (dcha.) Alzado interior Maisons Jaoul. No corresponde con el diseño final.

207."brise-vent" par la possibilité de constituer des parois hermétiques vitrées translucides, transparents, opaques si l'on veut. Une conquête d'architecture sera faite: l'exploitation du quatrième mur de la chambre.

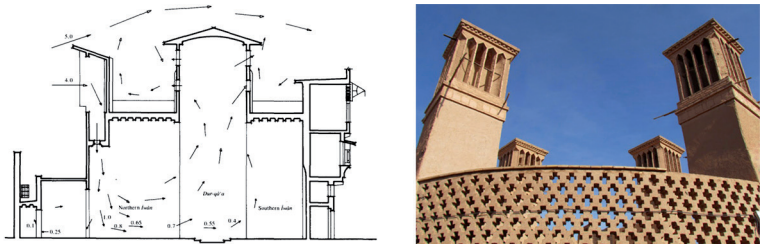


Fig. FD.3.93. Esquema de funcionamiento de la *malqaf*, dirección y velocidad del aire interior. Vista exterior.

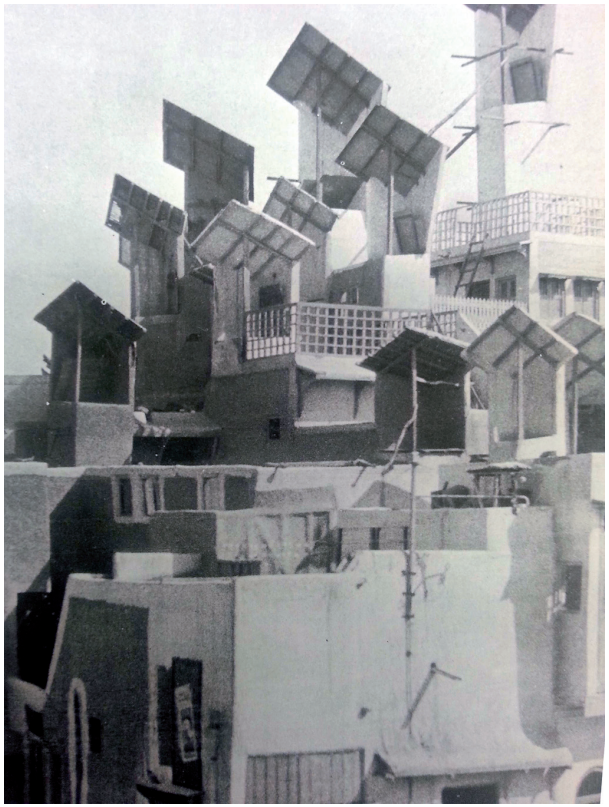


Fig. FD.3.94. Pantallas de viento direccionales, distrito Sind en Bangla Desh. Extraído del libro *Arquitectura sin arquitectos (1967) de Bernard Rudofsky.*

Ventilación natural

La introducción en el proyecto arquitectónico de las correcciones climáticas a través del viento y la brisa no resulta sencilla, existiendo una elevada imprecisión en su diseño. La norma general debe consistir en prever sistemas flexibles y confiar en que los usuarios sepan utilizarlos con la máxima eficacia (Serra Florensa 1999:57). Existen muchas posibilidades experimentadas por la arquitectura vernácula de bajas latitudes como los *malqaf* (captadores unidireccionales típicos de Egipto, Irak o Paquistán) o los *badjeer* (captadores multidireccionales persas). En la arquitectura árabe se utilizaban muros de alta inercia térmica, por su espesor y material pétreo o terroso, y las *mashrabiyya* (huecos de pequeñas dimensiones con celosías pétreas o de madera que tamizaban la entrada de luz) se disponían dando a patios interiores. Este mismo elemento existe también en la India y se denomina *jali* (ver Fig. D3.72).

En la actualidad existen métodos como las chimeneas solares y aspiradores estáticos (basados en absorción por el efecto Venturi), pero el más sencillo y eficaz es la ventilación cruzada. Esta se mejora si, tal y como ocurre en edificios como la Alhambra, se produce a través de un patio, por la capacidad que tiene de crear un microclima específico y de actuar como filtro entre las condiciones exteriores e interiores.

El correcto dimensionamiento y posicionamiento de los patios es un tema extenso y que merece un estudio especial ya que sus connotaciones van mucho más allá del mero control higrotérmico; en cualquier caso son un elemento poco usual en la arquitectura de Le Corbusier. Solo los podemos encontrar en el prototipo de los *Inmeubles-Villa* y en la *Casa Curruchet*.

En cualquier caso podemos decir que en general, el maestro suizo confía la circulación de aire en los interiores a la ventilación cruzada. Esta es factible gracias a la doble orientación que siempre existe en las piezas que diseña, desde las pequeñas viviendas hasta el planeamiento.

Tal vez el binomio de ventilación cruzada-doble orientación es uno de los que menor desarrollo alcanza en los procesos teóricos de Le Corbusier en un modo explícito, sobre todo al principio. Probablemente porque quedaba asumido de las teorías higienistas al igual que ocurría con el eje heliotérmico[208]. En cualquier caso, marca todo su trabajo profundamente, desde el inicio, y en realidad es generador de preceptos básicos en su lenguaje estilístico y compositivo. Conseguir la doble orientación en una vivienda aislada ya era factible en el momento, pero Le Corbusier buscó extender esta posibilidad a cualquier sistema de agregación o tipológico, especialmente en los edificios de vivienda colectiva.

En los primeros proyectos de planeamiento como *Une Ville comtemporaine* (1922, ciudad para 3 millones de habitantes) o el *Plan Voisin* de París (1925), los usos residenciales se resuelven con torres cruciformes (el rascacielos cartesiano) y con bloques *en redents* o perimetralmente en macromanzanas. En las torres, cada una de las alas se organiza en "espina de pez" consiguiendo que todas las unidades tengan una doble orientación; en los bloques también queda garantizada por el esquema de sección. Se favorece desde la concepción urbana un diseño de vivienda pasante que permite una correcta ventilación. Esta constante se repite en todos los planes realizados a lo largo de su obra y se resume en el boceto en el que contrapone los tipos de ciudad existentes con sus propuestas. (Fig D3.95)

El mismo planteamiento se aplica a proyectos de edificios como los *Immeubles-villas* (1922), *Lotissements au alvèoles* (1925) para ciudades jardín[209], el *Immeuble Clarté* (1930-32) en Ginebra, *Immeuble Locatif* (1932) en Zurich[210], *Lotissement de L'Oued-Ochaia* (1933-34) en Argel, entre otros, y finalmente en el proyecto de la *Unité d'habitation* (1945) en sus diferentes versiones y localizaciones.

Las *Unités* representan edificios que aglutinan los principios arquitectónicos de Le Corbusier en cuestiones higrotérmicas –el eje heliotérmico, los brise-soleil, la cubierta jardín como espacio ganado a la ciudad, el hormigón bruto, las

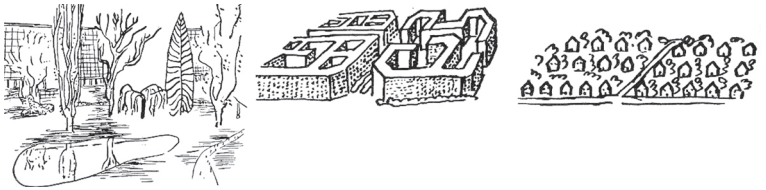


Fig. FD.3.95. Esquema de contraposición entre el modelo de ciudad propuesto por Le Corbusier, la ciudad densa y la ciudad jardín.

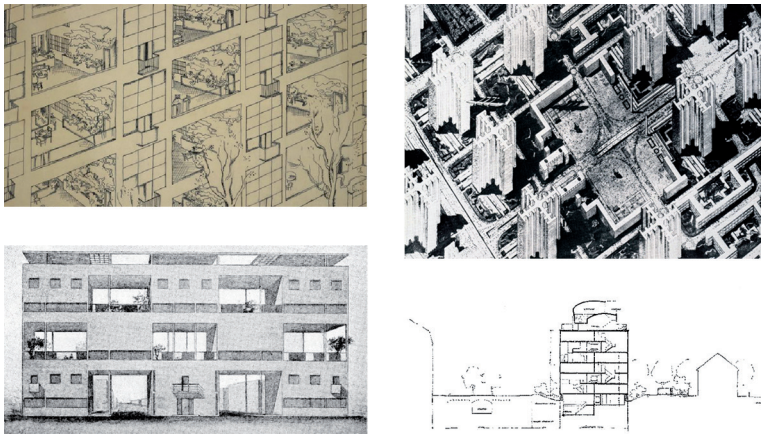


Fig. FD.3.96. (arriba izq.) *Immeubles-villa*, fachada con los jardines de doble altura. (arriba dcha.) *Plan Voisin*, París. Edificación en bloques *à redents* y rascacielos. (abajo izq.) *Lotissements au alvèoles*. Se intercalan patios que generan jardines colgantes, la profundidad del bloque garantiza la doble ventilación de las viviendas. (abajo dcha.) *Immeuble Locatif*. En sección se observa un esquema similar al desarrollado posteriormente en las *Unités*

208. Recordemos que la *Zeilenbau* obligaba a esa doble orientación.

209. Estos dos proyectos (*Immeubles-Villas* y *Lotissements au alvèoles*) utilizan el concepto de jardín suspendido que supone un elemento recurrente en su trayectoria incluso en proyectos tan distantes de ellos, en tipología, tiempo y localización, como la *Villa Shodhan* en Ahmedabad, India.

210. El germen de la disposición con corredor interior surge en el *Immeuble Locatif* en Zurich. Por primera vez se observa en la sección el icono tan repetido posteriormente de un corredor interior fugado.

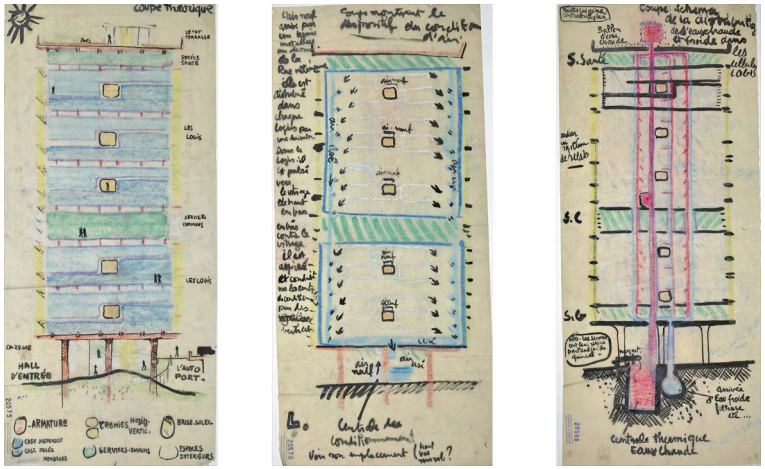


Fig. FD.3.97. Estudios teóricos de la *Unité*. Se observa el sistema estructural (izq.), indica módulo suspendido (case suspendu) y módulo apoyado (case posée). También el sistema de ventilación (ctro.) y el sistema de agua caliente y calefacción (dcha.).

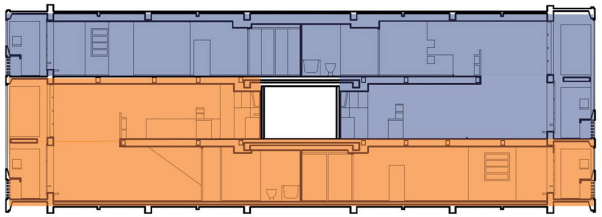


Fig. FD.3.98. Sección tipo de la *Unité* en la que dos viviendas abrazan el corredor central.

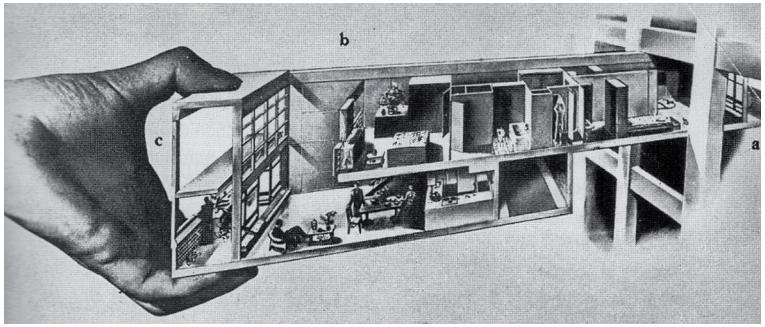


Fig. FD.3.99. Analogía del botellero. La vivienda se inserta en la estructura de hormigón.

carpinterías, la correcta aplicación de las tecnologías desarrolladas– y por supuesto también la utilización de tipos de vivienda, con mucha diversidad, pero que tienen doble orientación y por tanto ventilación cruzada, la mayoría. Al colocar el corredor de acceso en el interior, abrazado por dos viviendas en dúplex, todas ellas tienen acceso de luz y aire desde dos fachadas opuestas. Este hecho corrige, en parte, los desequilibrios que planteaba el eje heliotérmico entre la fachada este y oeste, además facilita la regulación térmica de las viviendas ya que la ventilación cruzada se produce cuando las aberturas se sitúan en fachadas que comunican con espacios exteriores en condiciones de radiación diferentes, como es el caso. Durante la mañana el aire corre desde la fachada este (está más caliente) a la oeste (está en sombra) y por la tarde en sentido contrario.

Fuera de la tendencia general indicada, la Casa Curruchet (1949), vivienda unifamiliar entre medianeras en la ciudad de La Plata, contiene un patio central encerrado entre dos grandes volúmenes. Aparte de servir como límite virtual entre la zona pública y la privada de la casa, diferencia dos volúmenes que permiten que la función se distribuya de forma clara y que se iluminen y ventilen correctamente todas las piezas. Actúa como una suerte de chimenea natural de extracción del aire caliente proveniente de las estancias inferiores (Gómez Sierra 2002).

Esta visión de la vivienda como una máquina que autorregula las energías térmicas se manifestará posteriormente en la experiencia india de Le Corbusier en obras de escalas y entornos extremos. El clima tórrido del país somete todas

Fig. FD.3.100. Secciones de la Casa Curruchet, La Plata, Argentina (1949)

las teorías del arquitecto a un test mucho más severo que el Mediterráneo, Argelia, Brasil o Argentina. En respuesta, pone en funcionamiento una amalgama de soluciones destinadas a preservar el frescor en el interior de los edificios destacando su concienciación en estos casos por conseguir una ventilación natural. Por primera vez en los planos se representa, casi con más importancia que el norte, la dirección de los vientos dominantes.

Para mejorar las condiciones del viento añadiéndole humedad –corrección que se incluye en la *grille climatique*—en varios edificios tiene en cuenta la presencia de agua. Concretamente en las *Villas Hutheesing-Shodan* y *Sarabhai* coloca una lámina de agua delante de la entrada del aire a la vivienda que, además, se conforman como piscinas para disfrute de los habitantes de las viviendas. Su diseño varía durante el proceso de proyecto[211] – con geometría orgánica o cuadrada – pero se plantean desde el principio y su existencia es una invariante. Las bondades adicionales que propician las resalta en una conferencia en Bogotá:

> *Al retomar nuestros edificios sobre su esqueleto, lo que también nos permite es poner agua delante, como un dispositivo que hace que el interior sea aún más luminoso, puesto que los rayos horizontales del invierno permitirán al sol entrar hasta lo más profundo de las piezas, y veré que los rayos casi verticales del verano provocarán sombra…*(Le Corbusier 2010:35-36)

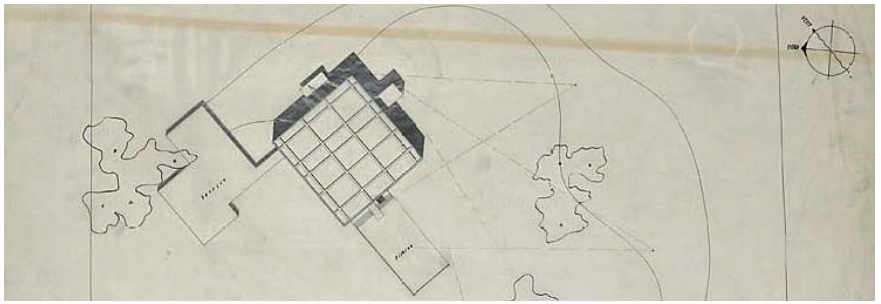


Fig. FD.3.101. FLC 64051, detalle. *Villa Shodhan*. Piscina delante del volumen de la vivienda

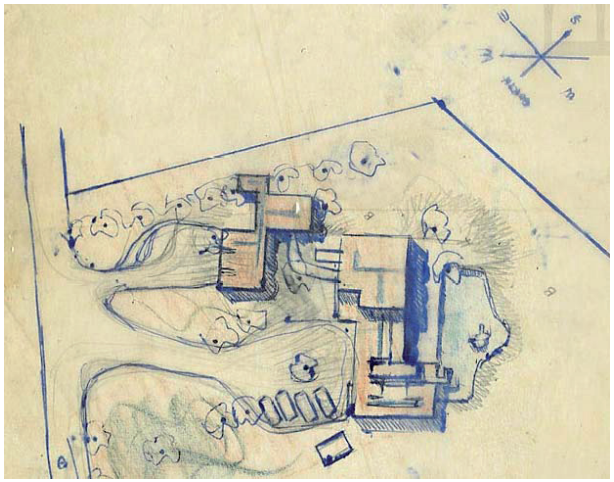
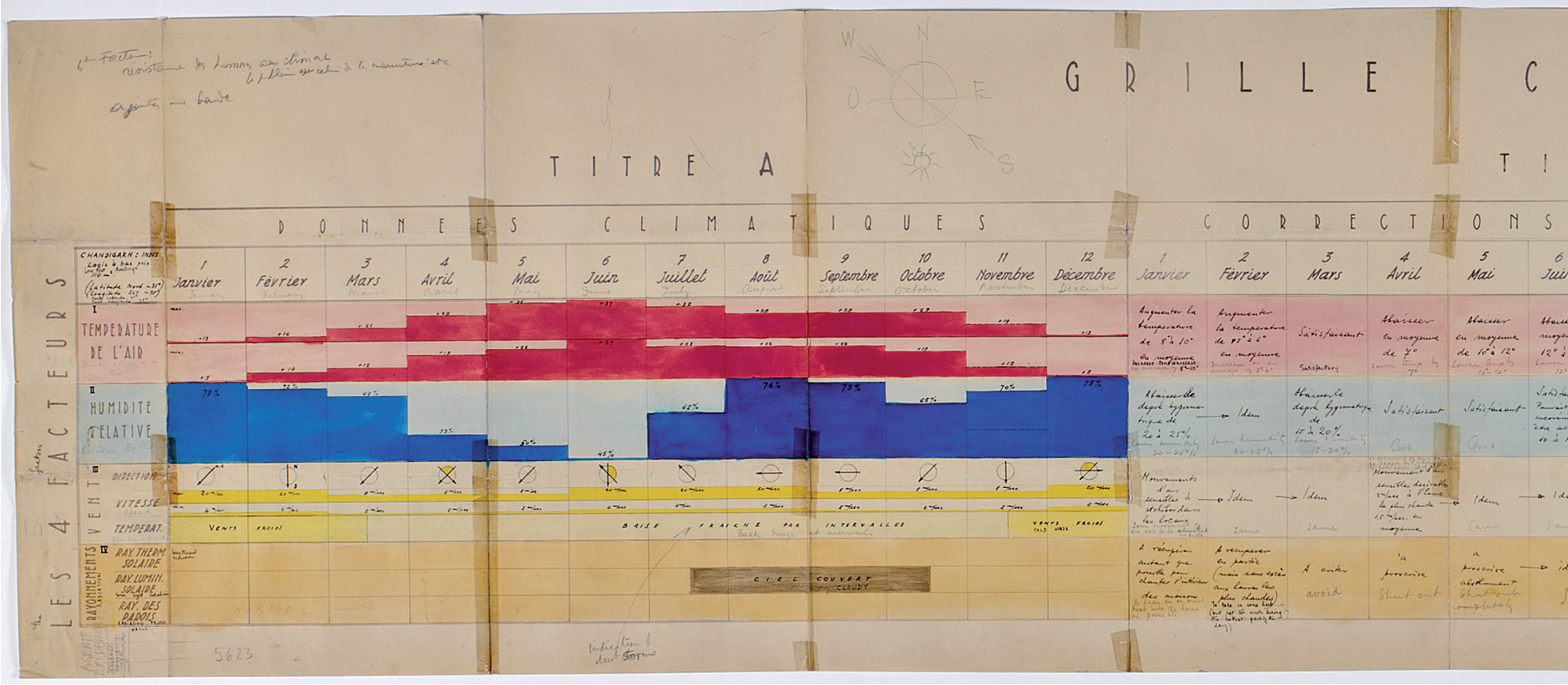


Fig. FD.3.102. FLC 31905, detalle. *Villa Sarabhai*. El eje transversal de la vivienda se alinea con la dirección de viento dominante. La piscina se coloca delante de la entrada de aire.

Fig. FD.3.103. Piscinas frente a las viviendas, *Villa Shodhan* (izq.) y *Villa Sarabhai* (dcha.)

211. La piscina de la casa Sarabhai se redujo en tamaño y profundidad por la solicitud de una madre ansiosa hasta ser simplemente una balsa (Le Corbusier 1953:114), en cualquier caso cumple con su cometido.



CD. Fusión. Sistematización del control higrotérmico. La Grille Climatique

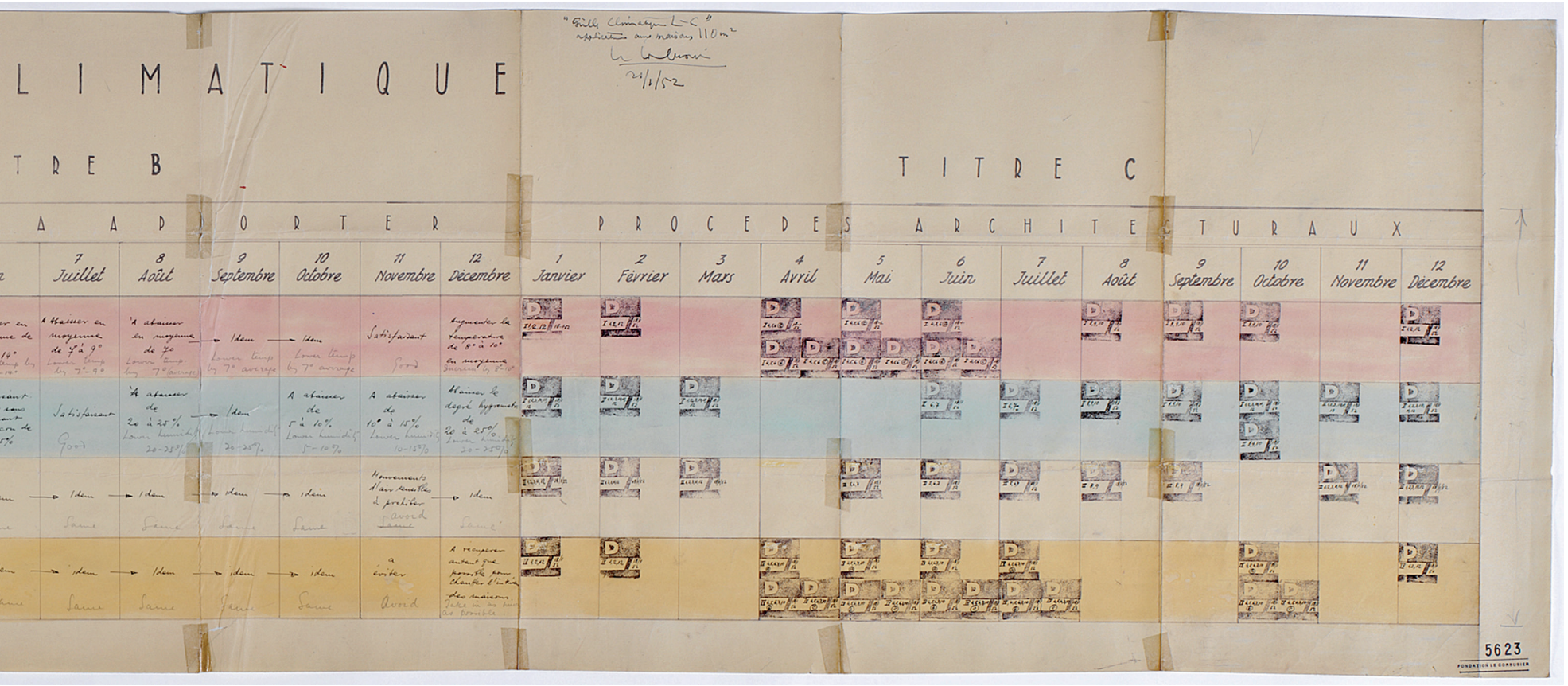


Fig. FD.3.104. *Grille Climatique*. FLC 5623.
Versión definitiva para las *Maisons des Péons*. Fecha 21/1/1952

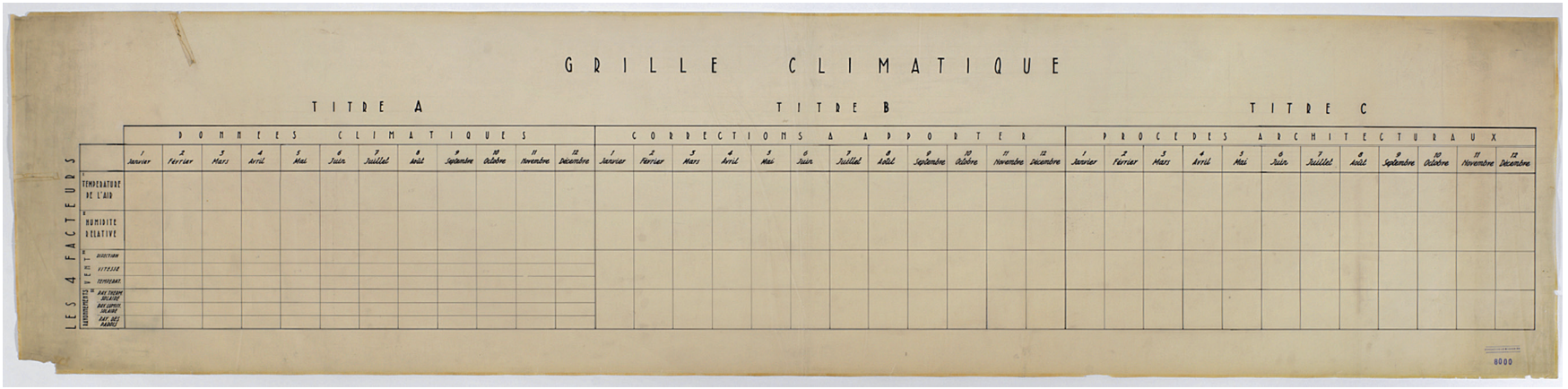


Fig. FD.3.105. *Grille Climatique*. FLC 8000. Fecha desconocida (estructura definitiva).

D.3.6. Sistematización de los elementos de control higrotérmico. Análisis detallado de la Grille Climatique

> No se inventa espontáneamente una arquitectura moderna capaz de responder al clima de la India[212]

Al igual que había hecho anteriormente, pero con el aprendizaje de todos los años de profesión en la India, Le Corbusier intenta demostrar las virtudes de la arquitectura moderna en un clima difícil[213] y su capacidad para crear una arquitectura de conceptos universales pero adaptable al lugar y a sus condicionantes.

La *Grille Climatique* es una herramienta metodológica desarrollada a finales de 1951 en el estudio de Le Corbusier que entronca con el carácter metodológico y de estandarización que caracteriza al arquitecto y a su *atelier* durante todos los años de trabajo. Se crea porque:

212.Carta enviada por Le Corbusier a Mr Hutheesing al hilo de las desavenencias económicas que se plantearon. Mr. Hutheesing fue el primer cliente que le encargó la vivienda a Le Corbusier aunque finalmente acabó vendiéndole el proyecto a su primo Mr. Shodhan cuando ya estaba prácticamente acabado. No fue necesario introducir más cambios que el de la localización. En (Candela Suárez 2009:78).

213. Definir un único clima para un país de la extensión de India es excesivamente simplista pero en resumen se pude expresar que hay una estación muy calurosa de marzo a mayo con temperatura alrededor de 40ºC, una estación monzónica húmeda de junio a octubre y una estación templada de noviembre a febrero.

> *Es necesario regularizar y rectificar útilmente los desbordamientos de los climas excesivos y realizar para ello dispositivos arquitectónicos con las condiciones capaces de asegurar el bienestar y el confort.* (Le Corbusier 1958:108)

Descripción general[214]

La *Grille Climatique* se materializa gráficamente en una tabla que se divide verticalmente en tres columnas, correspondientes a tres etapas del método: la toma de datos climáticos en el lugar (*données climatiques*), las modificaciones para alcanzar las condiciones óptimas en busca del confort y bienestar de una persona que ocupa el espacio (*corrections à apporter*) y los procesos arquitectónicos (*procédés architecturaux*) que permiten conseguir estas condiciones óptimas dentro del contexto climático concreto de cada zona; a su vez, cada columna está dividida en doce meses, agrupados por estaciones, donde se recoge la información. Horizontalmente se divide en cuatro filas, correspondientes a las variables a tener en cuenta: temperatura del aire, humedad relativa, viento y radiación, y cada fila en una, dos o tres subfilas en función de los datos.

En la primera columna: *Titre A Données climatiques*, las cuatro filas contienen:

- Para la temperatura del aire (I) y la humedad relativa (II), lo que sería asimilable a un diagrama de barras mes a mes. De la temperatura se indican las máximas y las mínimas.
- Para el viento (III), se representan diferentes pictogramas que indican la dirección; dos diagramas de barras que informan de la velocidad máxima y media en m/s; y respecto a la temperatura de los vientos dominantes, anotaciones conceptuales, no numéricas (*vents froids, brise fraiche par intervalles*).
- Para la radiación (IV), se incluyen tres datos, radiación solar térmica (*rayonnements thermique solaire*), radiación solar luminosa (*rayonnement lumineux solaire*) y radiación de las paredes (*rayonnement des parois*),

214. La descripción se realiza en base al esquema recogido en FLC 5623, fechado 31 de enero de 1952, que se considera definitivo para las *Maison des Péons* y que es la versión más completa puesto que es la única que contiene el cuaderno con los diseños. Fig. FD.3.104 en págs. 330 y 331. El mismo esquema, pero sin contener información, se encuentra en FLC 7998 y FLC 8000, aunque se desconoce su fecha exacta. En los apartados posteriores se analiza cronológicamente la evolución de la herramienta y sus diferentes versiones, así como detalladamente la información que contiene.

con datos muy escuetos que se limitan a indicar que el cielo está cubierto de mediados de julio a mediados de octubre.

En la columna siguiente *Titre B corrections a apporter,* las filas contienen información en unos casos como términos físicos y en otros solamente de manera esquemática y conceptual:

- Para la temperatura del aire (I), se indica el número de grados que debe disminuirse o aumentarse de media la temperatura.
- Para la humedad relativa (II), se procede del mismo modo pero en porcentaje.
- Para el viento (III), se establece para la mayor parte del año un movimiento de aire deseable de entre [1,5-3]m/s y en algunos casos la necesidad de bloquear el acceso de aire.
- Para la radiación (IV), se dan recomendaciones como evitarla o recuperarla para calentar el interior. Utilizando expresiones como *à éviter*, à *proscrire* o à *proscrire absolutament*.

Cuando las condiciones son aceptables, en el recuadro correspondiente se indica *satisfaisant* (satisfactorio).

En la tercera columna *Titre C procédés architecturaux,* se definen los métodos para conseguir estos fines. En esta última columna no se representan esquemas dentro de la tabla sino que se señala con la letra "D" (por la palabra *Desin*) el caso concreto en el que existe una solución estudiada. La representación gráfica de esta solución se encuentra en un cuaderno anexo que supone *la responde de l'architecte* y que vemos más adelante.

En sentido horizontal la tabla tiene una fila adicional en la que se indican los meses y una primera casilla en la que se recoge la información geográfica del lugar al que corresponde la tabla y el proyecto sobre el que se aplica. En este caso se indica:

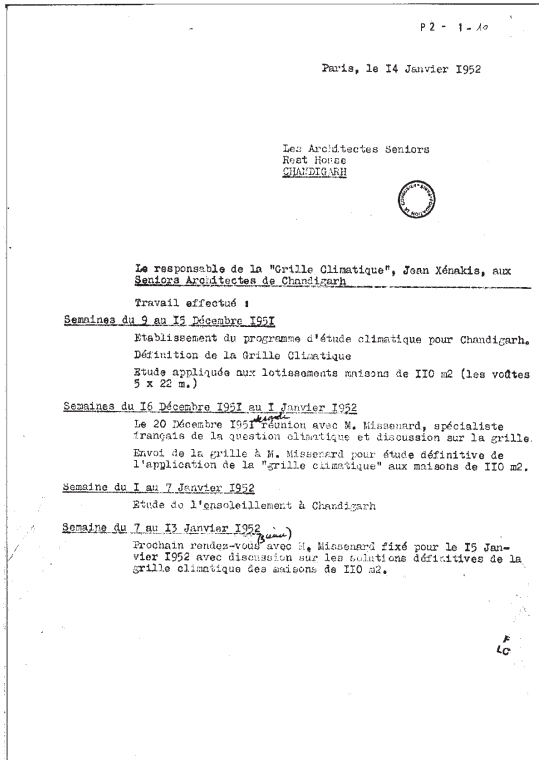
CHANDIGARH: INDES.
Logis à bas Prix
110 m²
(Latitude Nord ≈ 31°)
(Longitude Est ≈ 75°)

En la mayoría de casos, los nombres y designaciones están traducidos al inglés en anotaciones a lápiz. Además hay algunas anotaciones posteriores que merece la pena analizar detalladamente más adelante.

Las soluciones arquitectónicas se encuentran recogidas en un cuaderno anexo y se clasifican según un código que incluye la fecha y que además hace referencia a una de las filas de la tabla, en función del parámetro sobre el que influyen y corrigen, también incluye los meses en los que se nota su efecto. Estas soluciones definitivas se dibujaron el 18 de Enero de 1952 y también las vemos detalladamente más adelante.

Cronología: Entusiasmo, ideación y abandono

La ideación de la *grille* climatique no tiene un origen cierto, pero desde luego Ianis Xenakis participó muy activamente en su concepción y desarrollo. La evidencia es que en una nota enviada el 14 de enero de 1952 a los *Senior Architects* de Chandigarh se presenta como *in charge of the climate chart*[215] (FLC P2-1-10). También aportó en su desarrollo André Missenard, al que Le Corbusier pidió consejo a la vuelta de uno de sus viajes a la India, proponiendo incluso una colaboración oficial a las autoridades del país. En contestación a dos cartas de Le Corbusier, fechadas el 2 y 6 de diciembre de 1951, Missenard mostró su entusiasmo por el proyecto en misiva de 12 de diciembre, en la que además pedía el cuestionario de necesidades y proponía una visita en la que explicarles sus planteamientos (Requena Ruíz 2013:62).



P 2 - 1 - 10

Paris, le I4 Janvier I952

Les Architectes Seniors
Rest House
CHANDIGARH

Le responsable de la "Grille Climatique", Jean Xénakis, aux Seniors Architectes de Chandigarh

Travail effectué :

Semaines du 9 au I5 Décembre I95I

Etablissement du programme d'étude climatique pour Chandigarh.

Définition de la Grille Climatique

Etude appliquée aux lotissements maisons de IIO m2 (les voûtes 5 x 22 m.)

Semaines du I6 Décembre I95I au I Janvier I952

Le 20 Décembre I95I réunion avec M. Missenard, spécialiste français de la question climatique et discussion sur la grille.

Envoi de la grille à M. Missenard pour étude définitive de l'application de la "grille climatique" aux maisons de IIO m2.

Semaine du I au 7 Janvier I952

Etude de l'ensoleillement à Chandigarh

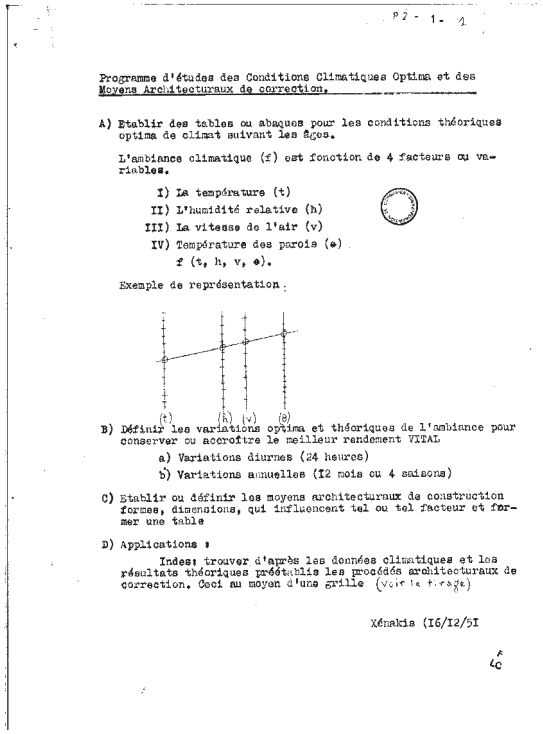
Semaine du 7 au I3 Janvier I952

Prochain rendez-vous avec M. Missenard fixé pour le I5 Janvier I952 avec discussion sur les solutions définitives de la grille climatique des maisons de IIO m2.

LC

Fig. FD.3.106. FLC P2-1-10 (primera página del documento). Fecha: 14/01/1952

215. También como el responsable de la "*Grille Climatique*". La correspondencia con la India se realizaba en francés y en inglés.



P2 - 1 - 1

Programme d'études des Conditions Climatiques Optima et des Moyens Architecturaux de correction.

A) Etablir des tables ou abaques pour les conditions théoriques optima de climat suivant les âges.

L'ambiance climatique (f) est fonction de 4 facteurs ou variables.

I) La température (t)
II) L'humidité relative (h)
III) La vitesse de l'air (v)
IV) Température des parois (θ)
f (t, h, v, θ).

Exemple de représentation :

(t) (h) (v) (θ)

B) Définir les variations optima et théoriques de l'ambiance pour conserver ou accroître le meilleur rendement VITAL
a) Variations diurnes (24 heures)
b) Variations annuelles (12 mois ou 4 saisons)

C) Etablir ou définir les moyens architecturaux de construction formes, dimensions, qui influencent tel ou tel facteur et former une table

D) Applications :
Index: trouver d'après les données climatiques et les résultats théoriques préétablis les procédés architecturaux de correction. Ceci au moyen d'une grille (voir la 4e page)

Xénakis (I6/I2/5I

Fig. FD.3.107. FLC P2-1-1, (primera página del documento). Fecha: 16/12/1951

El trabajo fue, sin duda, rápido y productivo puesto que, tan solo, cuatro días después (16 de diciembre), está fechado el *Programme d'études des Conditions Optima et des Moyens Architecturaux de correction,* (FLC P2-1-1), redactado por Xenakis. De hecho en la carta de 14 de enero incluye los trabajos realizados desde el 9 de diciembre hasta la fecha en los que se incluyen:

- 9-15 diciembre: definición de ambos, programa de estudio climático de Chandigarh y *grille climatique*.
- 16 diciembre-1 enero: estudio con A. Missenard y aplicación a las *Maisons des Péons* de 110 m².
- primera semana de 1952: estudio de asoleamiento en Chandigarh.
- 15 enero: soluciones definitivas para las *Maisons des Péons* de 110 m².

En el programa que redacta Xenakis, indica que el *ambiance climatique* se define en base a cuatro variables: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura de las paredes.[216] Además propone definir las variables para conseguir el confort, que él denomina "*rendement VITAL*",[217] a través de procedimientos arquitectónicos de corrección, basados en los datos climáticos y los estudios teóricos.

A la luz de los datos, en este momento, el término *ambiance climatique,* quedaba ambiguamente definido. Por un lado, en el texto las variables se correspondían con los estudios relativos al confort térmico humano de Missenard. Pero por otro lado, en ese mismo texto se hacía referencia a un esquema, que según indican varios autores[218], sería *Esquisse généralle de la grille pour le conditionnement climatique du Secrétariat* (FLC 2642), dibujado por Samper el 21 de diciembre, en el que en realidad se tienen en cuenta seis variables: Sol, Luz, Temperatura del aire, Vientos dominantes, Precipitaciones y Humedad relativa.

En este mismo día de la concreción gráfica de la *Grille*, Le Corbusier envía una carta a Jane Drew[219] (1911-1996) en la que le informa de su creación. En sus propias palabras:

216. Se refiere a la temperatura radiante, que Missenard había estudiado a finales de los treinta, destacándola como un parámetro muy influyente en la percepción del confort junto a los otros tres.

217. Las mayúsculas están en el texto. Extraído de (Siret 2006)

218. Daniel Siret, Roberto Gargiani, Anna Rosellini e Ignacio Requena, así lo expresan en sus estudios.

219. Arquitecta inglesa. Conocedor de su trabajo y el de su marido Maxwell Fry, en el oeste africano, Pandit Nerhu (primer ministro indio) los escogió para diseñar la nueva capital del Punjab, Chandigarh. Debido a que tenían mucho trabajo en el momento y a la admiración que tenían por Le Corbusier, decidieron adoptar un perfil bajo en el proceso de diseño, dando el protagonismo al maestro franco-suizo. Drew, Fry y Pierre Jeanneret estuvieron durante tres años seguidos en india supervisando la realización de los proyectos.

> *Nous avons eu la deuxième séance avec M. Missenard, nous avons créé une «grille d'hygiène climatique» qui nous permet de voir clair à travers notre problème. Nous avançons très vite et nous arrivons à des propositions utiles* (FLC P2-1-9)[220]

Posteriormente, el 29 de diciembre, Xenakis envía a Missenard una copia de la *Grille* que contiene los datos facilitados por el Ingeniero ejecutivo del *Capital Project Division in Chandigarh* para facilitarle el trabajo en el establecimiento de correcciones climáticas necesarias. También se adjunta información relacionada con el proyecto *Type d'habitation populaire*, que parece referirse a las *Maison des Péons*. En base a esta información, en una reunión celebrada el 16 de enero entre Le Corbusier, Xenakis, Samper, Maisonnier[221] y Missenard, se concreta un documento que recoge las *corrections désirables dans les locaux* (FLC P2-1-27) y que pasará a conformar el *Titre B* de la *Grille*. Un día antes se había preparado una versión de esas correcciones sobre la tabla (FLC 5612).

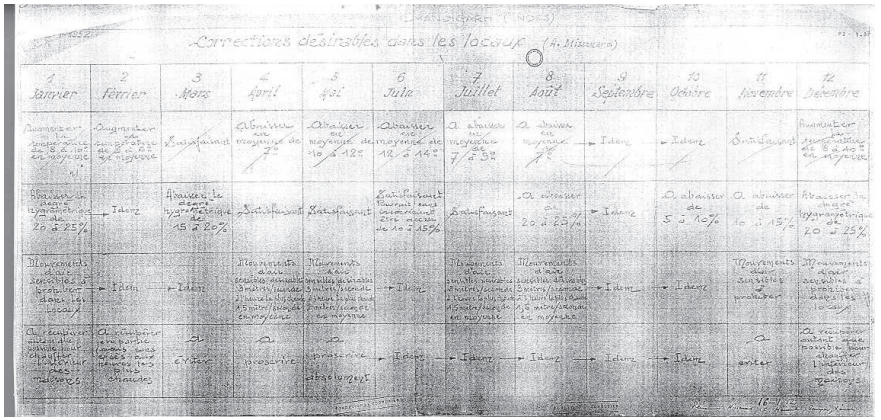
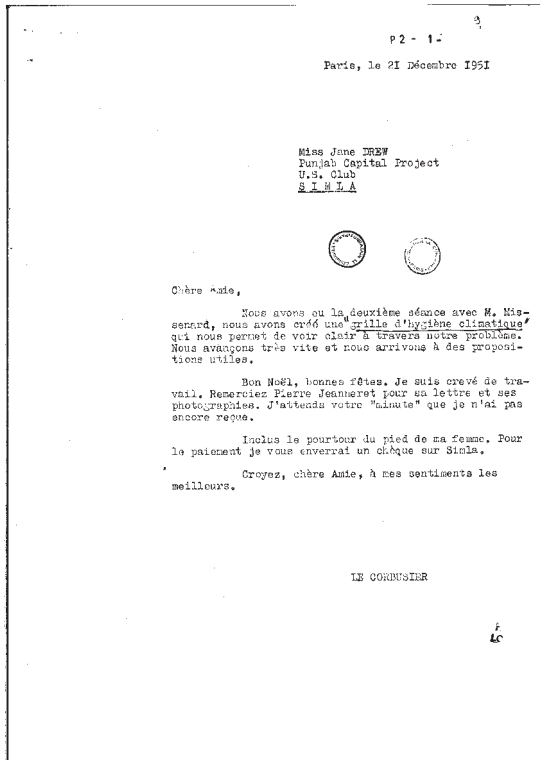


Fig. FD.3.107. FLC P2-1-27. Fecha: 16/01/1952

El documento más completo que se realiza es para las *Maison des Péons,* del 21 de enero. Comprende la tabla coloreada, con multitud de anotaciones precisas



P 2 - 1 -

Paris, le 21 Décembre 1951

Miss Jane DREW
Punjab Capital Project
U.S. Club
S I M L A

Chère Amie,

Nous avons eu la deuxième séance avec M. Missenard, nous avons créé une "grille d'hygiène climatique" qui nous permet de voir clair à travers notre problème. Nous avançons très vite et nous arrivons à des propositions utiles.

Bon Noël, bonnes fêtes. Je suis crevé de travail. Remerciez Pierre Jeanneret pour sa lettre et ses photographies. J'attends votre "Haute" que je n'ai pas encore reçue.

Inclus le pourtour du pied de ma femme. Pour le paiement je vous enverrai un chèque sur Simla.

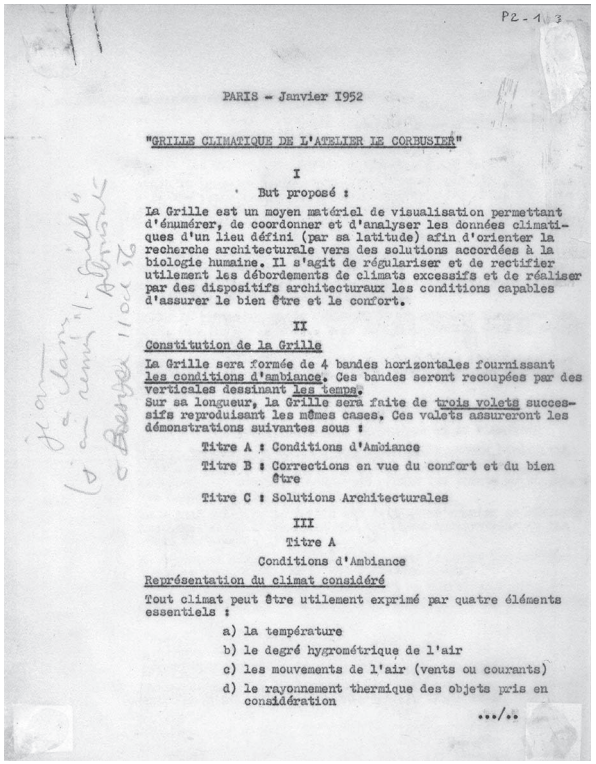
Croyez, chère Amie, à mes sentiments les meilleurs.

LE CORBUSIER

Fig. FD.3.108. FLC P2-1-9. Fecha: 21/12/1952

220. Traducido por el autor: Hemos tenido la segunda sesión con M. Missenard, hemos creado una "tabla de higiene climática" que nos permite ver con claridad a través de nuestro problema. Avanzamos muy rápido y llegamos a proposiciones útiles.

221. Maisonnier era el encargado de los dibujos de las *Haute Cour.* Ver por ejemplo FLC P2-1-11.



P2 - 1 - 3

PARIS - Janvier 1952

"GRILLE CLIMATIQUE DE L'ATELIER LE CORBUSIER"

I

But proposé :

La Grille est un moyen matériel de visualisation permettant d'énumérer, de coordonner et d'analyser les données climatiques d'un lieu défini (par sa latitude) afin d'orienter la recherche architecturale vers des solutions accordées à la biologie humaine. Il s'agit de régulariser et de rectifier utilement les débordements de climats excessifs et de réaliser par des dispositifs architecturaux les conditions capables d'assurer le bien être et le confort.

II

Constitution de la Grille

La Grille sera formée de 4 bandes horizontales fournissant les conditions d'ambiance. Ces bandes seront recoupées par des verticales dessinant les temps.
Sur sa longueur, la Grille sera faite de trois volets successifs reproduisant les mêmes cases. Ces volets assureront les démonstrations suivantes sous :

Titre A : Conditions d'Ambiance

Titre B : Corrections en vue du confort et du bien être

Titre C : Solutions Architecturales

III

Titre A

Conditions d'Ambiance

Représentation du climat considéré

Tout climat peut être utilement exprimé par quatre éléments essentiels :

a) la température
b) le degré hygrométrique de l'air
c) les mouvements de l'air (vents ou courants)
d) le rayonnement thermique des objets pris en considération

.../..

Fig. FD.3.109. FLC P2-1-3, página 1. Fecha: 31/01/1952

(FLC 5623, página doble al inicio) y el *cahier de dessin* con las soluciones (FLC 5627A-P). Tanto los tampones de la tabla del *Titre C*, como los dibujos del *cahier* (que están firmados por Le Corbusier) tienen fecha de 18 de enero (tres días antes). Ese mismo día se le comunica a Drew que después de la segunda reunión con Misenard, han creado una *grille d'hygiène climatique*, que avanzan con velocidad y que llegan a propuestas útiles (FLC P2-1-9). Sin duda el entusiasmo respecto a la nueva herramienta es máximo porque, el mismo día en el que están fechados los dibujos del *cahier,* Le Corbusier envía una carta a P.N. Thapar[222] indicándole que ya tiene avanzado el diseño de las "viviendas pobres (110 m²)" y que:

> *A l'occasion de mes travaux de Chandigarh concernant l'habitation, j'ai créé avec mon comité de spécialistes une «GRILLE CLIMATIQUE L.C» qui permet d´examiner et de résoudre n'importe quel problème entrainant les questions de température, de qualité d'air, d'ensoleillement, etc…* (FLC P1-15-224)[223]

A continuación describe detalladamente el funcionamiento de la herramienta.

Tal y como indica Daniel Siret, la *grille* definitiva se formaliza el 31 de enero de 1952 y está firmada "*Atelier LE CORBUSIER*" (Siret 2006) (FLC P2-1-3). Es un documento escrito de definición que va acompañado de gráfico específico y ambos se publicaron en la Œuvre *complète 1952-1957* (1958:108). En su opinión, el escrito obra finalmente un vasto programa de estudio que podríamos encuadrar hoy en día bajo el ámbito de la arquitectura bioclimática. En el texto de esta versión definitiva la primera columna (*Titre A*) pasa a denominarse *"conditions d'ambiances",* la segunda (*Titre B*) *"corrections en vue du confort et du bien*-être" y la tercera (*Titre C*) *"solutions architecturales".*[224] Aun así en la tabla gráfica se utiliza la denominación que veíamos en el apartado anterior, correspondiente al documento completo hecho para las *Maisons des Péons*. Respecto a las condiciones del clima considerado, la segunda fila que contiene los datos de humedad relativa se denomina *degré hygrothermique de l'air* y la

222. Prem Nath Tapar (1903-1969), miembro del Servicio Civil Indio. Fue junto a P.L. Varma, ingeniero jefe, encargado de la supervisión de la planificación y desarrollo de Chandigarh.

223. Traducido por el autor: Con ocasión de mis trabajos de Chandigarh concernientes a la vivienda, he creado con mi comité de especialistas una "*GRILLE CLIMATIQUE L.C*" que permite examinar y resolver cualquier problema concerniente a las cuestiones de temperatura, de calidad del aire, de asoleamiento, etc…

224. Título A: condiciones ambientales, Título B: corrección para el confort y el bienestar y Título C: soluciones arquitectónicas.

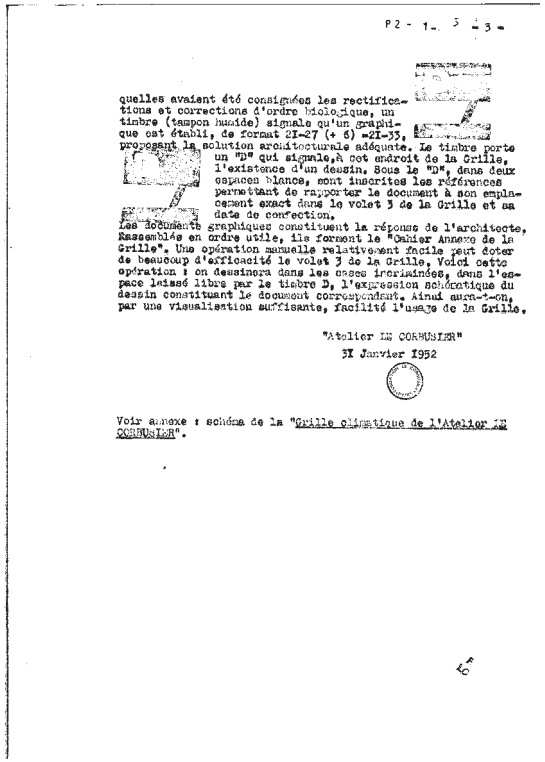
cuarta *rayonnement thermique des objets pris en considération*. Las otras dos mantienen su nomenclatura de *température* y *mouvements de l'air*. Finalmente se concluye:

> *Les documents graphiques constituent la réponse de l´architecte. Rassemblés en ordre utile, ils forment le «Cahier Annexe de la Grille». Une opération manuelle relativement facile peut doter de beaucoup d´efficacité le volet 3 de la Grille. Voici cette opération: on dessinera dans les cases incriminées, dans l´espace laissé libre par le timbre D, l´expression schématique du dessin constituant le document correspondant. Ainsi aura-t-on, par une visualisation suffisante, facilité l´usage de la Grille.*[225]

La *grille*, junto con el texto descriptico definitivo se envían a J. Drew, a Chandigarh, el 22 de enero y el 8 de febrero. En reunión de 8 marzo entre la arquitecta, Fry y Varma, enuncian ciertas críticas, no sobre los principios que establece la *grille*, sino sobre la pertinencia de los datos climáticos del *Titre A* y sobre las soluciones propuestas en el *Titre C*. Los datos mencionados no se corresponden con las condiciones reales conocidas *in situ* y ciertas soluciones de ventilación, así como de humidificación se juzgan poco eficaces. En la carta que reporta esta reunión (FLC P2-1-28) se indica además que se construirán tres casas experimentales, una con las ideas propuestas por Le Corbusier (vegetación en las paredes), otra con las del ingeniero jefe Varma (cubiertas ajardinadas) y una tercera con la de Drew (sin especificar). También se decide corregir los datos climáticos en función de los conocimientos sobre el lugar.

De la *grille* existen otros documentos en los que la tabla está en proceso de diseño o de mejora, sin colorear, con los gráficos menos desarrollados o con menos datos, y algunos pueden ser anteriores a esta fecha, pero otros son posteriores lo que demuestra que se inició un intento de mejora.

El panel FLC 5624, que indica en la primera casilla *Chandigarh: Indes – 110 m²*, tiene los datos climáticos con poca concreción gráfica, además la cuarta fila, que



P2 - 1 - 3 - 3

quelles avaient été consignées les rectifications et corrections d'ordre biologique, un timbre (tampon humide) signale qu'un graphique est établi, de format 2I-27 (+ 6) =2I-33, proposant la solution architecturale adéquate. Le timbre porte un "D" qui signale,à cet endroit de la Grille, l'existence d'un dessin. Sous le "D", dans deux espaces blancs, sont inscrites les références permettant de rapporter le document à son emplacement exact dans le volet 3 de la Grille et sa date de confection.

Les documents graphiques constituent la réponse de l'architecte, Rassemblés en ordre utile, ils forment le "Cahier Annexe de la Grille". Une opération manuelle relativement facile peut doter de beaucoup d'efficacité le volet 3 de la Grille. Voici cette opération : on dessinera dans les cases incriminées, dans l'espace laissé libre par le timbre D, l'expression schématique du dessin constituant le document correspondant. Ainsi aura-t-on, par une visualisation suffisante, facilité l'usage de la Grille.

"Atelier LE CORBUSIER"
31 Janvier 1952

Voir annexe : schéma de la "Grille climatique de l'Atelier LE CORBUSIER".

Fig. FD.3.110. FLC P2-1-3, página 3. Fecha: 31/01/1952

225. Extraído de FLC P2-1-3 p. 3. Traducido por el autor: *Los documentos gráficos extraídos establecidos de este modo representan la respuesta del arquitecto. Correctamente ordenados, formarán el "Cuaderno anexo de la tabla". Una operación manual relativamente fácil puede dotar de eficacia el apartado 3 de la Tabla. Esta operación trata de: marcaremos en las casillas correspondientes, en el espacio libre dejado por el tampón D, la expresión esquemática del diseño del documento correspondiente. Así habremos, gracias a una buena visualización, facilitado el uso de la Tabla.*

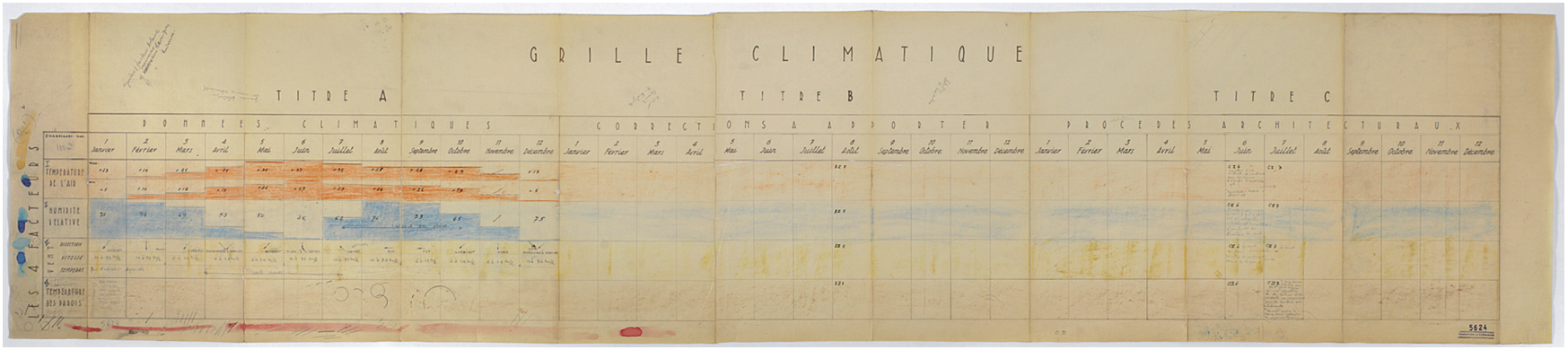


Fig. FD.3.111. FLC 5624. Sin fecha, (anterior a 15-16/12/1951)

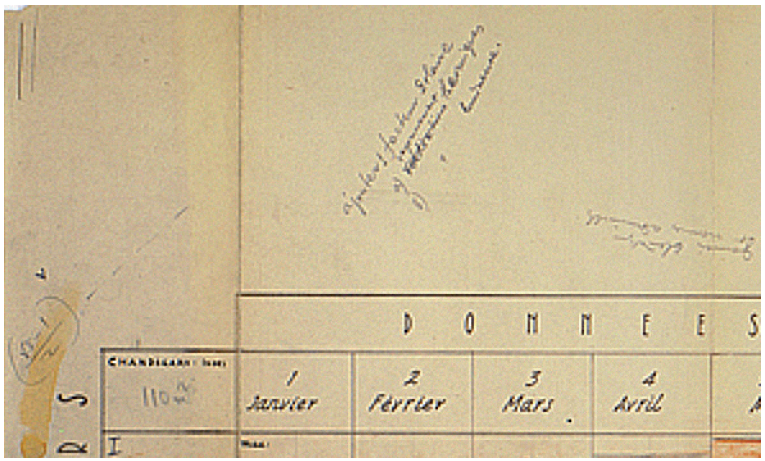


Fig. FD.3.112. FLC 5624. Detalle esquina superior izquierda. Aplicado filtro de enfoque.

en este momento no está subdividida y se denomina *temperature des parois,* no tiene datos, este hecho indica que probablemente sea anterior al diseño definitivo de 31 de diciembre y a la versión del 21 del mismo mes. En un apunte en el margen superior indica (Fig. FD.3.112):

Ajuster: facteur solaire
a) rayonnement thermique
b) " lumineuse

Parece que la temperatura radiante, recogida en esta fila y que ya era un parámetro conocido en el ámbito de la investigación y de la ingeniería, era todavía desconocido para los arquitectos o al menos de difícil transcripción iconográfica. Tampoco existen correcciones climáticas lo que hace pensar que incluso es anterior al 15-16 de enero, días en los que se concretan con Missenard, así como pudo ayudarles a concretar los parámetros relativos a la temperatura radiante.

En la columna de las soluciones arquitectónicas no hay referencia a diseños concretos pero sí apuntes en las casillas correspondientes a junio y julio en las que se deduce que las soluciones son iguales para estos dos meses puesto que

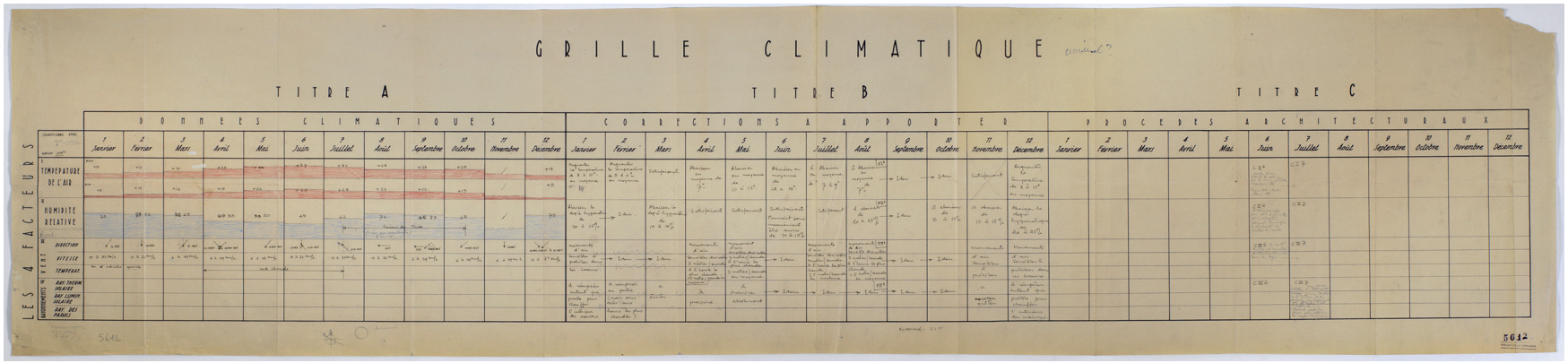


Fig. FD.3.113. FLC 5612. Fecha: 15/1/1952

una flecha, que une los dos recuadros, así lo indica. En el documento definitivo estas anotaciones se sustituyeron por sellos que llevaban a un dibujo, tal y como hemos visto. Se nota que es un documento de trabajo puesto que tiene pruebas de color, anotaciones "poco ordenadas"[226] y pruebas de grosores de línea en sus márgenes.

El panel FLC 5612, que indica en la primera casilla *Chandigarh: Inde – 400m altitude – Maison: 110 m²*, también parece un documento en desarrollo, pero en la cuarta fila la denominación ya es la definitiva. En este caso, sí contiene las correcciones indicadas por Missenard y de hecho en la parte inferior indica su nombre y la fecha: *Missenard 15-1-52*. No se sabe si el texto está escrito por su mano, pero desde luego es el padre intelectual. En el proceso de mejora de la representación de los parámetros relativos a la radiación y a la temperatura radiante, en el margen inferior en una nota se propone sustituir el parámetro *rayonnement des parois* por:

Rayonnement
du corps solides
du sol et

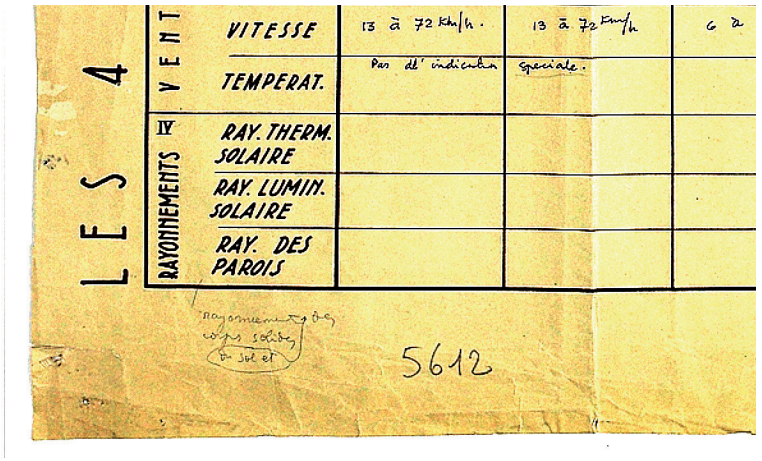


Fig. FD.3.114. FLC 5612. Detalle esquina inferior izquierda. Aplicado filtro de enfoque.

226. Destacar que en el margen izquierdo, muy cerca de la esquina de la tabla está apuntado [(√5-1)/2]. Este valor es una de las soluciones, la positiva, de la ecuación $x^2+x-1=0$, que establece la relación áurea entre las longitudes de dos segmentos. (Fig. FD.3.112)

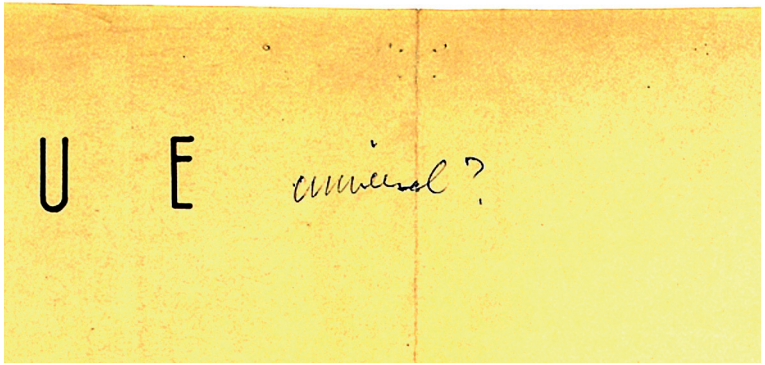


Fig. FD.3.115. FLC 5624. Detalle junto al título. Aplicado filtro de enfoque.

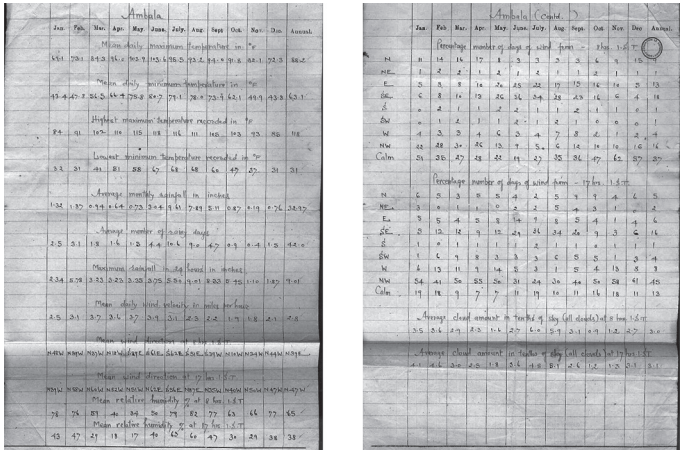


Fig. FD.3.116. FLC P2-1-15, páginas 4 y 5. Datos climatológicos de Ambala.

que se modifica indicando: *rayonnement du sol et du corps solides*. Se observa la intención de reflejar mejor el concepto físico de temperatura radiante.

Destaca en este dibujo que junto al título *GRILLE CLIMATIQUE*, delineado técnicamente, está escrito a mano *"universel?"*, indicando probablemente la voluntad de que se convirtiera en una herramienta extrapolable a otras latitudes, localizaciones y proyectos. De hecho en la Œuvre complète, Le Corbusier escribe:

> *I. But proposé: La Grille est un moyen matériel de visualisation permettant d'énumérer, de coordonner et d'analyser les données climatiques d'un lieu défini (par sa latitude)*…(Le Corbusier 1958:108)[227]

El documento FLC 7999, que indica en la primera casilla *CHANDIGARH INDE – 400m altitude – λ=31° - Maison 110 m²*, contiene la misma información que FLC 5612, pero demuestra un grado mayor de desarrollo puesto que toda la información anterior está dibujada a tinta con letra ordenada y bien definida. En la esquina superior izquierda, cerca de la casilla de localización y proyecto, se lee escrito a mano:

> *Data meteorologic de 'Ambala'*
> *Pour Chandigarh augmenter la température jusqu' à 4.2° o 4.6°C*
> *Max diurne o +5°C*[228]

Este dato podría indicar que la tabla sea posterior al 20 de junio de 1952. En esta fecha se reciben los datos enviados por la Oficina Meteorológica India de Ahmedabad y Ambala (ciudad más cercana a Chandigarh con estación meteorológica) (FLC P2-1-15) y que habían sido solicitados un mes antes[229] tal y como se estableció en la reunión celebrada el 8 de marzo en Chandigarh por los arquitectos supervisores. A pesar de ello, aproximadamente en julio de 1953, Samper envía a J.L. Malhotra, a Chandigarh (FLC P2-11-21), una copia de la *grille climatique* ejecutada en el *atelier* en enero de 1952, señalando que se ha

227. Esta definición es idéntica a la que se encuentra en el documento FLC P2-1-3 fechado el 31 de enero de 1952 y que se considera el definitivo de definición de la *Grille*.

228. Las palabras *"data meteorologic"* están en inglés, la segunda incorrectamente escrita (debería ser *meteorological* o *weather*). La trascripción literal no puede no ser del todo correcta puesto que no se lee bien la letra, pero conceptualmente es adecuada.

229. En la carta de respuesta del 20 de junio (FLC P2-1-15) se dice que se dan los datos en referencia a la carta enviada el 20 de mayo de 1952. Doshi contesta a esta carta 6 meses después, el 13 de enero de 1953, agradeciendo la información enviada (FLC P2-1-22).

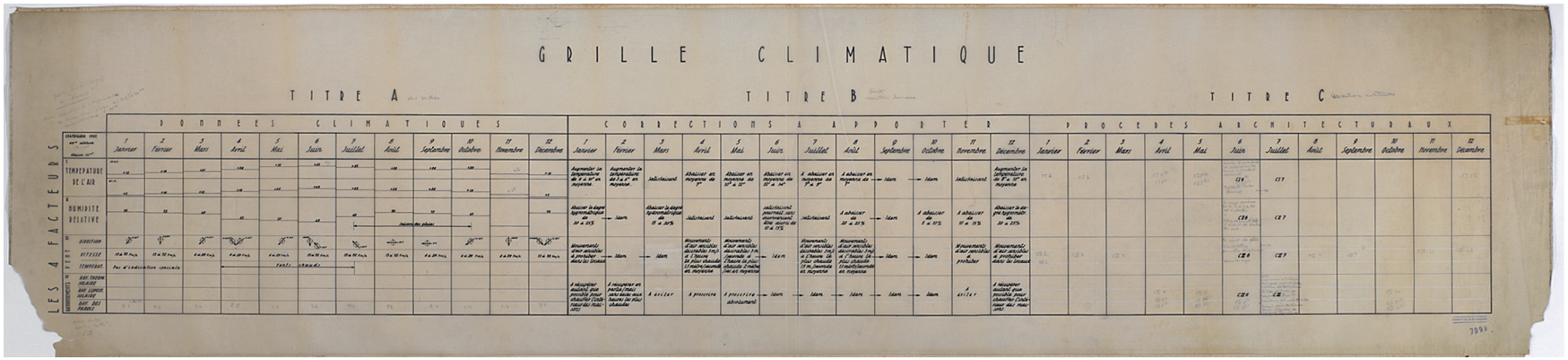


Fig. FD.3.117. FLC 7999. Sin fecha

realizado con los datos climatológicos de Ambala y que al ser un poco diferentes de los de Chandigarh, la *grille* debe considerarse a título indicativo (Siret 2006:4). Por tanto, a pesar de aparentemente no tener los datos oficiales, se habían realizado *grilles* anteriores.

Con respecto a la versión anterior, la información nueva está apuntada en lápiz y concierne a las denominaciones de las diferentes soluciones del *Titre C*. Los meses de junio y julio ya tienen sus códigos del *cahier* pasados a tinta y el resto todavía a lápiz. En este paso, en la subfila *rayonnement des parois* hay unas anotaciones numéricas a lápiz, tabla TD3.04, que no se habían incluido en la versión más desarrollada del 21 de enero.

ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
4,1*	4,6	3,0	2,5	1,8	3,6	4,8	5,1	2,6	1,2	1,3	3,1

Tabla TD3.04. Datos de *rayonnement des parois* extraídos de FLC 7999

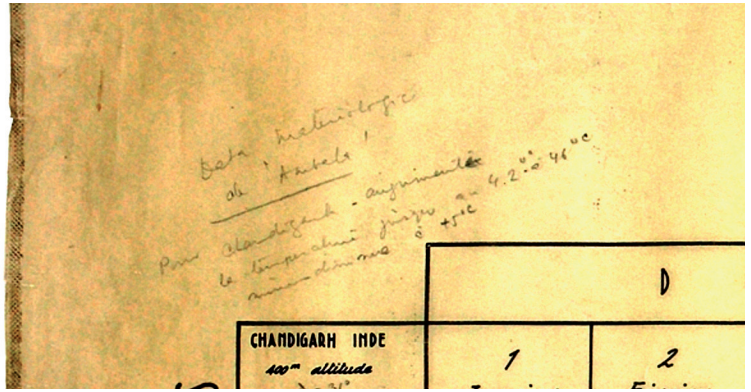


Fig. FD.3.118. FLC 7999. Detalle esquina superior izquierda. Aplicado filtro de enfoque.

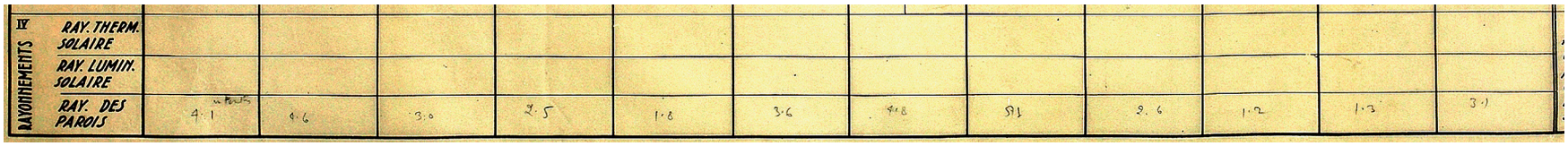


Fig. FD.3.119. FLC 7999. Detalle *Titre A*, fila IV, *Rayonnements*. Aplicado filtro de enfoque.

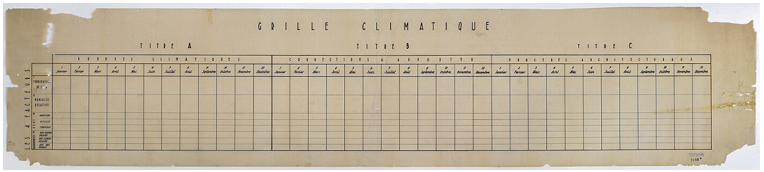


Fig. FD.3.120. FLC 7998. Sin fecha

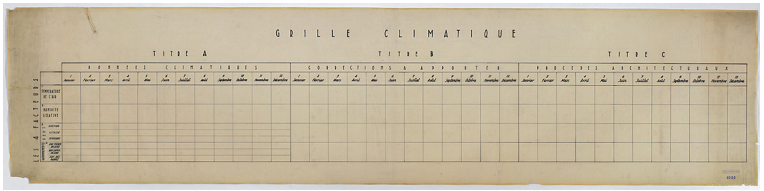


Fig. FD.3.121. FLC 7800. Sin fecha

*Como se observa, en el primere recuadro, correspondiente al mes de enero, está manuscrito: *"interieur"*

Es muy difícil concluir de donde se sacaron estos valores. Lo cierto es que su distribución es paralela a la de temperatura pero se encuentra desplazada dos meses respecto a ella, es decir el máximo de este dato se produce en agosto, mientras que el de la temperatura se produce en junio. Este hecho concuerda con el comportamiento de la temperatura radiante, pero en realidad los valores dados no tienen orden de magnitud. Además, es un valor que no puede ser genérico y que debe corresponder a un entorno concreto, puesto que depende de factores como la entalpía y características superficiales y cromáticas de los materiales, muy posiblemente de ahí el apunte "interior".

Los documentos FLC 7998, FLC 8000 son tablas bien delineadas en tinta pero que están completamente vacías y que pudieron prepararse para aplicar a otros proyectos o para estudios de desarrollo, algo que no es posible saber.

La efervescencia que marca el periodo entre diciembre de 1951 y enero de 1952 se atenúa progresivamente (Siret 2006). Después de dos cartas enviadas por Drew a Le Corbusier en agradecimiento a la información enviada[230] y del reporte de la reunión del 8 de marzo, la temática de la *Grille* prácticamente desaparece de la correspondencia, aunque tal y como hemos visto se continuó trabajando de algún modo u otro.

El 15 de mayo de 1952, Missenard se pone en contacto con Le Corbusier interesándose por el progreso de los proyectos indios. Su respuesta no llega hasta el 8 de octubre del mismo año, en la que le pide disculpas por no haber informado y le adjunta un cheque en pago de honorarios profesionales. El 16 de octubre, el ingeniero lo agradece y muestra su disponibilidad para cualquier tipo de ayuda complementaria sin necesidad de nuevos pagos (Requena Ruíz 2013:64).

230. FLC P2-1-12 de 12 de febrero de 1952 y FLC P2-1-14 de 18 de febrero de 1952.

Otras referencias se hacen a la *Grille* en correspondencia entre Le Corbusier y Drew. Por ejemplo, el 22 de julio, en el acta revisada de una reunión (FLC P2-1-16), aparece la *Grille* como uno de los asuntos tratados. La arquitecta inglesa responde, el 1 de agosto (FLC P2-1-19), diciendo que traslada el acta al Secretario de la Comisión de Planeamiento y que esperaba una copia de la *Grille* adjunta. Respecto a la traducción de sus anexos, admite que prefiere que lo haga Doshi.

Después de la carta de Samper a Malhotra, que ya hemos comentado (22 de julio de 1953, FLC P2-11-21), tuvieron que pasar casi tres años para que la *grille* volviera a aparecer en la correspondencia. El día 22 de mayo de 1956, Le Corbusier hace un envío, a P.L. Varma (FLC P1-10-301). El tono del escrito es duro y desafiante; se tratan temas de las fachadas y la ventilación del edificio de *Secrétariat* de Chandigarh y Le Corbusier nombra en repetidas ocasiones a Missenard, explicitando sus cargos ocupados e investigaciones realizadas, que le refrenda en todas las opiniones vertidas en el texto. Incluso indica la admiración que tiene Pierre Jeanneret por él, probablemente buscando el apoyo de su sobrino, que en ese momento estaba en la India. También se adjunta un esquema técnico realizado por Xenakis, que está presente durante la redacción. En el escrito se defiende la pertinencia del diseño realizado para la fachada de las oficinas, con el *pan de verre ondulatoire* y con los *aerateurs* propuestos que tienen que ir de suelo a techo (*lame vertical d'aire*), así como de la necesidad de colocación de ventiladores *[ventilaterus (fans)]*. Respecto a la *Grille* se expresa en el punto quinto:

> *5°/ Dans le pays à calendrier très diversifié (Inde), il est possible de tenir compte de ces variations qui créent des problèmes extrêmement complexes et qui jettent des confusions abominables dans les discussions; ces problèmes se perdent dans le flux des paroles. Pour vaincre cette difficulté, j´ai fait établir, dès 1952, une «Grille Climatique» apte à ordonner l´étude, les propositions et la discussion de ces propositions, la vérification des solutions*

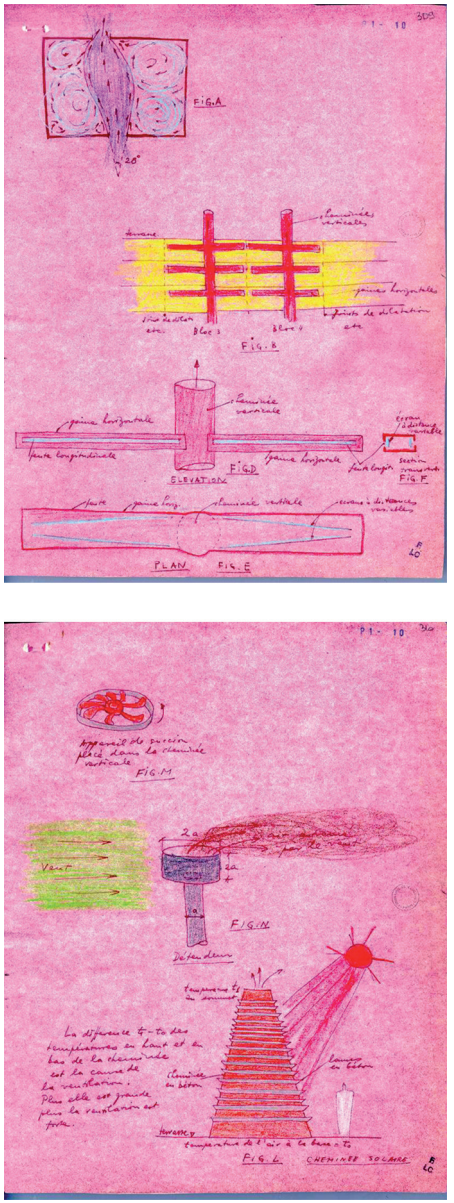
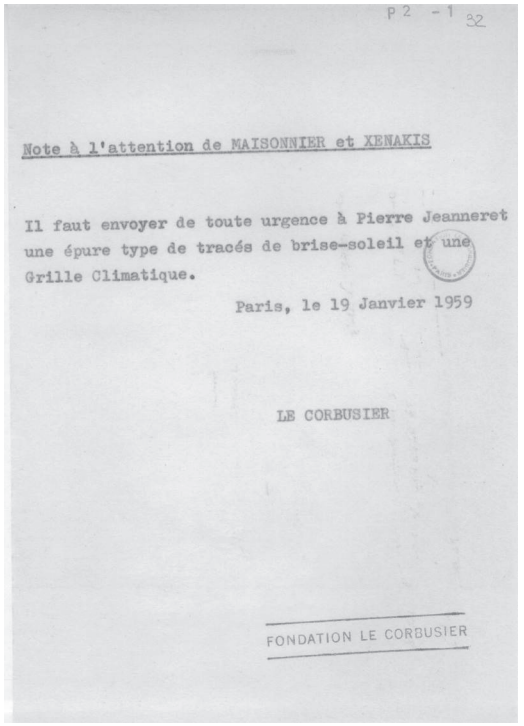


Fig. FD.3.122. FLC 1-10-301. Páginas 9 y 10. Fecha: 22/05/1956. Esquemas dibujados por Xenakis que acompañan al escrito de Le Corbusier. Se indica el sistema de ventilación diseñado para el *Secrètariat* de Chandigarh.



P 2 -1 32

Note à l'attention de MAISONNIER et XENAKIS

Il faut envoyer de toute urgence à Pierre Jeanneret une épure type de tracés de brise-soleil et une Grille Climatique.

Paris, le 19 Janvier 1959

LE CORBUSIER

FONDATION LE CORBUSIER

Fig. FD.3.123. FLC P2-1-32. Fecha: 19/01/1959

231. 5º/ En los países con calendario tan diverso (India), es posible tener en cuenta las variaciones que crean problemas extremadamente complejos y que conducen a confusiones abominables en las discusiones; estos problemas se pierden en el flujo de las palabras. Para vencer esta dificultad, he establecido, desde 1952, una "*Grille Climatique*" apta para ordenar el estudio, las propuestas y la discusión de dichas propuestas, la verificación de las soluciones arquitectónicas o técnicas propuestas, variables de una estación a otra. Pero esta *Grille Climatique* no se ha tenido en cuenta en Chandigarh y lo lamento amargamente. Como *Adviser* he aportado fruto a los técnicos de Chandigarh. Si la tabla se ha perdido, estoy dispuesto a preparar una nueva y enviarla a Chandigarh, si se me pide.

232. Trazado tipo de *brise-soleil*. La palabra épure, aunque se suele traducir como bosquejo, tal y como vimos en el capítulo B.2., no tiene traducción literal al castellano, se define como el dibujo conjunto de la planta, el alzado y la sección de una figura.

architecturales ou techniques proposées, variables d´une saison à l´autre.

Y se lamenta justo a continuación:

Mais cette Grille Climatique n'a pas été prise en considération à Chandigarh et je le regrette amèrement. En tant qu'Adviser j'en ai apporté le fruit aux techniciens de Chandigarh. Cette Grille ayant été perdue je suis prêt à en faire établir une nouvelle et à l'envoyer à Chandigarh si on me la demande. (FLC P1-10-301)[231]

La *Grille* vuelve a aparecer por última vez en escena a principios de 1959, en enero. En ese mes, J. Malhotra solicita, mediante carta del 15 de enero (FLC P2-1-21), que le sea enviada una copia de la *Grille* ya que le había sido prometida el 30 de diciembre de 1958 a las 4-30 p.m. Cuatro días después, Le Corbusier envía una nota a Maisonnier y Xenakis (FLC P2-1-32), en la que les pide enviar con toda urgencia a Pierre Jeanneret, el mismo documento que había solicitado Malhotra y adicionalmente los *épures du brise-soleil*[232]. Probablemente, en respuesta al primero, aprovechó para comunicarse con su sobrino en un tono muy cordial escribiendo el 12 de enero (FLC P2-1-24):

Mon cher Pierre,

Je t'envoie:

1º/ Une «Grille Climatique» qui avait accompagné les plans complets des villages des péons, la Grille Climatique ayant servi à motiver les données architecturales de l'étude des maison des péons.

Rien de ceci n'a été réalisé, mais la methode de travail qu'autorisait la Grille Climatique était intéresante.

2º/ Un exemplaire des tracés de soleil. Nos tracés ont toujours été faits rigoureusement.

Médite sur le cas.

Amicalement

LE CORBUSIER

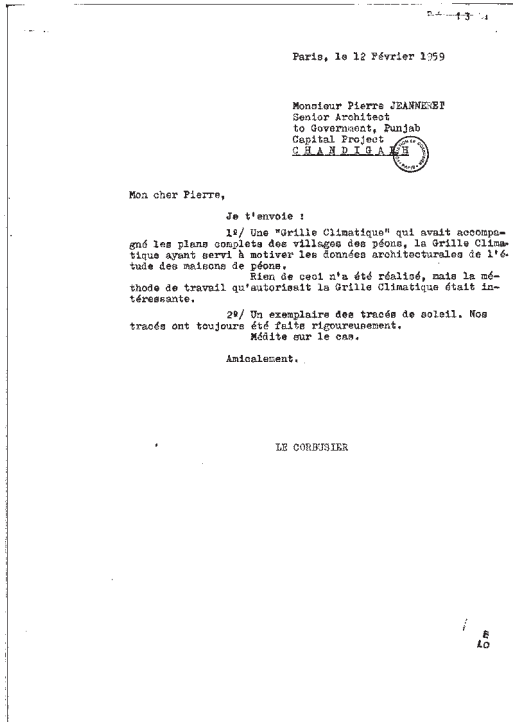
Del día después está fechado un documento (FLC P2-1-25), que se enviaría conjuntamente, en el que Xenakis detalla la información enviada. Por un lado *Les épures du Soleil* que él mismo había dibujado para Ahmedabad (4/06/1952), Paris (3/12/1953) y Chandigarh (13/09/1957), así como un diagrama para Chandigarh que explica:

> *Ombre d'une droite gradué en centimentres, perpendiculaire au plan horizontal figuré par cette feuille et dont le tracé sur ce même plan coincide avec les centres des faisceaix.*[233]

Por otro lado la *Grille Climatique*, de la que se incluyen:

- *"Climatic Grid of the Atelier Le Corbusier" – Explanatory text – Paris January 1952,* (FLC P2-1-3)
- *«Grille Climatique de l'Atelier Le Corbusier» – texte explicative – Paris Janvier 1952, 1 ex.* (FLC P2-1-3)
- *«Grille Climatique» tableau en couleur.* (FLC 5623?)
- *«Grille Climatique» titre C en couleur (Chandigarh Maisons 110 m²) 18 Janvier 1952.* (FLC 5600 - 5611)
- *«Grille Climatique» titre C - n° I, 1, 2, 12.* (FLC 5610)
- *«Grille Climatique» titre C - n° I, 4, 5, 6 (b).* (FLC 5600)
- *«Grille Climatique» titre C - n° I, 4, 5, 6 (c).* (FLC 5604)
- *«Grille Climatique» titre C - n° II, 1, 2, 3, 10, 11, 12.* (FLC 5602)
- *«Grille Climatique» titre C - n° II, 6, 7 (Chand. Maison 100 m²)* (FLC 5605)
- *«Grille Climatique» titre C - n° III, 2, 6, 7.* (FLC 5611)
- *«Grille Climatique» titre C - n° III, 8, 9.* (FLC 5608)
- *«Grille Climatique» titre C - n° III, 1, 2, 3, 11, 12.* (FLC 5607)
- *«Grille Climatique» titre C - n° IV (a), 4, 5, 6, 7, 10.* (FLC 5601)
- *«Grille Climatique» titre C - n° IV, 4, 5, 6, 7, 10 (b).* (FLC 5609)
- *«Grille Climatique» titre C - n° IV, 4, 5, 6, 7, 10 (c).* (FLC 5603)
- *«Grille Climatique» titre C – sans numéro.* (FLC 5606)

[…][234]



Paris, le 12 Février 1959

Monsieur Pierre JEANNERET
Senior Architect
to Government, Punjab
Capital Project
CHANDIGARH

Mon cher Pierre,

Je t'envoie :

1º/ Une "Grille Climatique" qui avait accompagné les plans complets des villages des péons, la Grille Climatique ayant servi à motiver les données architecturales de l'étude des maisons de péons.
Rien de ceci n'a été réalisé, mais la méthode de travail qu'autorisait la Grille Climatique était intéressante.

2º/ Un exemplaire des tracés de soleil. Nos tracés ont toujours été faits rigoureusement.
Médite sur le cas.

Amicalement.

LE CORBUSIER

Fig. FD.3.124. FLC P2-1-24. Fecha: 12/02/1959

233. Sombra de un pie derecho graduado en centímetros, perpendicular al plano horizontal figurado por la hoja y cuyo trazado sobre ese mismo plano coincide con el centro de los haces.

234. La indicación del código FLC de cada documento se ha hecho deductivamente, en el documento original no existe referencia. Los textos en gris claro, en el documento, son comillas de repetición. Finalmente además de los documentos indicados, se enumeran cuatro planos más correspondientes a *Logis à bas Prix de 110 m² (Maisons des Péons)* y *Les Villages de 750 habitants*, que se refiere a la agrupación de estas viviendas en el interior de las macromanzanas del plan urbanístico de Chandigarh.

Destacar, que en la enumeración de la carta existe un error de tipografía, ya que se denomina la plancha Titre C - nº III, 2, 6, 7, que no existe, debería ser Titre C - nº III, 5, 6, 7, tal y como indica en la propia plancha.

DOCUMENTO	VARIABLES	MESES	DOCUMENTO
-	Portada *cahier*		FLC 5627 I
-	Nota explicativa		FLC 5627 J
FLC 5610	I	1, 2, 12	FLC 5627 K
-	I	4, 5, 6 (a)	FLC 5627 L
FLC 5600	I	4, 5, 6 (b)	FLC 5627 A
FLC 5604	I	4, 5, 6 (c)	FLC 5627 C
-	I	8, 9, 10	FLC 5627 F
-	II	8, 9, 10	
FLC 5602	II	1, 2, 3, 10, 11, 12	FLC 5627 D
FLC 5605	II	6, 7	FLC 5627 B
FLC 5611	III	(2)5, 6, 7	FLC 5627 H
FLC 5608	III	8, 9	FLC 5627 G
FLC 5607	III	1, 2, 3, 11, 12	FLC 5627 E
-	IV	1, 2, 12	FLC 5627 O
FLC 5601	IV	4, 5, 6, 7, 10 (a)	FLC 5627 N
FLC 5609	IV	4, 5, 6, 7, 10 (b)	FLC 5627 M
FLC 5603	IV	4, 5, 6, 7, 10 (c)	FLC 5627 P
FLC 5606	s.n.	s.n.	-

Tabla TD.3.05. Comparativa documentos *cahier de procédés architecturaux* entre las dos series existentes FLC 5600-5611 y FLC 5627A-P.

Las variables climáticas que corrige cada solución se indican en números romanos:

I. Temperatura del aire
II. Humedad relativa
III. Velocidad del viento
IV. Temperatura radiante

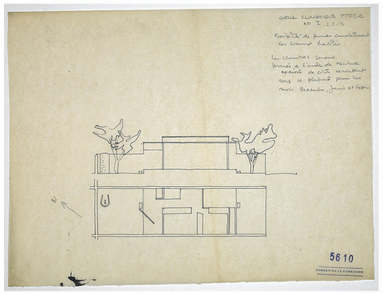
Cuando existen varias soluciones que corrigen el mismo parámetro se añade después de la numeración de meses una letra entre paréntesis.

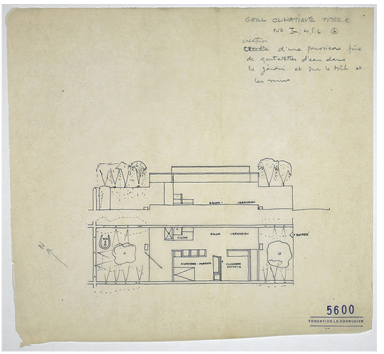
La solución incluida en FLC 5611 y FLC 5627H, es la misma y los meses en los que corrige el parámetro son 5, 6 y 7. Se ha indicado (2), porque así es como está denominada en el documento FLC P2-1-25, aunque debe atribuirse a un error tipográfico.

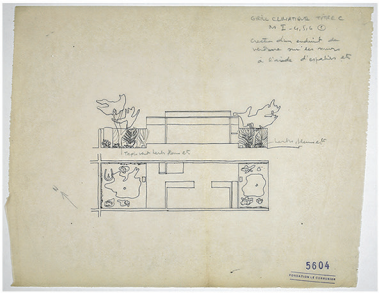
De esta manera, no es posible saber con toda seguridad la versión que se le envió a Pierre Jeanneret de la tabla, pero de los dibujos correspondientes al *Titre C*, con seguridad, se le envió la serie delineada a tinta, sin colorear y sin fechar (FLC 5600-5611); la correspondencia en número y denominación con el listado es completa. Xenakis fecha los dibujos, en este documento, el 18 de enero de 1952, igual que la otra serie existente (FLC 5627 A-P). Pero esta última, cuyos dibujos están firmados por Le Corbusier y tienen la fecha incluida en el documento (18-1-52), contiene tres dibujos más, además de la portada y una nota explicativa al principio del cuaderno que Xenakis no menciona en la enumeración de la carta. Los documentos se comparan en la tabla TD.3.05

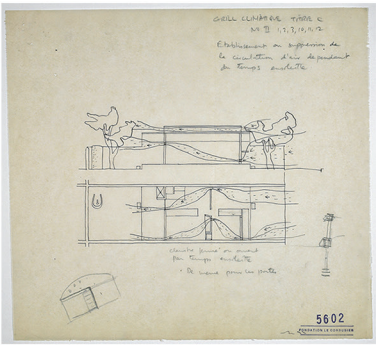
En otoño de 1959, se produce la ruptura entre Le Corbusier y sus colaboradores que, indiscutiblemente estaban muy involucrados en el desarrollo de la *Grille*. Ya sea por este motivo o tal vez porque en la India tampoco se le dio uso, no vuelve a existir referencia al respecto de su utilización.

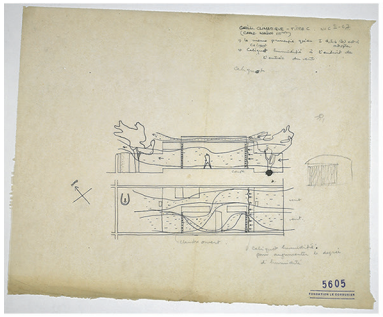
Fig. FD.3.125. En página opuesta. Dibujos correspondientes al Titre C, procédés architecturaux. Serie FLC 5600-5611. Parece un paso a limpio de la serie FLC 5627 A-P, dibujada por Le Corbusier, pero con 4 dibujos menos. En este caso no hay colores, ni existen tachaduras, el texto y los dibujos son idénticos.

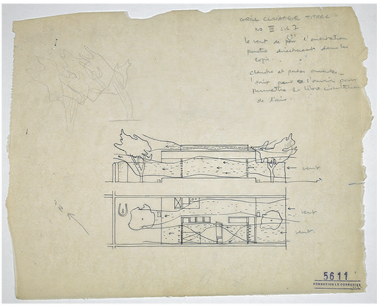

5610

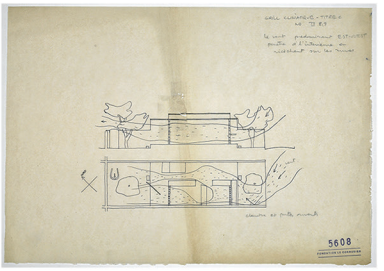

5600

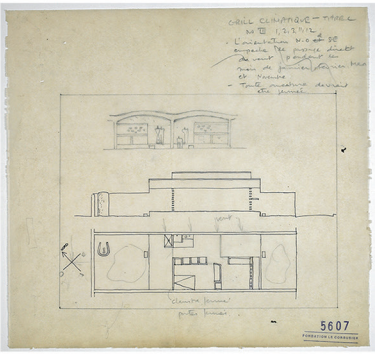

5604

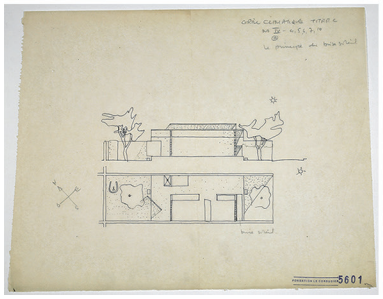

5602

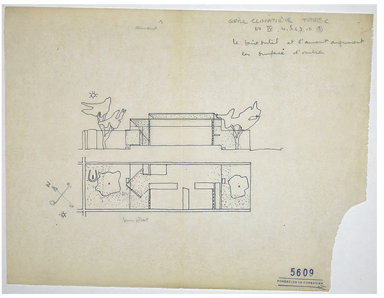

5605

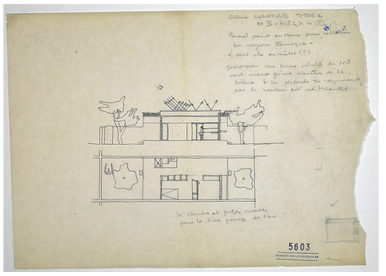

5611

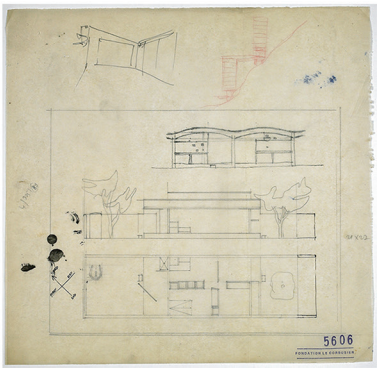

5608


5607


5601


5609


5603


5606

ANÁLISIS GRÁFICO

D.3.7. Análisis Gráfico

A continuación se recogen 15 fichas en las que se analiza detalladamente cada una de las soluciones arquitectónicas (*procédés architecturaux*) que se proponen para la *Grille Climatique* de las *Maison de Péons (Maisons de 110 m²)*.

Se utilizan como base la *Grille Climatique* de la plancha FLC 5623 y las soluciones incluidas en la serie FLC 5627 A-P. Como estas últimas son dibujos realizados por Le Corbusier, que parece que posteriormente se redibujaron (serie FLC 5600-5611, ver Fig. FD.3.125) existen modificaciones y tachaduras que se transcriben y traducen igualmente (con texto tachado pero legible).

Las láminas se ordenan por variables (temperatura del aire, humedad relativa, viento y temperatura radiante) tal y como está en la carta que Xenakis envía a Pierre Jeanneret (P2-1-25) y que se refleja en la tabla TD.3.05. En cada lámina, se extraen las filas de los tres títulos (*titre*) de la variable correspondiente y se alinean en vertical -al revés que en la propia *grille*- haciendo coincidir los meses y dando otra visión de la misma información.

Se recogen gráficamente los datos climáticos de cada variable, las correcciones que son necesarias (según los apuntes de Missenard) y la solución utilizada o propuesta. Adicionalmente se transcribe toda la información numérica y escrita, traduciéndola al castellano.

En los datos numéricos, si un valor no se sabe con certeza por la escritura, se ha indicado con un asterisco.

Portada del *cahier de dessin* (cuaderno de diseño)

GRILLE CLIMATIQUE	*GRILLE CLIMATIQUE*
TITRE C	TÍTULO C
Chandigarh Maisons 110 m²	Chandigarh Viviendas de 110 m²
Atelier Le Corbusier	Taller Le Corbusier
35 Rue de Sèvres Paris 6e	35 Rue de Sèvres Paris 6e
18 Janvier 1952	18 de Enero de 1952

Primera página con nota explicativa del funcionamiento

NOTA EXPLICATIVE:

La figure [] indique la reference on la correspondance qui existe entre les dessins et les cases du titre C (procedés archit.)

Le symbole latin I indique le facteur (dans cet exemple) la température.

Les chiffres arabes, indiquent les mois, dans cet exemple les 4, 5, 6 s'appliquent aux mois d'Avril, Mai, et Juin.

La lettre «a» indique qu'il existe au moins autre planche pour le même cas.

NOTA EXPLICATIVA:

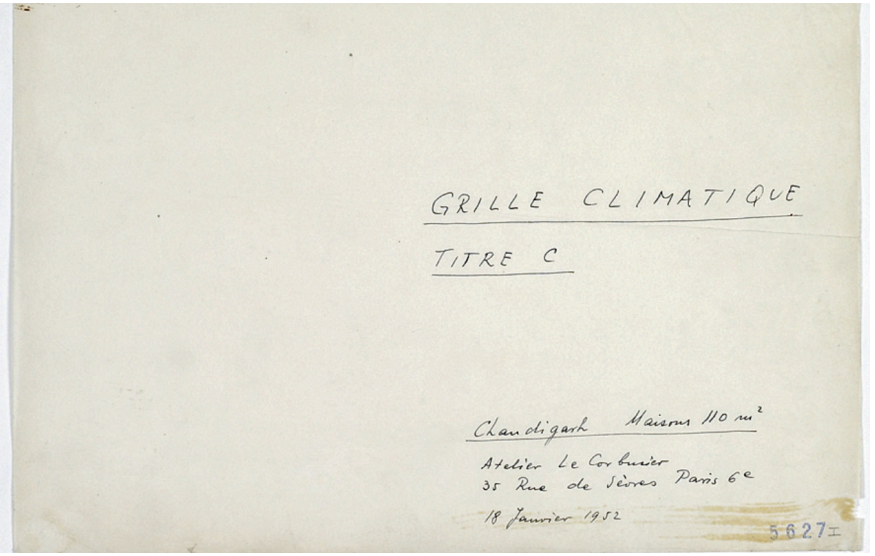
La figura [] indica la referencia entre la correspondencia que existe entre los diseños y las casilla del título C (procedimientos arq.)

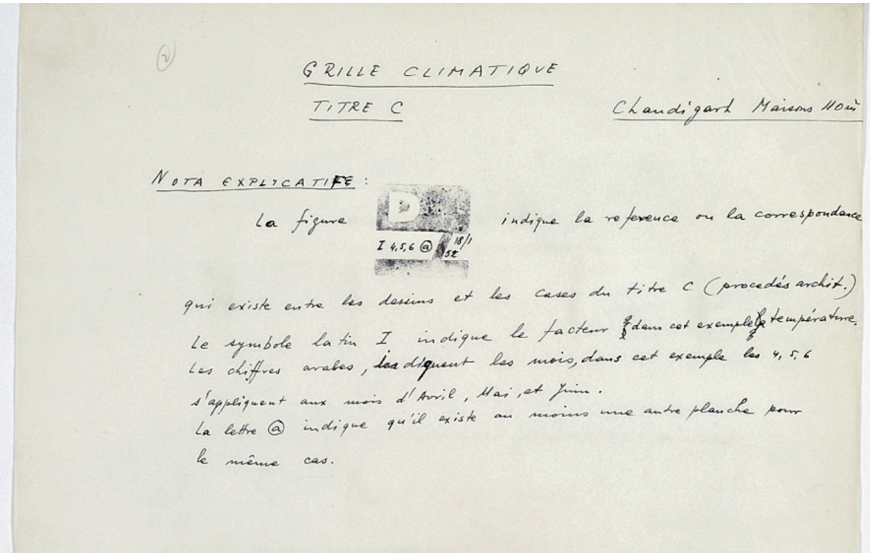
El símbolo latino I indica el factores (en este ejemplo) la temperatura.

Las cifras árabes, indican los meses, en este ejemplo 4, 5, 6 se aplican al mes de abril, mayo y junio.

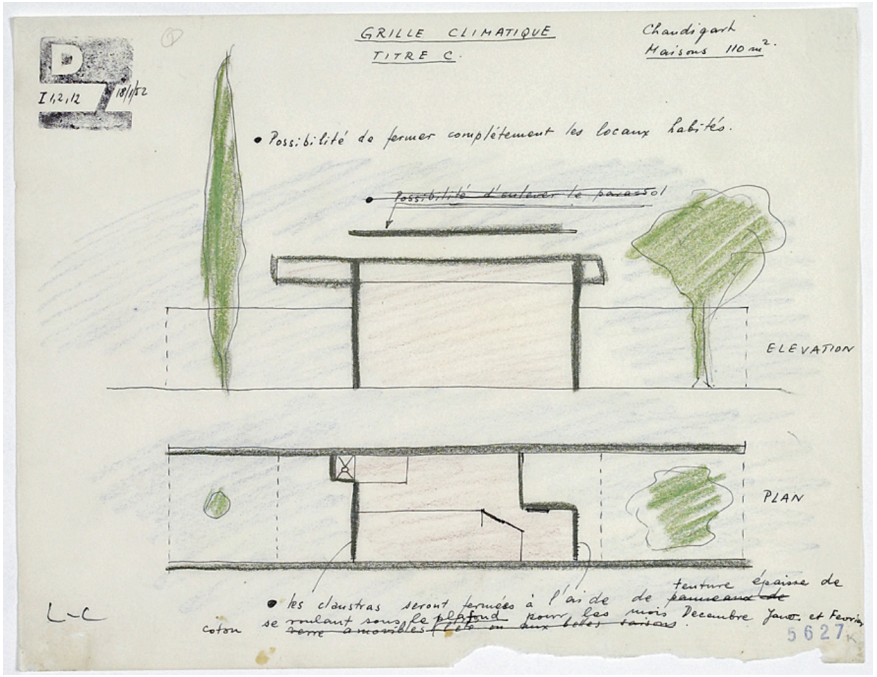
La letra "a" indica que existe al menos otra plancha para el mismo caso.

Documento FLC 5627 I - Documento FLC 5627 J





D.I - 1, 2, 12 (18/1/52) - Documento FLC 5627 K



Titre A: Donnes climatiques - Temperature de l'air

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T^a_{max}	13	16	21	28*	35	37	33	28	28	29	19	13
T^a_{min}	5	10	12	19	23	27	23	22	22	19	12	3*

Titre B: Corrections à apporter

Janvier: Augmenter la temperature de 8° à 10° en moyenne

Enero: Aumentar la temperatura de 8° a 10° de media

Février: Augmenter la temperature de 5° à 6° en moyenne

Febrero: Aumentar la temperatura de 5° a 6° de media

Janvier: Augmenter la temperature de 8° à 10° en moyenne

Enero: Aumentar la temperatura de 8° a 10° de media

Titre C: Procédés architecturaux

Cerrar completamente. Solución para corregir el parámetro Temperatura del aire en enero, febrero y diciembre.

Possibilité de fermer complétement les locaux habités.

Posibilidad de cerrar completamente los locales habitados.

~~*Possibilté d'enlever le parasol*~~

~~Posibilidad de quitar el parasol~~

Les claustras seront fermées à l'aide de tenture épaisse de coton se roulant sous le plafond pour les mois Décembre, Janvier et Février.*

**…~~panneaux de verre amovibles l'été en aux belles saisons.~~*

Los enrejados se cerrarán con la ayuda de* estores gruesos de algodón que se desenrollarán desde el techo para los meses de Diciembre, Enero y Febrero.

*…~~paneles de vidrio móviles en verano o en las estaciones bellas.~~

D.I - 4, 5, 6 (a) (18/1/52) - Documento FLC 5627 L

Titre A: Donnes climatiques - Temperature de l'air

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T^a_{max}	13	16	21	28*	35	37	33	28	28	29	19	13
T^a_{min}	5	10	12	19	23	27	23	22	22	19	12	3*

Titre B: Corrections à apporter

Avril: Abaisser en moyenne de 7°

Abril: Reducir de media 7°

Mai: Abaisser en moyenne de 10° à 12°

Mayo: Reducir de media de 10° a 12°

Juin: Abaisser en moyenne de 12° à 14°

Junio: Reducir de media de 12° a 14°

Titre C: Procédés architecturaux

<u>Ventilación cruzada. Solución 1 para corregir el parámetro Temperatura del aire en abril, mayo y junio.</u>

Tout peut s'ouvrir pour permettre la libre circulation de l'air.

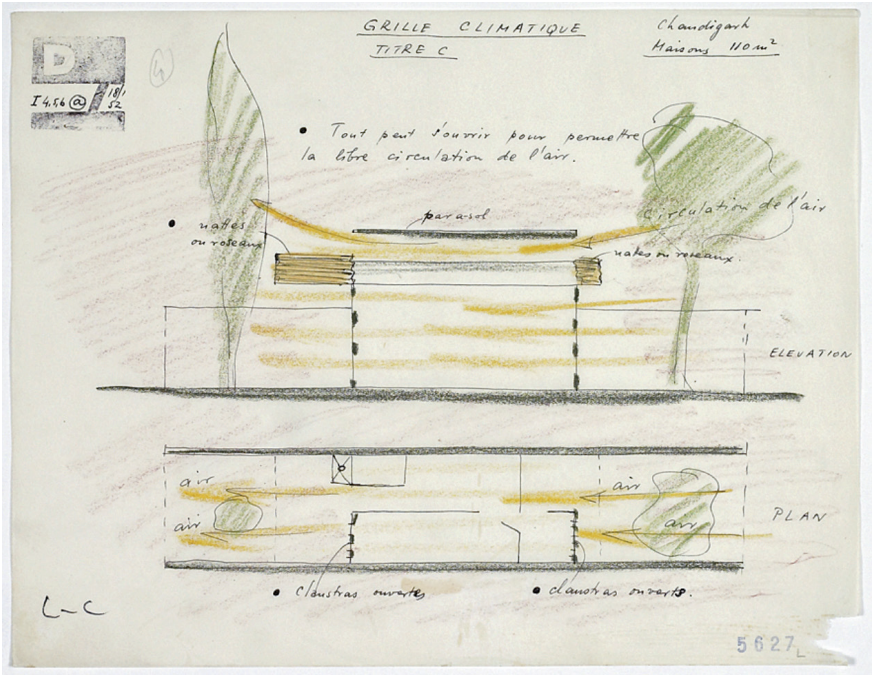
Todo se puede abrir para permitir la libre circulación del aire

Rafles ou roseaux

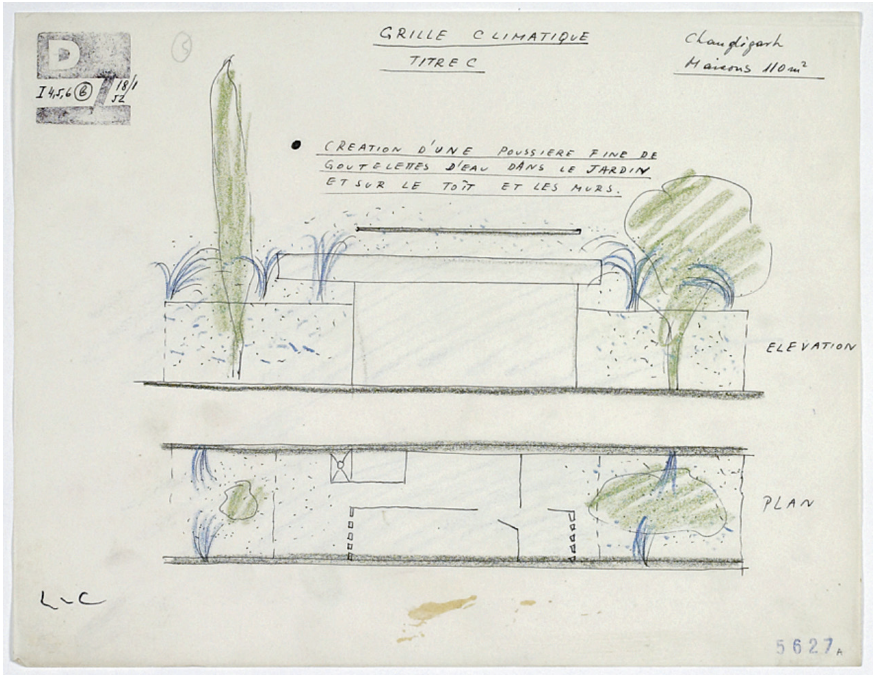
Tallos o cañas (refiere al alero conformado con un enrejado)

Claustras ouvertes

Enrejado abierto



D.I - 4, 5, 6 (b) (18/1/52) - Documento FLC 5627 A



Titre A: Donnes climatiques - Temperature de l'air

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T^a_{max}	13	16	21	28*	35	37	33	28	28	29	19	13
T^a_{min}	5	10	12	19	23	27	23	22	22	19	12	3*

Titre B: Corrections à apporter

Avril: Abaisser en moyenne de 7°

Abril: Reducir de media 7°

Mai: Abaisser en moyenne de 10° à 12°

Mayo: Reducir de media de 10° a 12°

Juin: Abaisser en moyenne de 12° à 14°

Junio: Reducir de media de 12° a 14°

Titre C: Procédés architecturaux

Evaporación de agua. Solución (b) para corregir el parámetro Temperatura del aire en abril, mayo y junio.

Création d'une poussière fine de goutelettes d'eau dans le jardin et sur le toit et les murs.

Creación de una lluvia fina de gotitas de agua en el jardín y sobre el techo y los muros.

D.I - 4, 5, 6 (c) (18/1/52) - Documento FLC 5627 C

Titre A: Donnes climatiques - Temperature de l'air

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T^a_{max}	13	16	21	28*	35	37	33	28	28	29	19	13
T^a_{min}	5	10	12	19	23	27	23	22	22	19	12	3*

Titre B: Corrections à apporter

Avril: Abaisser en moyenne de 7°

Abril: Reducir de media 7°

Mai: Abaisser en moyenne de 10° à 12°

Mayo: Reducir de media de 10° a 12°

Juin: Abaisser en moyenne de 12° à 14°

Junio: Reducir de media de 12° a 14°

Titre C: Procédés architecturaux

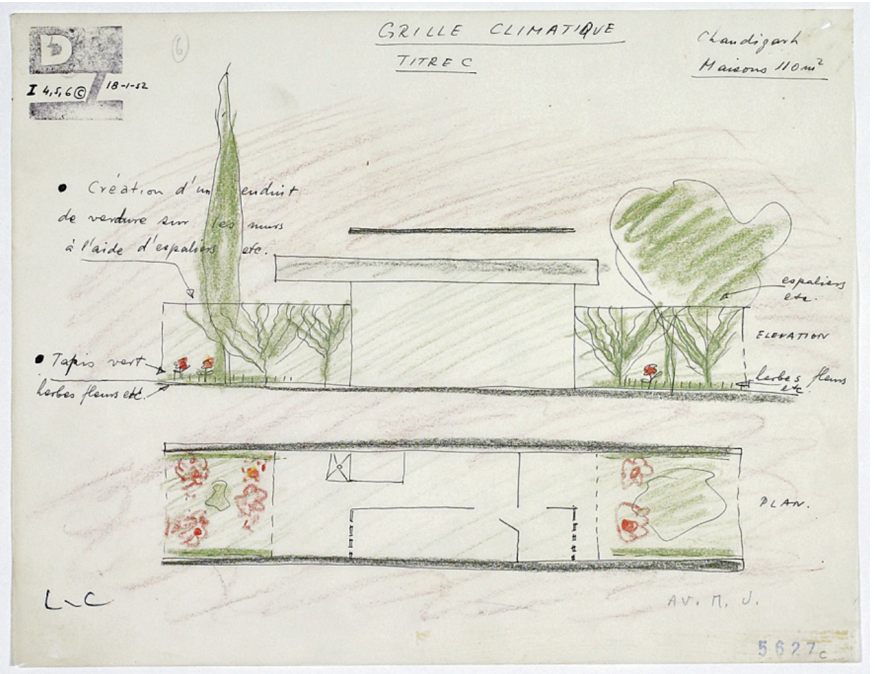
<u>Inclusión de elemento verde. Solución (c) para corregir el parámetro Temperatura del aire en abril, mayo y junio.</u>

Création d'un enduit de verdure sur les murs à l'aide d'espaliers, etc.

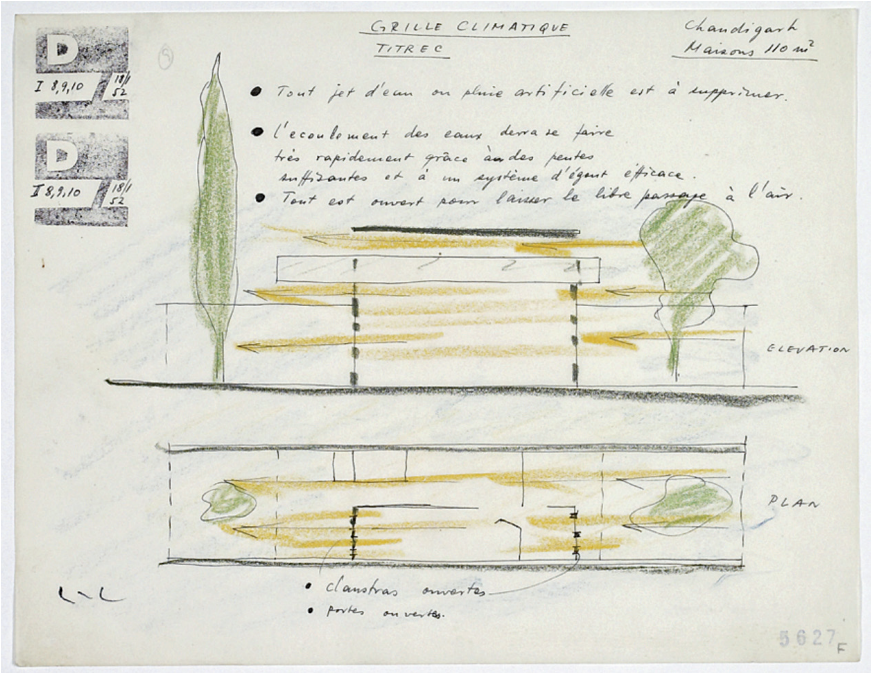
Creación de una cubierta verde sobre los muros con la ayuda de un entramado metálico

Tapis vert: herbes, fleurs, etc.

Tapiz verde: hierba, flores, etc.



D.I - 8, 9, 10 y II - 8, 9, 10 (18/1/52) - Documento FLC 5627 F



LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

Titre A: Donnes climatiques - Temperature de l'air - Humidité relative

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
T^a_{max}	13	16	21	28*	35	37	33	28	28	29	19	13
T^a_{min}	5	10	12	19	23	27	23	22	22	19	12	3*
Hr	75%	72%	69%	53%	50%	45%	62%	76%	75%	65%	70%	75%

Titre B: Corrections à apporter

Para la variable Temperatura del Aire

Août: À Abaisser en moyenne de 7° → Septmebre: Idem → Octobre: Idem

Agosto: Reducir de media 7° → *Septiembre: Idem → Octubre: Idem*

Para la variable Humedad relativa

Août: À Abaisser de 20 à 25% → Septmebre: Idem

Octobre: À Abaisser de 5 à 10%

Agosto: A reducir de 20 a 25% → *Septiembre: Idem*

Octubre: A reducir de 5 a 10%

Titre C: Procédés architecturaux

Ventilación y eliminación de humedad en época de lluvias. Solución para corregir el parámetro temperatura del aire en octubre, noviembre y diciembre.

Tout jet d'eau ou pluie artificielle est à supprimer.

Toda la inyección de agua o lluvia artificial tiene debe suprimirse.

L'ecoulement des eaux devra se faire très rapidement grâce au des pentes suffisantes et à un système d'égout efficace.

La evacuación del agua deberá hacerse muy rápido gracias a una pendiente suficiente y sistema de drenaje eficaz.

Tout est ouvert pour laisser le libre passage à l'air.

Todo está abierto para permitir el paso libre del aire.

Claustras ouvertes.

Enrejados abiertos.

Portes ouvertes.

Puertas abiertas.

D.II - 1, 2, 3, 10, 11, 12 (18/1/52) - Documento FLC 5627 D

Titre A: Donnes climatiques - Humidité relative

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Hr	75%	72%	69%	53%	50%	45%	62%	76%	75%	65%	70%	75%

Titre B: Corrections à apporter

Janvier: Abaisser le degré hygrothermique de 20 à 25% → Février: Idem

Enero: Reducir el grado higrotérmico de 20 a 25% → Febrero: Idem

Mars: Abaisser le degré hygrothermique de 15 à 20%

Marzo: Reducir el grado higortérmico de 15 a 20%

Titre C: Procédés architecturaux

Control de la ventilación. Solución para corregir el parámetro humedad relativa en enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre.

Etablissement ou suppression de la circulation d'air depedant du temps ensoleillé.

Establecimiento o supresión de la circulación de aire dependiendo del tiempo soleado.

~~*Posibilité d'enlever le parasol.*~~

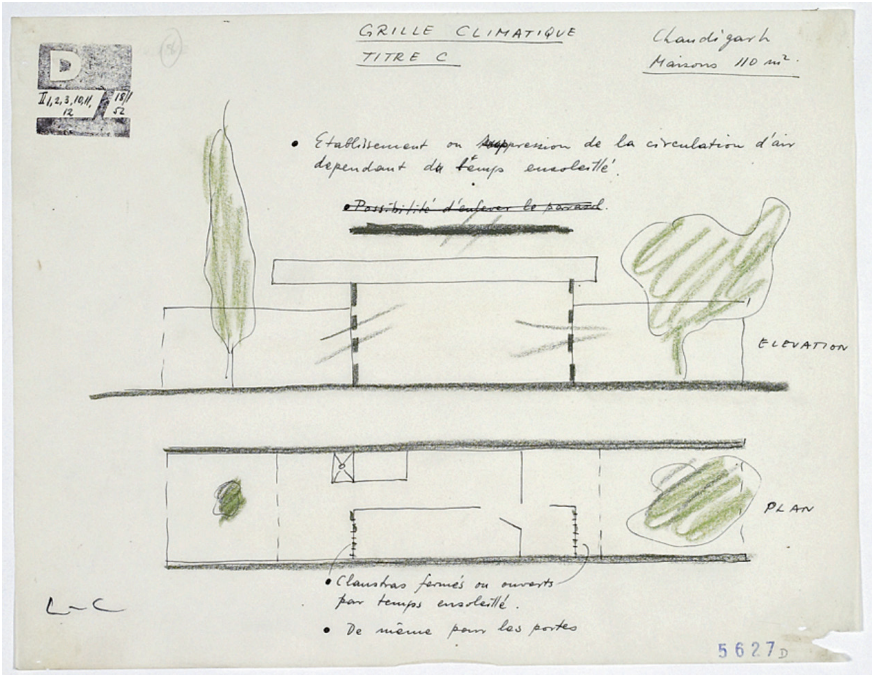
~~Posibilidad de eliminar el parasol.~~

Claustras fermés ou ouvertes par temps ensoleillé.

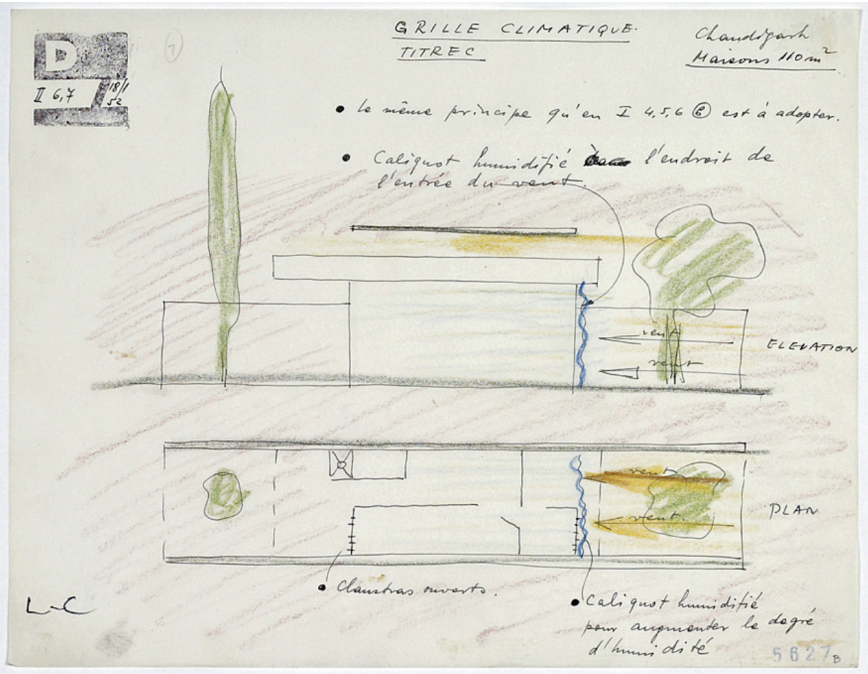
Enrejados cerrados o abiertos en tiempo soleado.

De même pour les portes.

Lo mismo para las puertas.



D.II - 6, 7 (18/1/52) - Documento FLC 5627 B



LE CORBUSIER Y LA GRILLE CLIMATIQUE

Titre A: Donnes climatiques - Humidité relative

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Hr	75%	72%	69%	53%	50%	45%	62%	76%	75%	65%	70%	75%

Titre B: Corrections à apporter

Juin: Satisfaisant. Pourrait sans inconvénient étre accru de 10 à 15%

Junio: Satisfactorio. Podría sin inconveniente ser aumentada de 10 a 15%

Juillet: Satisfaisant

Julio: Satisfactorio

Titre C: Procédés architecturaux

Humidificación del ambiente. Solución para corregir el parámetro humedad relativa en junio y julio.

Le même principe qu'en I. 4, 5, 6 (b) - est à adopter.

Se adopta el mismo principio que en I. 4, 5, 6 - c.

Caliquot humidifié l'endroit de l'entrée du vent.

Caliquot (estor grueso de algodón) humedecido ubicado en la entrada del viento.

Claustras ouvertes.

Enrejados abiertos.

Caliquot humidifié pour augmenter le degré d'humidité.

Calicó (estor grueso de algodón) humedecido para aumentar el grado de humedad.

D.III - 5, 6, 7 (18/1/52) - Documento FLC 5627 H

Titre A: Donnes climatiques - Vent (direction, vitesse et temperature)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
D	NE	N	NE	NE NO	NE	N SE	SE	E	E	NE	N	NE O
V_{max}	20	20	8	8	8	20	20	20	8	8	8	20
V_{min}	4	4	2	2	2	4	4	4	2	2	2	8
Tª	viento frío			brisa	fresca		por	intervalos			viento frío	

Titre B: Corrections à apporter

(Avril) → Mai: Idem → Juin: Idem → Juillet: Idem

(Abril) → Mayo: Idem → Junio: Idem → Julio: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

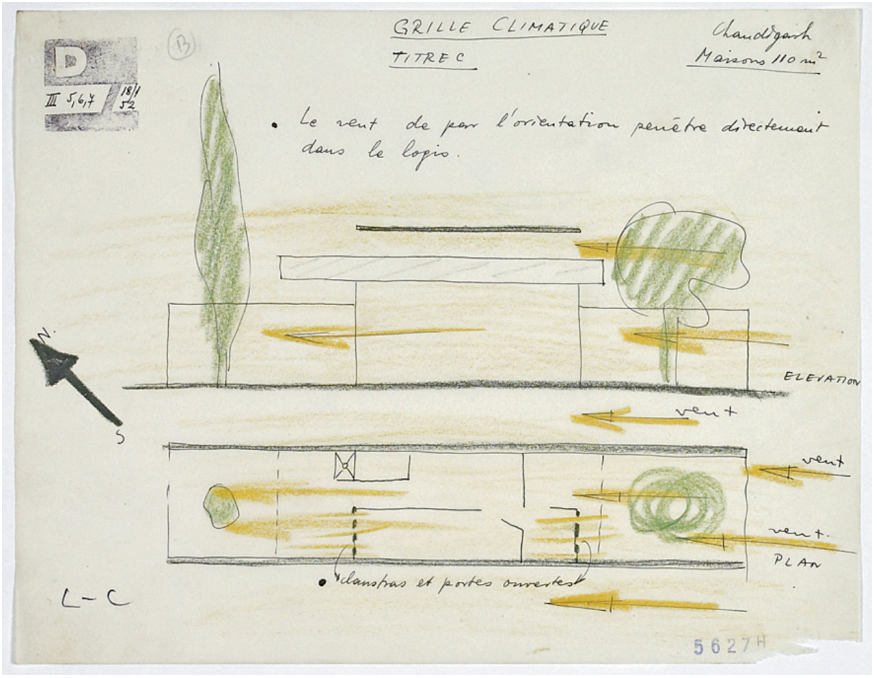
Se favorece la entrada de aire beneficioso. Solución para corregir el parámetro viento en mayo, junio y julio.

Le vent de par l'orientation penétre directement dans le logis.

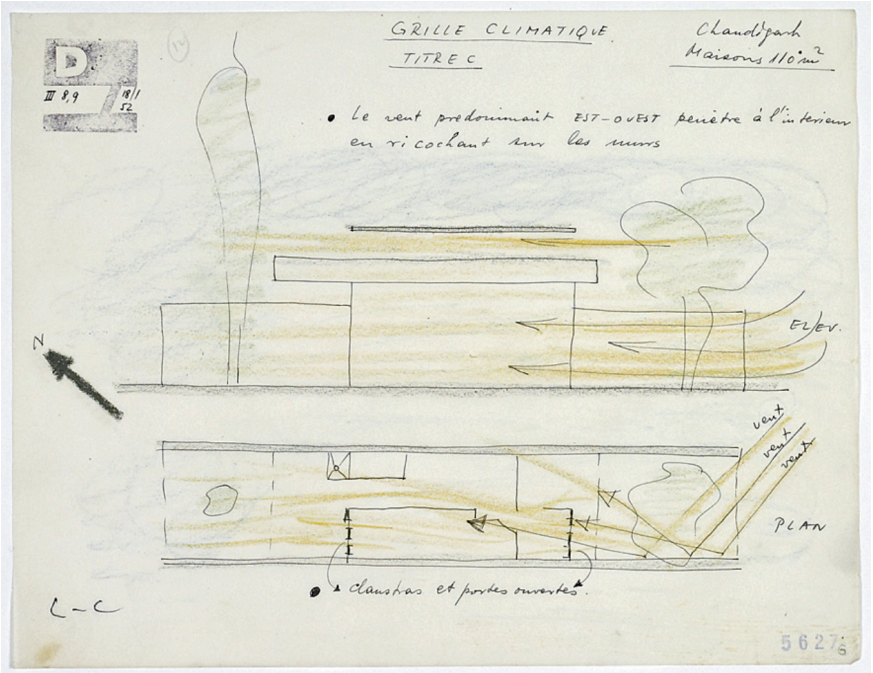
El viento por la orientación penetra directamente dentro de la vivienda.

Claustras et portes ouvertes.

Enrejados y puertas abiertos.



D.III - 8, 9 (18/1/52) - Documento FLC 5627 G



Titre A: Donnes climatiques - Vent (direction, vitesse et temperature)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
D	NE	N	NE	NE NO	NE	N SE	SE	E	E	NE	N	NE O
V_{max}	20	20	8	8	8	20	20	20	8	8	8	20
V_{min}	4	4	2	2	2	4	4	4	2	2	2	8
Tª	viento frío			brisa	fresca	por		intervalos			viento frío	

Titre B: Corrections à apporter

(Avril) → Août: Idem → Septembre: Idem

(Abril) → Agosto: Idem → Septiembre: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

Se favorece la entrada de aire beneficioso. Solución para corregir el parámetro Viento en agosto y septiembre.

Le vent predominant EST-OUEST penétre à l'interieur en ricochant sur les murs.

El viento predominante ESTE-OESTE penetra en el interior al rebotar en los muros.

Clasutras et portes ouvertes.

Enrejados y puertas abiertos.

D.III - 1, 2, 3, 11, 12 (18/1/52) - Documento FLC 5627 E

Titre A: Donnes climatiques - Vent (direction, vitesse et temperature)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
D	NE	N	NE	NE NO	NE	N SE	SE	E	E	NE	N	NE O
V_{max}	20	20	8	8	8	20	20	20	8	8	8	20
V_{min}	4	4	2	2	2	4	4	4	2	2	2	8
Tª	viento frío			brisa fresca por intervalos								viento frío

Titre B: Corrections à apporter

Janvier: Mouvements d'air sensibles à prohiber dans les locaux → Février: Idem → Mars: Idem

Enero: Movimientos de aire sensibles a prohibir en las estancias → Febrero: Idem → Marzo: Idem

Novembre: Mouvements d'air sensibles à prohiber → Décembre: Idem

Noviembre: Movimientos de aire sensibles a prohibir → Diciembre: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

<u>Se evita la entrada de aire perjudicial. Solución para corregir el parámetro viento en enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre.</u>

L'orientation N-O à S-E empeche le passage direct du vent pendant les mois de Janvier, Fevrier, Mars et Novembre.

La orientación N-O y S-E impide el paso directo del viento durante los meses de enero, febrero, marzo y noviembre.

Toute ouverture devroit être fermée.

Toda abertura deberá estar cerrada.

~~*Parasol à enlever.*~~

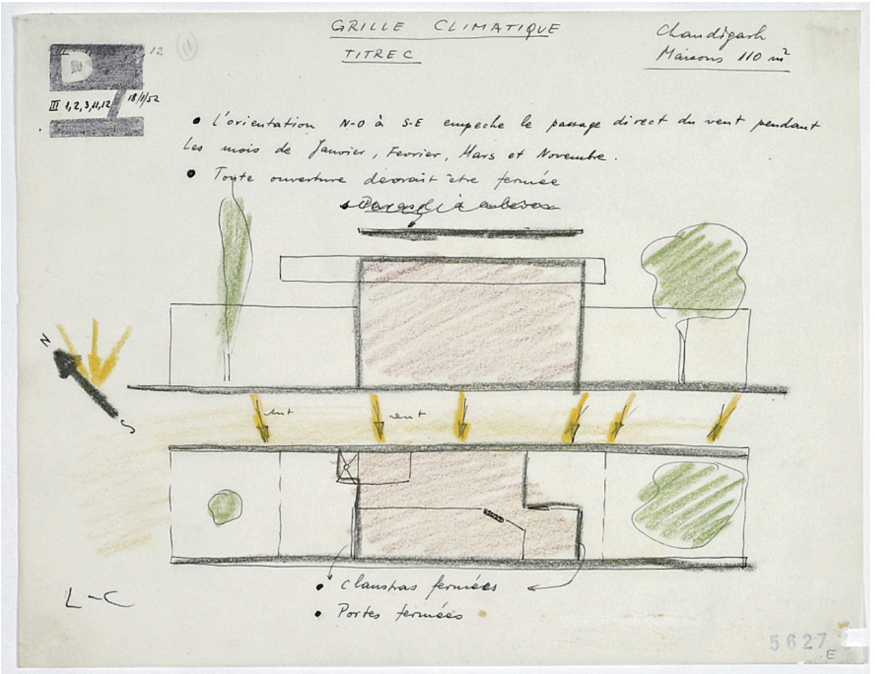
~~Parasol a eliminar.~~

Claustras fermées.

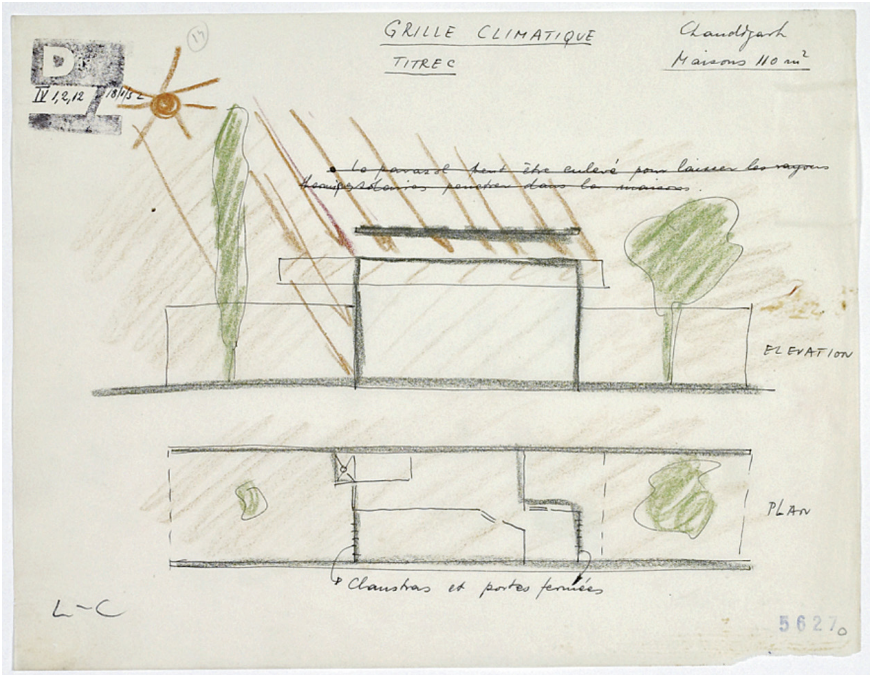
Enrejados cerrados.

Portes fermées.

Puertas cerradas.



D.IV - 1, 2, 12 (18/1/52) - Documento FLC 5627 O



Titre A: Donnes climatiques - Rayonnements (Thermique, luminique et des parois)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tª sol.												
L sol.								ciel couvert				
R par.												

Titre B: Corrections à apporter

Janvier: À récupérer autant que possible pour chauffer l'intérieur des maisons

Enero: Recuperar tanto como se pueda para calentar el interior de las viviendas

Février: À récupérer en partie (mais sans excés aux heures les plus chaudes)

Febrero: Recuperar en parte (pero sin exceso en las horas más calurosas)

Décembre: À récupérer autant que possible pour chauffer l'intérieur des maisons

Diciembre: Recuperar tanto como se pueda para calentar el interior de las viviendas

Titre C: Procédés architecturaux

La radiación solar calienta el interior. Solución para corregir el parámetro radiación en enero, febrero y diciembre.

~~*Le parasol peut être enlevé pour laisser les rayons thermiques solaires penetrer dans la maison.*~~

~~El parasol deber ser eliminado para dejar que los rayos térmicos solares penetren en la casa.~~

Clasutras et portes fermées.

Enrejados y puertas cerrados.

D.IV - 4, 5, 6, 7, 10 (a) (18/1/52) - Documento FLC 5627 N

Titre A: Donnes climatiques - Rayonnements (Thermique, luminique et des parois)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tª sol.												
L sol.								ciel couvert				
R par.												

Titre B: Corrections à apporter

Avril: à proscrire

Abril: proscribir

Mai: à proscrire absolutement → Juin: Idem → Juilet: Idem → Octobre: Idem

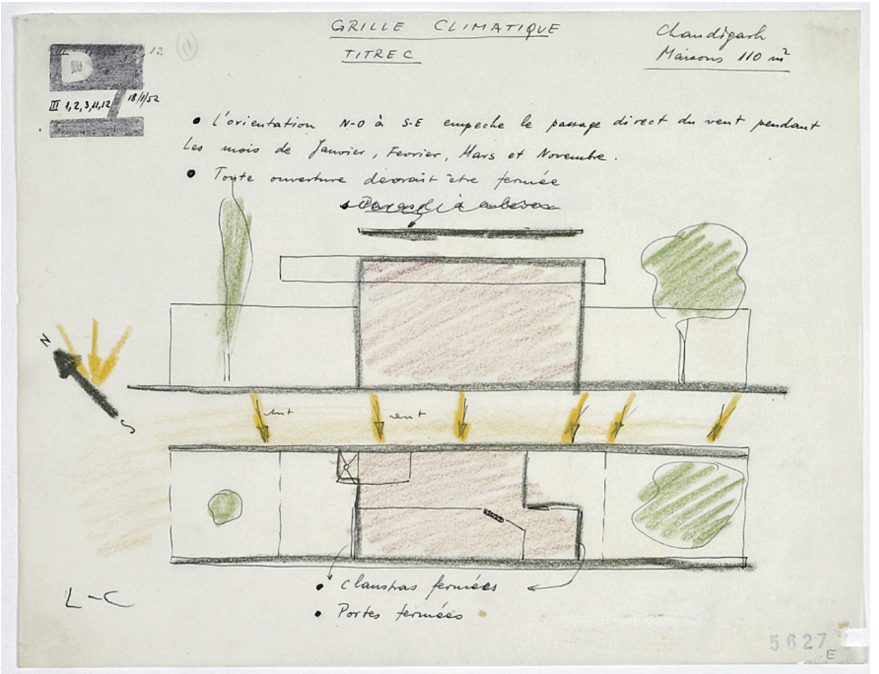
Mayo: proscribir absolutamente → Junio: Idem → Julio: Idem → Octubre: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

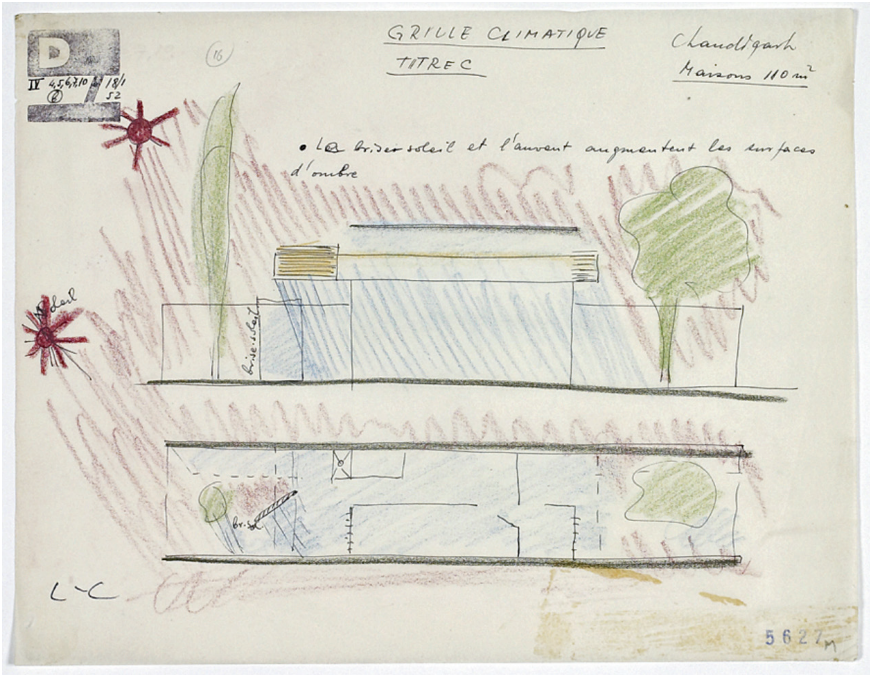
<u>Las sombras evitan la entrada de soleamiento directo en el interior de la vivienda por la mañana. Solución para corregir el parámetro radiación en abril, mayo, junio, julio y octubre.</u>

Le principe du brise-soleil.

El principio del brise-soleil.



D.IV - 4, 5, 6, 7, 10 (b) (18/1/52) - Documento FLC 5627 M



Titre A: Donnes climatiques - Rayonnements (Thermique, luminique et des parois)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tª sol.												
L sol.								ciel couvert				
R par.												

Titre B: Corrections à apporter

Avril: à proscrire

Abril: proscribir

Mai: à proscrire absolutement → Juin: Idem → Juilet: Idem → Octobre: Idem

Mayo: proscribir absolutamente → Junio: Idem → Julio: Idem → Octubre: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

Las sombras evitan la entrada de soleamiento directo en el interior de la vivienda por la tarde. Solución para corregir el parámetro radiación abril, mayo, junio, julio y octubre.

Les brise-soleil et l'auvent augmentent les surfaces d'ombre.

Los brise-soleil y el alero aumentan las superficies en sombra.

D.IV - 4, 5, 6, 7, 10 (c) (18/1/52) - Documento FLC 5627 P

Titre A: Donnes climatiques - Rayonnements (Thermique, luminique et des parois)

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Tª sol.												
L sol.							ciel couvert					
R par.												

Titre B: Corrections à apporter

Avril: à proscrire

Abril: proscribir

Mai: à proscrire absolutement → Juin: Idem → Juilet: Idem → Octobre: Idem

Mayo: proscribir absolutamente → Junio: Idem → Julio: Idem → Octubre: Idem

Titre C: Procédés architecturaux

<u>Las sombras evitan la entrada de soleamiento directo en el interior de la vivienda gracias al parasol. Solución para corregir el parámetro radiación abril, mayo, junio, julio y octubre.</u>

Parasol peint en blanc pour réfléchir les rayons thermiques

Parasol pintado en blanco para reflejar los rayos térmicos

Claustras et portes ouvertes pour le libre passage de l'air

Claustras y puertas abiertas para dejar pasar libremente el aire

IMPORTANT: Une bonne isolation du toit vaut mieux qu'une élévation de la toiture. Si les plafonds ne rayonnent pas, la hauteur est indifférente.

IMPORTANTE: Un buen aislamiento de la cubierta iría mejor que una elevación de la cubrición. Si los techos no radian, la altura es indiferente.

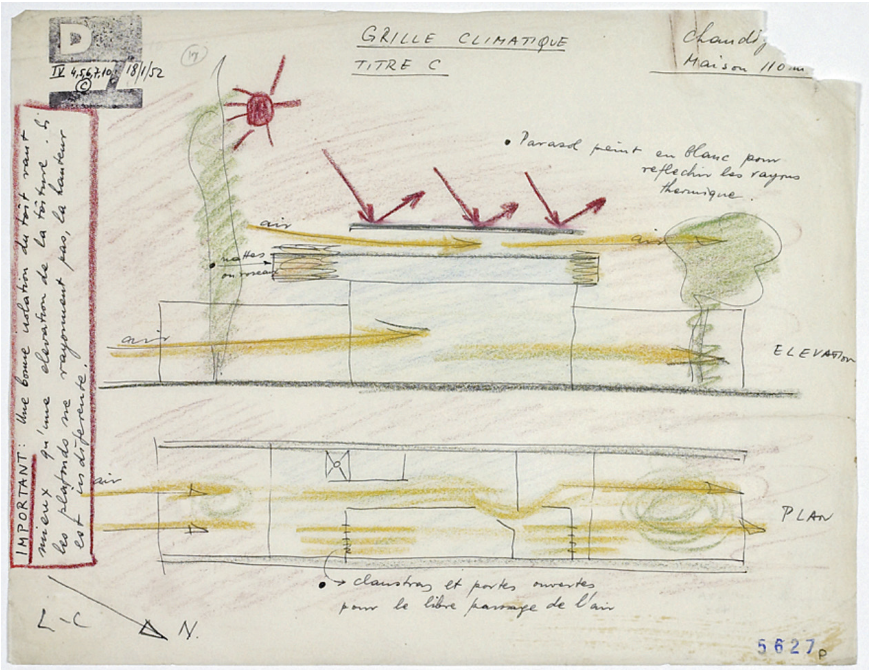


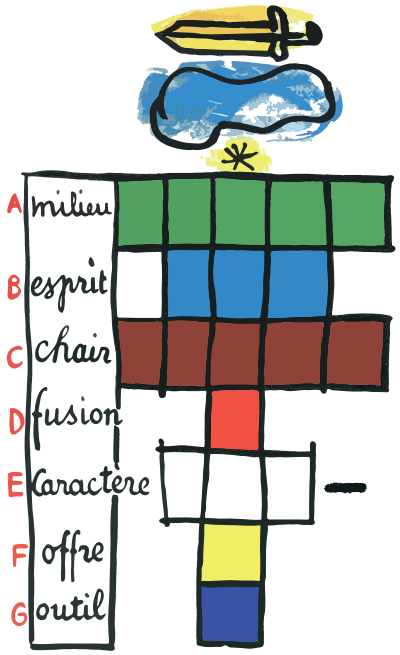
Tabla cronológica de documentos

En la siguiente tabla se recogen los documentos relativos a la *Grille Climatique* de los dos últimos apartados, consultados, en su mayoría, en la *Fondation Le Corbusier*.

Se han ordenado cronológicamente, teniendo en cuenta las fechas contenidas en los documentos y en caso de no existir se ha supuesto su colocación en función de las evidencias contenidas en otros documentos o en su nivel de desarrollo con respecto a otros. Aquellos documentos que no se han podido situar se encuentan al final de la tabla.

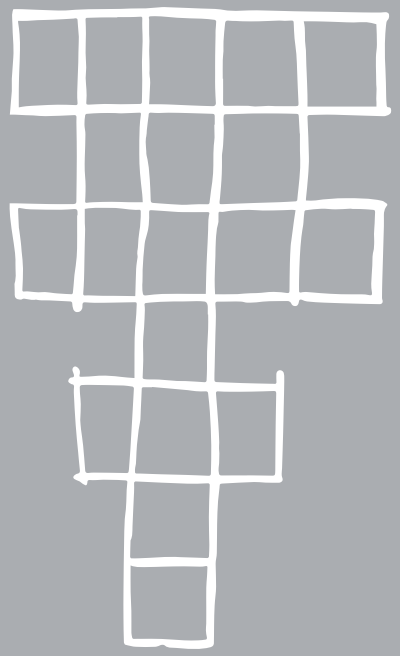
DOCUMENTO	REGISTRO FLC	FECHA	COMENTARIOS
Bocetos y croquis de estudio soluciones Firmado LC	FLC 5625J, K, L (3 dibujos)	17/01/1950	Parecen bocetos preparatorios de los dibujos definitivos que se incluirían en la GC (FLC 5627)
Carta Le Corbusier - Missenard		02/12/1951	LC solicita consejo sobre el proyecto de Chandigarh
Carta Le Corbusier - Missenard		06/12/1951	Hubo una reunión ese mismo día Se detalla el procedimiento de colaboración
Carta Missenard - Le Corbusier		12/12/1951	Missenard muestra su entusiasmo, solicita un cuatioario y propone organizar una nueva reunión
Programme d'Études des Conditions Climatiques Optima et des Moyens Architecturaux de correction Redactado por Xenakis	FLC P2-1-1 2 páginas	16/12/1951	Informe preciso influido por las teorías de Missenard Define ambiance climatique en base a cuatro variables
Esquisse général de la grille pour le conditionnement climatique du Secrétariat Dibujo: Samper	FLC 2642	21/12/1951	Propuesta inicial de la GC Refleja para definir el ambiance climatique seis variables
Carta de Le Corbusier - Jane Drew	FLC P2-1-9 1 página	21/12/1951	Se envía le mismo día que la propuesta inicial de la GC Informa de la creación de la GC en una segunda reunión con Missenard
Carta de Le Corbusier - Jane Drew	FLC P2-1-9 1 página	21/12/1951	Se le comunica que después de la 2ª reunión con Missenard han creado la grille, la marcha del trabajo es buena y que llegan a propuestas útiles.
Envío de Xenakis - Missenard GC con datos facilitados por Ingeniero Ejecutivo de la Capital Project Division de Chandigarh		29/12/1951	Datos detallados para facilitar el trabajo de correcciones climáticas de Missenard. Indica que es del proyecto Type d'Habitation Populaire, posterior a las Maisons des Péons
Carta Xenakis - Senior Architects Chandigarh	FLC P2-1-10 2 páginas	14/01/1952	Xenakis se presenta como: "responsable de la grille climatique" Se definen los trabajos realizados desde el 9 de noviembre hasta la fecha
Grille Climatique incompleta No incluye correcciones a realizar Temperatura radiante definida con un único parámetro	FLC 5624	??/01/1952	Sin fecha, pero al no estar concretados los parámetros de temepratura radiante, ni definidas las correcciones que estableció Missenard los días 15-16 de enero debe ser anterior
Grille Climatique Maison des Péons Esquemática, sin completar	FLC 5612	15/01/1952	Anotaciones de Missenard a lápiz Paso intermedio anterior al definitivo presentado en FLC 5623 Indica junto al título *"universel?"*
Reunión: Le Corbusier, Maisonnier, Samper Xenakis y Missenard Documento: Corrections désirables dans le locaux. Autor: Missenard	FLC P2-1-27 1 páginas	16/01/1952	Missenard establece las correcciones necesarias en el Titre B
Diseños correspondientes el Titre C marcados con tampón D (Dessin) Firmados: L-C	FLC 5627A-P 14+2 dibujos	18/01/1952	Dibujos coloreados de LC, corresponden a la GC de FLC 5623
Texto de Le Corbusier - P.N Thapar	FLC P1-15-224 2 páginas	18/01/1952	Defiende la GC y dice que ha utilizado la GC sobre la Haute Cours y el Sécretariat y que le ha dado buenos resultados. Dice que le envía información de estas dos.
Diseños correspondientes el Titre C sin firmar	FLC 5600 - 5611 12 dibujos	18/01/1952	Delineaciones sin color del cahier de dessins Hay dos diseños menos que en la versión coloreada Xenakis los fecha 18/01/1952 en FLC P2-1-26
Grille Climatique Maison des Péons Diseño completo y con numerosas anotaciones en las casillas	FLC 5623	21/01/1952	También, hay anotaciones en lápiz posteriores lo que indica que se trabajó sobre la GC posteriormente en una posible redificnición que incluyera factores psicofisiológicos
Grille Climatique incompleta Incluye correccones de los datos climatológicos Incluye valores de temperatura radiante	FLC 7999	??/01/1952	Sin fecha, incluye indicación de datos climatológicos Ambala Incluye datos numéricos de rayonnement des parois
Carta LC - Jane Drew (Chandigarh) Envío GC y documentación		22/01/1952	Dato extraído de la carta de 8 de febrero No existe documento concreto
Grille Climatique definitiva Firmado: Atelier Le CORBUSIER	FLC P2-1-3 3+3 páginas	31/01/1952	Incluye definición de la GC: *moyen matériel de visualisation permettant d'énumérer, de coordoner et d'analyser les donnés climatiques […] afin d'orienter la recherche architectural*
Carta Le Corbusier - Jane Drew (Chandigarh) Envío GC y documentación	FLC P2-1-13 1 página	08/02/1952	Se adjunta el texto descriptivo de la GC y los propios documentos gráficos
Carta de Jane Drew - Le Corbusier Agradecimiento por la información enviada	FLC P2-1-12 2 páginas	12/02/1952	Le había enviado grille climatique y "weather drawings"
Carta de Jane Drew - Le Corbusier Agradecimiento por la información enviada	FLC P2-1-14 1 página	18/02/1952	Le había enviado una explicación de la "Grille Climatique de L'Atelier Le Corbusier" Es en respuesta a la carta del 8 de febrero FLC P2-1-13
Reporte con decisiones tomadas en reunión entre M. Fry, J. Drew y PL. Varma	FLC P2-1-28 2 páginas	08/03/1952	Los datos climáticos (Titre A) no son acordes Algunas soluciones (Titre C) se consideran poco eficaces o económica/técnicamente inviables
Carta de Jane Drew - Le Corbusier Exposición en NY. Solicita: GC y Grille CIAM	FLC P2-1-29	14/05/1952	Drew informa de la exposición sobre Chandigarh y lo invita a participar enviando la documentación
Doshi solicita a la Oficina Meteorológica india información climatológica de Chandigarh y Ahmedabad		20/05/1952	Esta fecha se indica en la carta FLC P2-1-15
Carta Le Corbusier - Jane Drew Respuesta positiva invitación exposición en NY	FLC P2-1-30	04/06/1952	Acepta y agradece invitación
Respuesta Oficina Meteorológica india con datos meteorológicos de Ahmedab y Ambala (ciudad más cercana a Chandigarh)	FLC P2-1-15 5 páginas	20/06/1952	Se adjuntan los datos climatológicos solicitados
Carta Missenard - Le Corbusier Se interesa por el progreso en los proyectos indios		15/07/1952	Extraído de (Requena Ruíz 2013)
Carta Le Corbusier - Jane Drew Nombra brevemente la GC	P2-1-16 2+1 páginas	22/07/1952	Es el acta de una reunión Se nombra brevemente la GC
Carta de Jane Drew - Le Corbusier	FLC P2-1-19 2 páginas	01/08/1952	Recibida 01/09/1952 Le informa de que traslada su carta con el acta a la Secretaría Solicita una copia de la Grille Climatique para traducir los apéndices
Carta Le Corbusier - Missenard Respuesta a Missenard (15/07)		08/10/1952	Extraído de (Requena Ruíz 2013) Pide disculpas y adjunta un cheque de pago de honorarios
Carta Missenard - Le Corbusier		16/10/1952	Extraído de (Requena Ruíz 2013) Agradece el pago y se ofrece disponibilidad sin necesidad de más pagos
Carta de Doshi - Director General Observatorio (Oficina meteorológica)	FLC P2-1-22 1 página	13/01/1953	Le agradece la información enviada en FLC P2-1-15 y pide disculpas por tardar en contestar (6 meses después)
Carta de Samper - Malhotra incluye una copia de la GC hecha en enero 1952	FLC P2-11-21	22/07/1953	Fecha ??. Siret indica que más de un año después de la carta de Le Corbusier a Jane Drew FLC P2-116 (2006)
Texto justificativo de Le Corbusier - P.L. Varma	FLC P1-10-301	22/05/1956	Dice que todo lo que hay escrito lo apoya Missenard Comenta que es una pena haber desarrollado la Grille y que no se haya tenido en cuenta en Chandigarh
Carta de Jeet Malhotra - Le Corbusier	FLC P2-1-21 1 página	15/01/1959	Le pide una copia copia nueva de la Grille Climatique de Chandigarh, que le había prometido el 30 de diciembre de 1958
Carra de Le Corbusier - Maisonnier y Xenakis	FLC P2-1-32 1 página	19/01/1959	Indica que hay que enviar GC y épure de brise-soleil a Pierre Jeanneret
Envío a Pierre Jeanneret de la GC incluye carta de Le Corbusier - Pierre Jeanneret	[FLC P1-13-34] FLC P2-1-24	12/02/1959	Tono muy cordial. Le Corbusier resume la historia de la GC: *[…] rien de tout ceci n'a été réalisé, mais la méthode de travail qu'autorisait la Grille Climatique était intéressante.*
Carta de Xenakis - Senior Architect Chandigarh	FLC P2-1-26 1 página	13/02/1959	Es una relación de lo enviado. Varias Grille, dibujos del cahier y cuatro planos
Tabla de Grille Climatique completamten vacía	FLC 7998	sin fecha	
Tabla de Grille Climatique completamten vacía	FLC 8000	sin fecha	
Tablas con datos climáticos de Ahmedabad	FLC P2-1-13 1 página	sin fecha	Es posible que fuera con el documento FLC P2-1-15

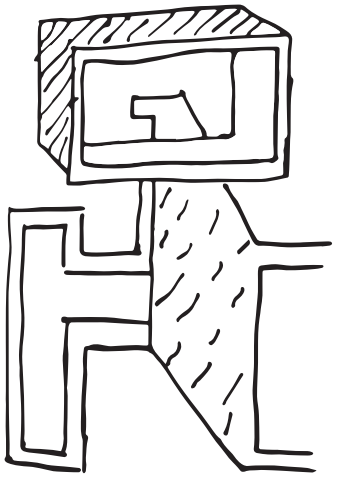
Tabla TD.3.06. Clasificación cronológica de documentos sobre la *Grille Climatique*



Cap. E

CAPÍTULO E.
CASOS DE ESTUDIO
EL EDIFICIO PROYECTADO - CONSTRUIDO - PERCIBIDO





E.0. Introducción

Se pretende realizar en el presente capítulo un recorrido comparativo sobre los dos casos de estudio seleccionados, en la misma dirección y con las mismas herramientas con las que se haría en un hipotético control desde el inicio del proyecto hasta el edificio construido y en funcionamiento. Haciendo este ejercicio sobre dos edificios construidos podemos evaluar el proceso como tal, pero también en base a los resultados y así en un proceso de *feedback* analizar las necesidades de mejora del proceso.

Para ello se hará un estudio climático y de control higrotérmico (que sería previo al proyecto) en base a los datos existentes y a la utilización de algunas de las herramientas estudiadas. Posteriormente se realiza una simulación de los edificios para poder comparar la veracidad de los datos obtenidos con la realidad que conocemos gracias a la monitorización.

Finalmente, se conocerá la opinión del confort higrotérmico y global de los edificios por parte de los usuarios y se podrá valorar realmente si su diseño satisface las necesidades que estos tienen.

Fig. FE.0.01. Vista aérea de la Cité Universitaire de Paris (CIUP)

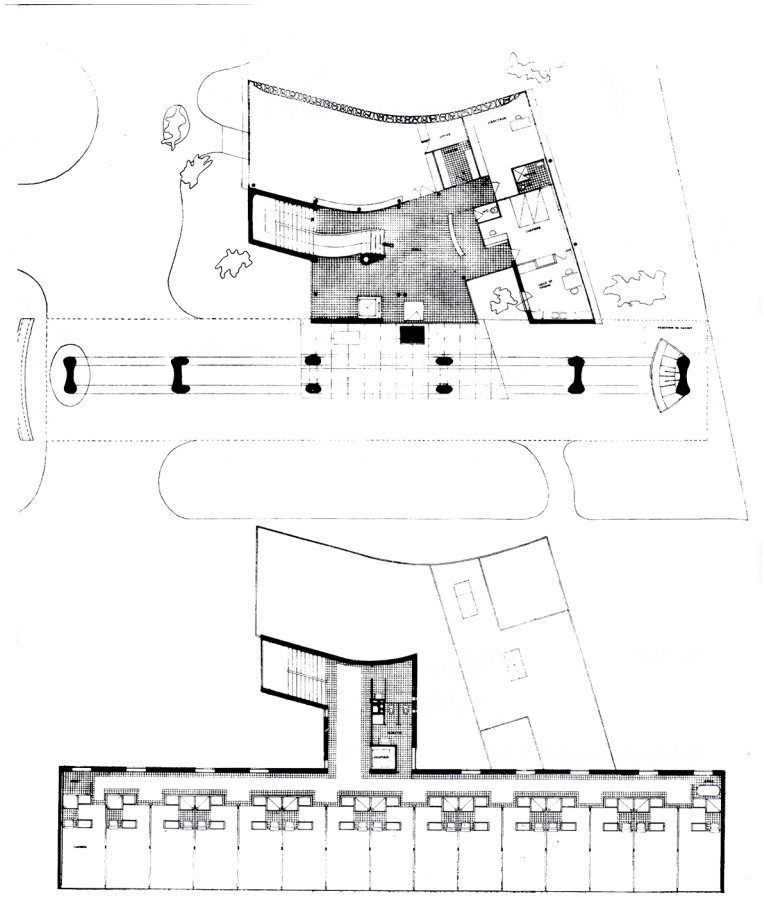


Fig. FE.0.02. Planta baja (arriba) y tipo de habitaciones (abajo). *Fondation Suisse*

No podemos olvidar que tanto la *Fondation Suisse*[235] como la *Maison du Brésil* son edificios con más de 50 años de edad y que por tanto los estándares constructivos y de confort con los que fueron ideados y ejecutados distan mucho de los actuales. Pero si se quiere que el patrimonio moderno siga vigente y por tanto mantenido y ocupado es necesario adaptarlo a las necesidades actuales encontrando el difícil punto de equilibro con el respeto al patrimonio histórico del que forman parte.

Ambos edificios han sido rehabilitados y siguen en funcionamiento, aunque los criterios de intervención no siempre han posibilitado la adaptación total a los requerimientos actuales.

En definitiva, con la comparativa comprobaremos hasta qué punto el trabajo en la India y el desarrollo de una sensibilidad metodológica hacia el clima, el ambiente y el confort – tal y como evidencia la *Grille Climatique*—influyeron en la manera de proyectar de Le Corbusier y si esto se evidencia en los edificios.

Contexto histórico

La *Fondation Suisse* y la *Maison du Brésil* son dos residencias de estudiantes situadas en el interior de la *Cité Universitaire de Paris* (CIUP) que se encuentra localizada en el sur de la ciudad. En estos momentos se encuentra rodeada de zonas completamente urbanizadas pero en el momento de su establecimiento (1925) ocupaba unos solares del límite urbano donde se pretendió crear un lugar donde pudiera confluir el conocimiento a nivel internacional.

1. La Fondation Suisse

La *Fondation Suisse* fue un encargo directo del comité de universidades suizas a Le Corbusier en 1931. Tanto los plazos como el presupuesto eran ajustados y se tardaron menos de 8 meses en finalizar el proyecto incluyendo varias versiones diferentes.

235. En este capítulo se ha denominado al *Pavillon Suisse* como *Fondation Suisse* que es la denominación correcta actual.

El edificio fue concebido y proyectado como un híbrido ideal que aunara el lenguaje bien establecido de las villas puristas de Le Corbusier y su intento de trasladarlo a programas más complejos. Adicionalmente debía responder a las soluciones teóricas que estaba planteando para los nuevos problemas urbanos. De hecho la fecha de publicación de la *Ville Radieuse* y la inauguración de la *Fondation Suisse* fueron muy cercanas, ambas en 1933.

En este edificio aparece por primera vez la utilización masiva de vidrio en diferentes versiones. Una de las propuestas iniciales presenta la fachada suroeste completamente realizada en vidrio estructural que acabó utilizando en otros edificios como el *Immeuble Molitor* (24 *rue Nungesser et Coli*) o el *Immeuble Clarté*. En otra propuesta, tal y como se observa en la axonometría contenida en el dibujo CU 2559, la fachada de vidrio refleja los árboles y el verde situado enfrente.

Con el proyecto se pusieron por primera vez en juego los cinco puntos de la arquitectura en un edificio de grandes dimensiones. Se observan invariantemente desde la primera propuesta de enero de 1931, en la que los volúmenes puros parecen chocar con las necesidades del programa. En una propuesta posterior de febrero de 1931 se introdujeron las curvas características de la planta baja y de los *pilotis* de hormigón. Con la versión de junio del mismo año se hicieron las primeras estimaciones de presupuesto y el 1 de agosto se probó el proyecto definitivo que se desarrolló a nivel constructivo de esta fecha hasta el 31 de noviembre.

A pesar de los relativos problemas de presupuesto, en el edificio se utilizaron soluciones constructivas novedosas para la época y Le Corbusier no desaprovechó la oportunidad de utilizar cada edificio como una nueva investigación tipológica, estructural y constructiva.

La estructura del forjado de planta primera hacia abajo es toda de hormigón armado y a partir de la losa que apoya sobre los pies derechos del bloque es

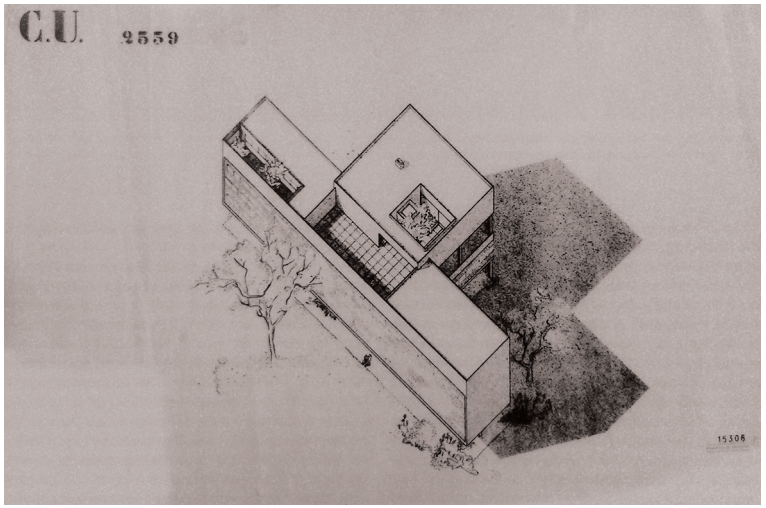


Fig. FE.0.03. Vista axonométrica. 14 de enero de 1931. FLC 15306

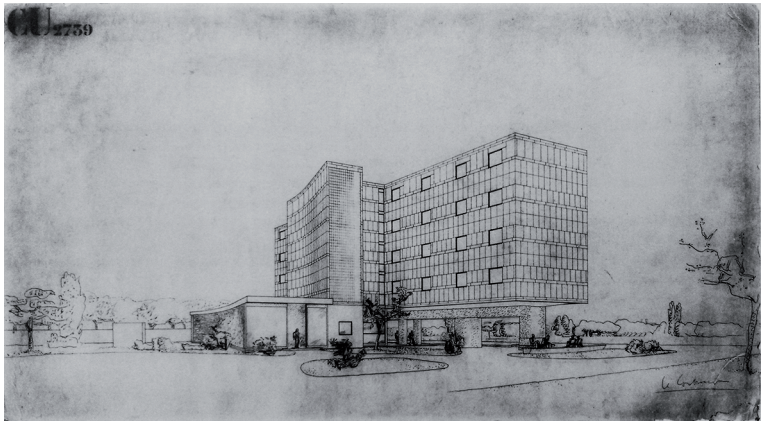


Fig. FE.0.04. Perspectiva desde la calle de acceso. 3 de agosto de 1931

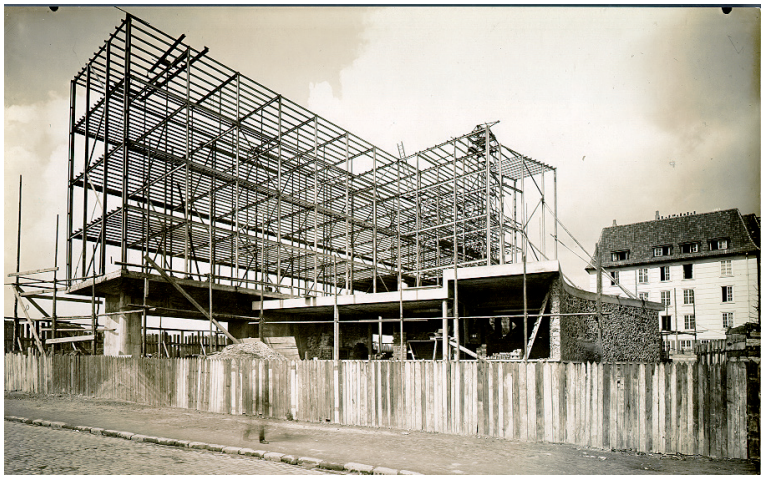


Fig. FE.0.05. Fotografía durante la construcción (FLC L-2-8-13)

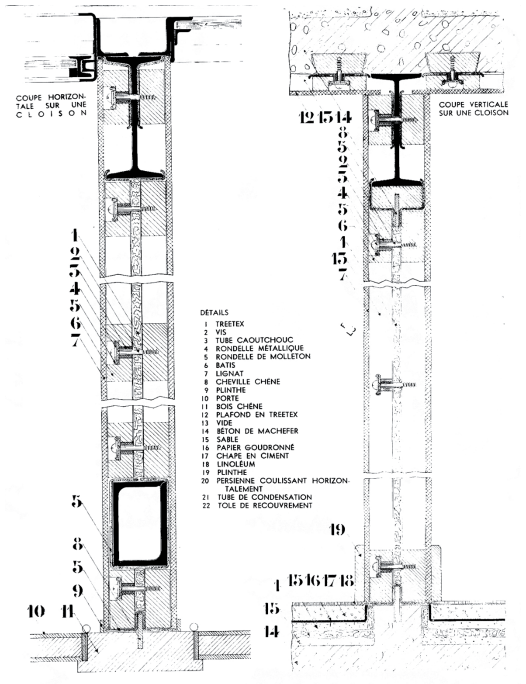


Fig. FE.0.06. Secciones horizontal (izq.) y vertical (dcha.) constructivas de partición

toda metálica. La cimentación es a base de pilotes de hormigón que van a buscar el sustrato resistente que se encuentra mucho más debajo de lo esperado y que supuso realizar una cimentación realmente compleja. En numerosas publicaciones realizadas del edificio, Le Corbusier siempre incluía un dibujo en el que explicaba cómo había tenido que realizarse la cimentación.

Las secciones de las carpinterías se estudiaron y definieron en detalle. Además se utilizaron paneles de aislamiento acústico Treetex para los forjados y para las paredes separadoras de habitaciones. De hecho estas paredes se realizaron en seco con bastidores de madera y paneles de Lignat, producto suizo altamente resistente a la humedad y consistente en un tablero elaborado con amianto, cemento, papel y polímeros (Fernández Rodríguez, Soler Monrabal 2011:377).

La fachada del muro cortina se resolvió enteramente con perfiles normalizados de acero y se valoró la posibilidad de resolver el acristalamiento con Thermopane o Lucolène. El primero, que es el que definitivamente se colocó, era un acristalamiento de hoja simple de vidrio que había sido tratada para mejorar el aislamiento térmico con resultados dudosos. En el resto de cerramientos del bloque se colocó aislante de virutas de madera tal y como se puede observar en la figura FE.0.07 (FLC L2-8-17).

Para la calefacción, según documentos consultados en la Fondation Le Corbusier, se solicitaron al menos tres presupuestos a empresas instaladoras a las que se les solicitaba que realizaran ellos mismos un predimensionado de la instalación. Todas ellas proponen soluciones muy similares en base a radiadores de fundición de acero, indicando que la instalación se dimensiona para una temperatura de confort interior de 18ºC, estándar de la época.

El edificio ha pasado por diversas situaciones comprometidas como la ocupación por parte de las tropas alemanas desde el invierno de 1941 hasta finales de 1945. Durante estos años la instalación de calefacción sufrió varios reventones por culpa del frío y aparecieron grietas de consideración en el volumen de

planta baja en la zona de las oficinas, especialmente en el suelo. Estas se debieron a la fuga de grandes cantidades de agua por una mala conexión en el cambio de la caldera cuando el gobierno de Vichy decidió sustituir la existente de combustible líquido por carbón que era mucho más barato en aquella época.

Se planificó la ejecución del edificio en solamente diez meses (fig. FE.0.08) y aunque finalmente se alargaron, desde el encargo (1931) hasta la inauguración del edificio pasaron menos de dos años (1933).

Cuando, en 1948, Le Corbusier vuelve de Nueva York, le piden que arregle los desperfectos del edificio y obviamente se acometen las obras más urgentes de recalce de la cimentación del volumen de planta baja, así como la instalación de las cocinas en el lugar donde existían unos baños que no se utilizaban prácticamente puesto que cada residente tenía aseo completo (a excepción del inodoro) en su habitación.

A pesar de esto, la tarea que suponía un reto mayor era encontrar una solución al problema que había aparecido desde el principio de uso del edificio: el control de la temperatura en las habitaciones de los estudiantes. Estas se sobrecalentaban en verano y en invierno penetraba frío excesivo. Por entonces Le Corbusier ya había desarrollado el brise-soleil y lo estaba aplicando en dos de sus nuevos proyectos como son la factoría Duval en Saint Dié y la *Unité d'habitation* de Marsella. Pero Le Corbusier ya había encontrado un nuevo universo material en el que el brise-soleil tenía un hueco y desde luego la relación con el volumen puro y el muro cortina de la fachada principal parecía complicada. Tanto que el arquitecto fue retrasando la toma de alguna medida más de 5 años con las consiguientes tensiones con la propiedad y finalmente no llegó a realizar el proyecto de modificación de la fachada, aunque sí que lo supervisó.

Fue en la intervención de 1952 en la que se modificó la fachada, sustituyendo la inicial de acero por una de aluminio en tono cobre que tiene unas persianas

Fig. FE.0.07. Fotografía durante la construcción (FLC L-2-8-17)

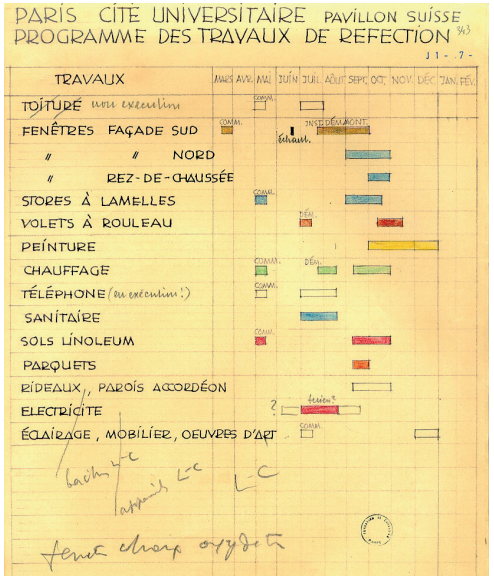


Fig. FE.0.08. Planning de obra para la Fondation Suisse (FLC J-1-7-343)

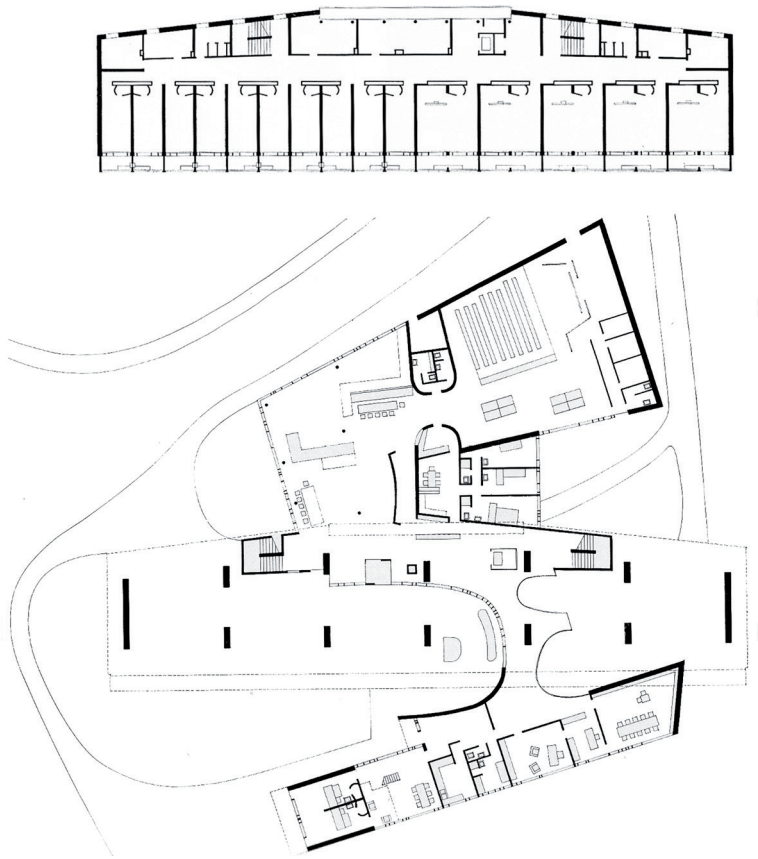


Fig. FE.0.09. Planta tipo habitaciones (arriba) y baja (abajo). *Maison du Brésil*

enrollables de lamillas metálicas. El proyecto de Mr. Otto, arquitecto de la Oficina Técnica de las fundación (OFC), respetaba al máximo el diseño inicial pero cegando el tercio inferior de la fachada de cada una de las habitaciones por debajo de la ventana. Exteriormente esta zona sigue siendo de vidrio, pero interiormente tiene un aislante y una hoja interior de panel de yeso laminado. Además, el espesor de los nuevos perfiles supuso traer la fachada metálica fuera del plano que define el aplacado de piedra.

2. La Maison du Brésil

La *Maison du Brésil,* es un edificio encargado por el Ministerio de Educación a Lucio Costa, que era considerado un arquitecto capaz de proyectar la imagen moderna que Brasil quería exportar. En esos momentos, el arquitecto residía en Europa y esto le permitía estar más en contacto con el lugar y con las posibles personas e instituciones involucradas en todo el proceso.

El primer anteproyecto fue presentado en 1952 y ya recoge las líneas generales de lo que posteriormente se construyó. Las habitaciones se agrupaban en un bloque apoyado sobre pilotes que además albergaba los usos comunes directamente relacionados con estas (aseos, cocinas y salas de reunión). En planta baja se situaban los usos públicos generales, conectados únicamente con el volumen superior mediante las dos cajas de escalera. Su perímetro es completamente libre y se acomoda a las necesidades exteriores y de los propios espacios adquiriendo suaves curvaturas.

En la primera propuesta, el bloque repetía el esquema de fachada de la *Fondation Suisse* con un paño completamente acristalado sin *brise-soleil*. La fachada posterior, al igual que esta tiene ventanas cuadradas de menor dimensión que iluminan las zonas servidoras y las escaleras, añade una pequeña terraza exterior a la que se accede desde los corredores junto a las cocinas.

Desde el principio el edificio presentaba unas trazas y líneas compositivas muy similares a las de la Fondation Suisse, construida veinticinco años antes.

Costa pretendió desde el primer momento que el proceso de proyecto y construcción del edificio se realizara a la inversa que con el Ministerio de Salud de Rio de Janeiro. Él se encargaba del proyecto y el *atelier* de Le Corbusier desarrollaría el proyecto de ejecución y dirigiría la obra. En concreto fue André Wogensky el encargado del trabajo puesto que Le Corbusier en ese momento se encontraba frecuentemente en la India e inmerso en el proyecto de Ronchamp.

En el atelier, Wogensky realizó ciertas modificaciones que permitieran la aprobación de la autoridad técnica de la CIUP. La principal fue el desplazamiento del bloque de habitaciones para alinearlo al viario. Costa se negó porque alteraba su idea original y este punto tuvo que ser negociado con los técnicos y administración de la CIUP.

En 1954, Le Corbusier tomó las riendas del proyecto y lo modificó añadiendo el brise-soleil, evitando tener los mismos problemas que le había generado la *Cité du Refuge,* veinticinco años antes, cuya orientación es similar. También modificó notablemente la planta baja dotándola de mayor libertad con el traslado de ciertas partes del programa al bloque superior.

Todas estas modificaciones hicieron que finalmente Lucio Costa renunciara a la autoría del proyecto aunque sigue siendo considerado como uno de los padres del diseño de la *Maison du Brésil*.

El edificio repite una estructura muy similar a la de la Fondation Suisse pero en este caso toda es de hormigón armado. Las soluciones constructivas, los encuentros, las superficies y los materiales responden todos ellos a la actitud que Le Corbusier había desarrollado en aquel entonces. Gran parte de los elementos exteriores fueron realizados con hormigón prefabricado y muchas de

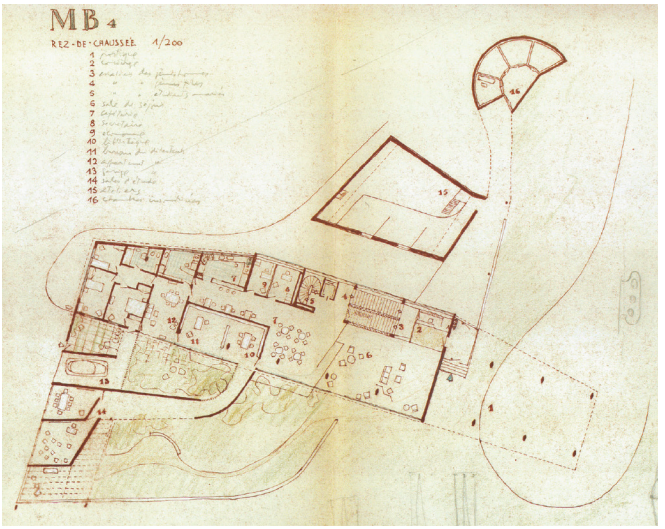


Fig. FE.0.10. Planta baja *Maison du Brésil*. Versión de Lucio Costa, 1952

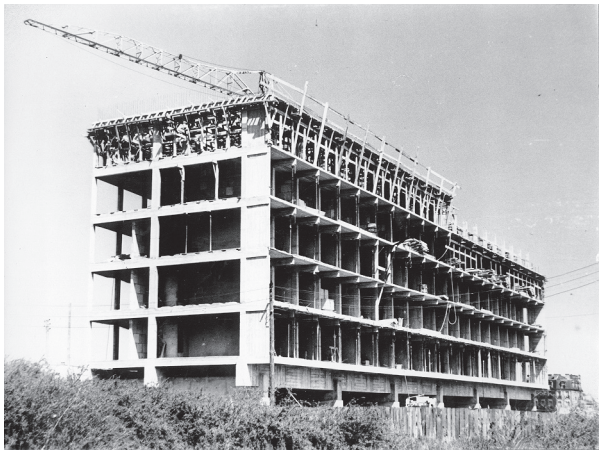


Fig. FE.0.11. Fotografía durante la obra (FLC L2-6-28)

Fig. FE.0.12. *Aerateur* de planta baja, pasillo de acceso a las oficinas de dirección

Fig. FE.0.13. *Aerateur* modificado para mejora del aislamiento acústico, biblioteca

las soluciones de carpintería, como la de los *aerateurs* de planta baja, venían montadas de taller preparadas para su colocación en obra.

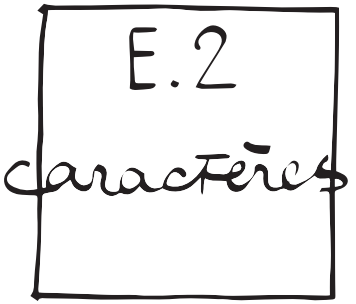
Las carpinterías exteriores son en su mayoría de madera maciza, excepto algunas piezas metálicas puntuales, y los vidrios instalados eran dobles con cámara de aire estanco.

El sistema de calefacción fue diseñado, y posteriormente instalado, por André Missenard, quien propuso la ventilación natural a través de los *aerateurs* para el verano y en invierno un sistema de suelo radiante con apoyo de ventilo-convectores en las zonas de gran volumen (Requena Ruíz 2011)´:219). Finalmente por cuestiones de presupuesto, el suelo radiante fue sustituido por radiadores convencionales empotrados en la medianera entre habitaciones y por motivos de seguridad ante incendio, los aerateurs intermedios, colocados en la separación de las habitaciones con el pasillo, que hubieran permitido la ventilación cruzada se conectaron a un conducto vertical que llegaba hasta cubierta.

Para el dimensionamiento de la calefacción también se utilizó una temperatura de diseño de 18ºC.

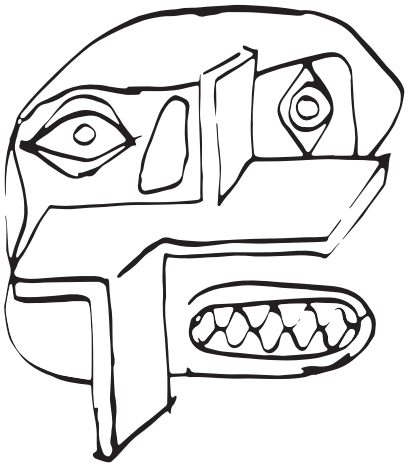
El proyecto definitivo se presentó en mayo de 1953, la obra se inició en 1956 y el edificio fue finamente inaugurado en 1956.

El edificio, con un alto nivel de deterioro, fue rehabilitado entre 1997 y 2000. Así la Maison du Brésil se adaptó a los nuevos requerimientos y normativas actuales, manteniendo un nivel de respeto por la obra original muy alto. Uno de los cambios principales fue el cierre de los aerateurs intermedios (imposibilitando totalmente la ventilación cruzada de las habitaciones) y la modificación de los de fachada mediante su doblado e instalación de conductos y paneles aislantes acústicos en el interior para reducir el problema de ruidos que genera la cercanía de una de las arterias rodadas más transitadas de la ciudad.


E.2
caractères

E.2

proyectar



E.2. Edificio proyectado - Estudio bioclimático y simulación

E.2.1. Estudio bioclimático de proyecto

Análisis climatológico de París y estrategias posibles de confort

París tiene las siguientes características geográficas y climáticas:

Latitud: 48º 51′ 13′′ N
Longitud: 2º 20′ 55′′ E
Altitud sobre el nivel del mar: 42 m
Clsificación de Koppen-Geiger: Cfb – Oceánico. Se caracteriza por temperaturas medias inferiores a 22ºC pero superiores a 10ºC al menos cuatro meses al año. Tienen alto nivel de precipitaciones también, mayor a 60 mm los doce meses del año.

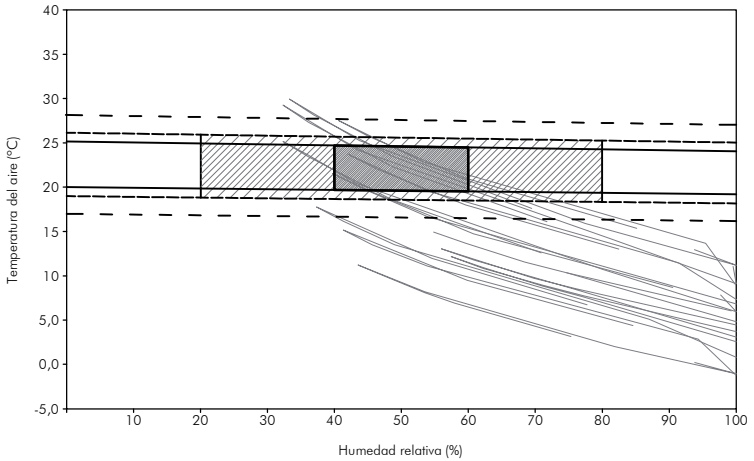


Fig. FE.2.01. Climograma de Bienestar Adaptado (CBA) de París

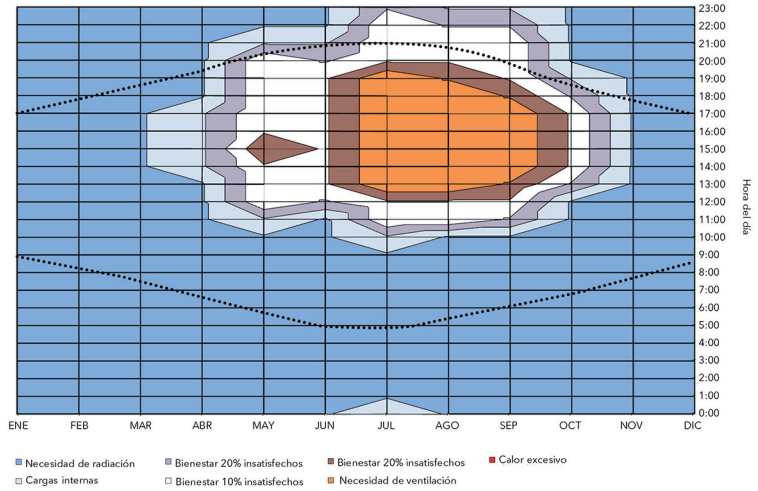


Fig. FE.2.02. Diagrama de isopletas. Distribución de temperatura en función de meses y horas. Se incluye linea de salida y puesta de sol.

236. En el CBA la zona de confort para París, para una tasa de actividad metabólica de 1,20 met y un aislamiento de la ropa de 1clo, se establece entre 40-60% de humedad relativa y una temperatura de [20,6 – 25,5]ºC

Concretamente para la ciudad de París se dan veranos suaves con 19,5ºC de media e inviernos fríos con una temperatura media de 5,2ºC. La humedad media anual es del 73,3%.

La orientación óptima en esta latitud es de azimut 175º ya que aúna los tres meses con mayor incidencia solar en invierno y los tres con menos incidencia solar en verano, ambas sobre una superficie vertical.

Si trasladamos los datos climáticos al Climograma de Bienestar Adaptado (CBA) de Olgyay, se observa que se necesita aporte de radiación solar gran parte del año para poder alcanzar las condiciones óptimas de ambiente interior que garanticen el confort[236], incluso existen largos periodos en los que no es posible alcanzar el confort sin sistemas de calefacción activa. Los meses que van de noviembre a abril es necesario su utilización, y más concretamente en diciembre, enero y febrero durante las 24 h del día.

Los puntos que se encuentran por encima de la línea de sombra que se sitúa en 20ºC requieren de protección solar. Estudiando, en base a los mismos datos climáticos, el diagrama de isopletas, solo habría que evitar la radiación directa en las ventanas en los periodos:

- Mayo: 13:00 h – 19:00 h
- Junio: 14:00 h – 17:00 h
- Julio: 12:00 h – 21:00 h
- Agosto: 12:00 h – 20:00 h
- Septiembre: 12:00 h – 20:00 h

Durante este tiempo, no serían necesarias medidas adicionales para alcanzar el confort, tomando como límite un 20% de insatisfechos, y únicamente durante algunos momentos de julio y agosto habría que utilizar el enfriamiento nocturno.

Si utilizamos el Climograma de Givoni, las conclusiones son muy parecidas. Comprobamos que la estrategia de calefacción solar pasiva solo es válida para

alcanzar el confort en algunos momentos de los meses entre mayo y septiembre. En este caso tenemos que gracias a la estrategia de gran inercia térmica combinada con ventilación nocturna podríamos reducir el periodo de calefacción activa en marzo y septiembre. En cualquier caso entre noviembre y febrero no existe ninguna estrategia pasiva que permita alcanzar el confort y por tanto es necesaria la calefacción activa.[237]

En los periodos de verano, si no se produce sobrecalentamiento en el interior debido a una mala orientación o a un exceso de acceso solar, no son necesarias medidas para alcanzar el confort, excepto en momentos puntuales de julio y agosto en los que es necesaria la posibilidad de la ventilación natural interior.

Análisis solar Fondation Suisse

1. Orientación

La fachada principal del edificio, correspondiente al bloque de habitaciones, tiene una orientación de azimut 212º. Se aleja de la óptima 37º hacia el oeste. Por ello recibe un exceso de radiación solar directa en verano.

2. Máscaras de sombras

Tal y como se observa en el diagrama de sombras, en el solsticio de invierno y meses cercanos, el sol incide en el interior de la estancia prácticamente durante todo el día, permitiendo ganancias solares que atemperen el interior. Este hecho puede entrar en contradicción con un exceso de acristalamiento de la superficie de fachada que no resulte lo suficiente aislante como para mantener el calor y que por otro lado puede generar un efecto de malestar térmico puntual por temperatura radiante fría. Para evitar este efecto, puesto que es necesaria la existencia de calefacción, es deseable que esté situada cerca de la fachada acristalada tal y como realmente se hizo. Adicionalmente los circuitos de ida y retorno del sistema de calefacción, en sus tramos horizontales discurren vistos por delante de la fachada acristalada corrigiendo este posible efecto.

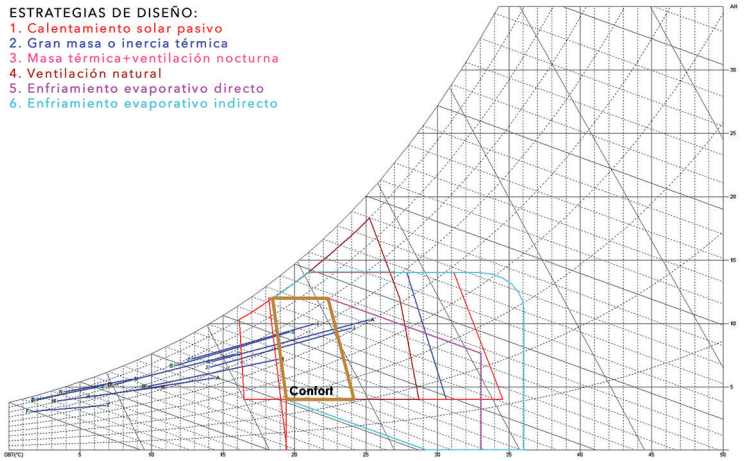


Fig. FE.2.03. Climograma de Givoni para París. Incluye estrategias pasivas de diseño. Área de confort definida para los factores 1,2 met y 1 clo

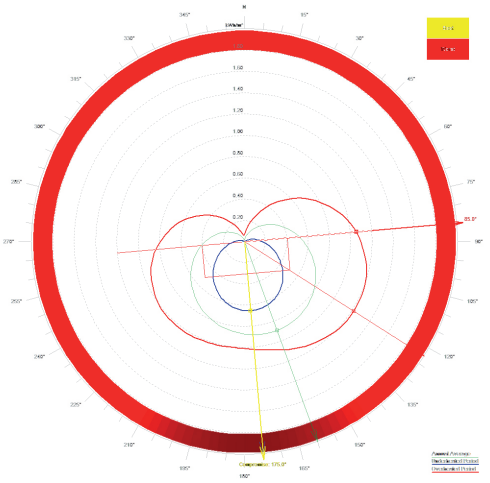


Fig. FE.2.04. Orientación óptima para París. Azimut 175º (máxima radiación en invierno)

237. Este hecho no invalida la aplicación de estrategias pasivas que minimizarán las cargas térmicas necesarias a aportar por la calefacción y por tanto se reducirá el consumo energético.

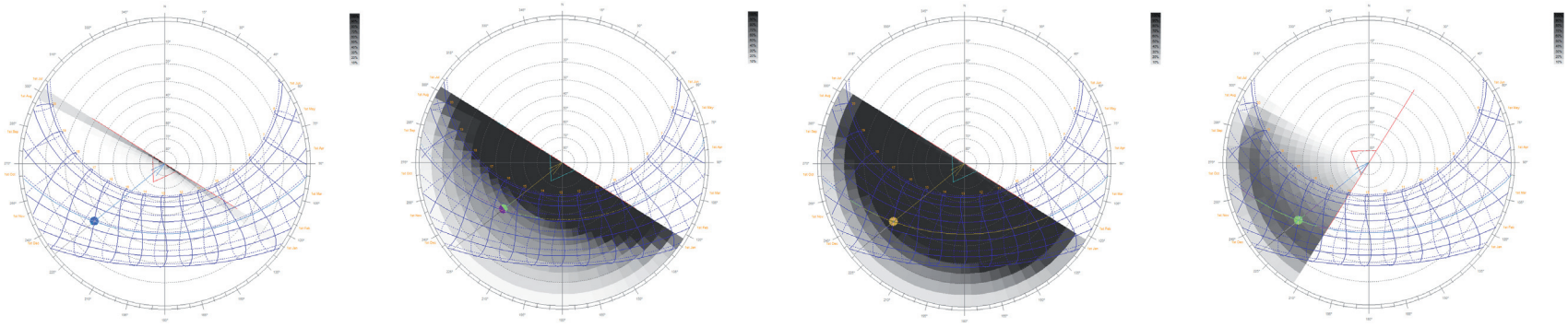


Fig. FE.2.05. Claculo gráfico del factor solar sobre carta estereográfica para la *Fondation Suisse*. De izquierda a derecha:

- Fachada habitaciones sin protección tal y como fue proyectada
- Fachada habitaciones con la persiana de lamas metálicas desplegada
- Fachada suroeste del vestíbulo, de acceso al mismo.
- Fachada noroeste del vestíbulo.

El efecto contrario se da en los meses calurosos. Entre abril y octubre, el sol comienza a incidir en el interior de la estancia a partir de las 12:00-12:30 h y ya no deja de hacerlo hasta que se pone. La consecuencia es un sobrecalentamiento excesivo del interior que solo puede ser corregido mediante protecciones solares.

En el proyecto inicial no se incluyeron, pero sí en la reforma posterior de 1952. Al sustituir la fachada, se añadieron persianas de lamas metálicas exteriores que son replegables. Su efecto es justo el deseado, en invierno permiten las ganancias solares necesarias y en verano, teniendo en cuenta una posición exclusivamente horizontal de las lamas producen coeficientes de sombra que oscilan entre el 74,5% y el 98,4%. Así su efecto a lo largo del periodo caluroso puede evaluarse con un factor de sombra global de 85,75%.

Las únicas dos fachadas del vestíbulo están en su esquina suroeste y se encuentran completamente acristaladas. Tal y como observamos en los diagramas (fig. FE.2.05) nunca reciben radiación solar directa destacable por la disposición del bloque de habitaciones que casi siempre las sitúa dentro de una zona de sombra arrojada. Los momentos en los que teóricamente podría recibir

radiación, la altura del sol es muy baja al final del día, y lo tapan los árboles y edificios circundantes.

Análisis solar Maison du Brésil

1. Orientación

El bloque de habitaciones de la Maison du Brésil está orientado a sureste con azimut de 120º. Por tanto se desvía -55º, hacia el este, respecto de la orientación óptima para París (175º). Esta orientación aproxima el bloque a la peor orientación que se puede dar en periodo de sobrecalentamiento que según observamos en la figura FE.2.04 es de aproximadamente 123º y lo aleja de los máximos de radiación en inverno.

2. Máscaras de sombras

En las fachadas de las habitaciones, a pesar de su orientación, el brise-soleil realiza un efecto de protección solar razonable en verano. Si incluimos el efecto de la barandilla perforada, el porcentaje de sombra es del 50% y va aumentando conforme asciende el sol. A partir de las 12:00 h el coeficiente de sombra es de 70% y el sol nunca incide en el interior de las habitaciones después de las 13:30 h en ningún momento del año.

En invierno, por el contrario, el efecto conjunto de la orientación y el brise-soleil hacen que la captación solar que permitiría el calentamiento del interior sea prácticamente nula. A partir de las 12:00 h ya no existe incidencia posible y de 9:00 h a 11: 00 h el coeficiente de 50% es algo elevado para permitir todo el calentamiento necesario.

El vestíbulo empieza a recibir radiación solar en la fachada suroeste a partir de las 13:30 h debido a la protección que supone el bloque de habitaciones de mucha mayor altura. Esta hora de inicio de incidencia, con pequeñas variaciones es siempre igual a lo largo del año y el vestíbulo permanece en esta situación

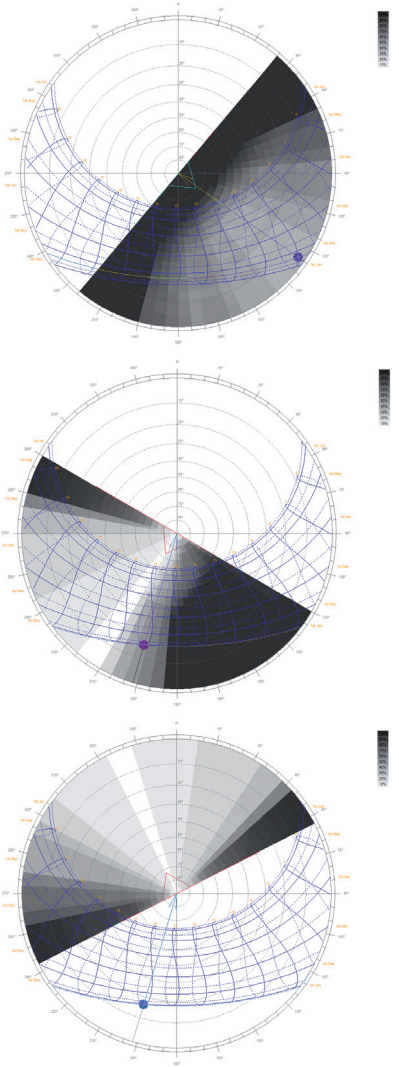


Fig. FE.2.06. Cálculo gráfico del factor solar sobre carta estereográfica de la *Maison du Brésil*. De arriba a abajo:
- Fachada del bloque de habitaciones con brise-soleil
- Fachada suroeste del vestíbulo, con *pan de verre ondulatoire*
- Fachada noroeste del vestíbulo, con *pan de verre ondulatoire*

hasta el final del día. Por tanto la única protección solar posible en estos momentos es la proporcionada por los montantes verticales de hormigón del *pan de verre ondulatoire*. Su profundidad y separación no proporcionan coeficientes de sombra muy elevados, pero sumados al efecto del bloque a lo largo del día se encuentran en torno al 50% de media anual. En invierno es de 63,5% y en verano de 47,0%, al contrario de lo que sería deseable. Si además cerramos la horquilla de cálculo a la tarde (13:00 h - 20:00 h) los coeficientes se reducen hasta valores medios de 20%, que son reducidos para evitar efectivamente el sol de poniente.

En la fachada noroeste no incide el sol de manera directa durante noviembre, diciembre y enero, y la incidencia en verano, con un coeficiente de sombra medio de 40% (pero mínimo de 10%) es elevada por la tarde a última hora del día.

E.2.2. Simulación

Se ha procedido a realizar una simulación de los espacios que se van a estudiar en los apartados posteriores mediante monitorización y encuestas. Se han obtenido resultados de temperatura seca y radiante, índices de confort, cargas térmicas por radiación y otros datos para un periodo anual hora por hora. Del total, se representan los coincidentes con las campañas de registro de parámetros.

Los cálculos se han realizado con la calefacción apagada, para poder evaluar el funcionamiento real mediante estrategias pasivas y herramientas exclusivamente arquitectónicas. De este modo las ganancias térmicas provienen únicamente de la radiación solar y de los equipos de iluminación interior, aunque su aporte es prácticamente despreciable.

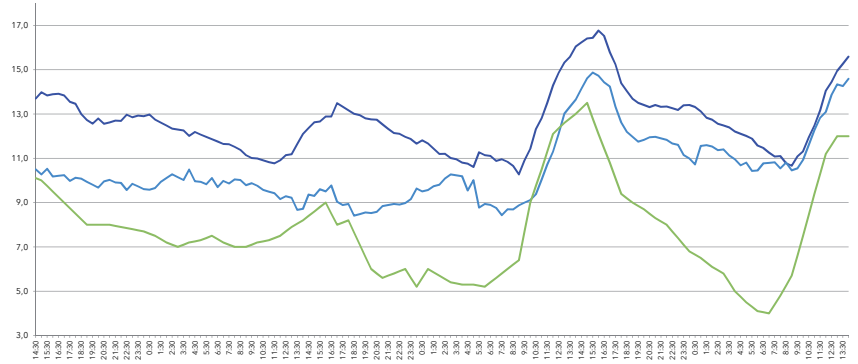


Figura FE.2.07. Simulación Vestíbulo *Fondation Suisse* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

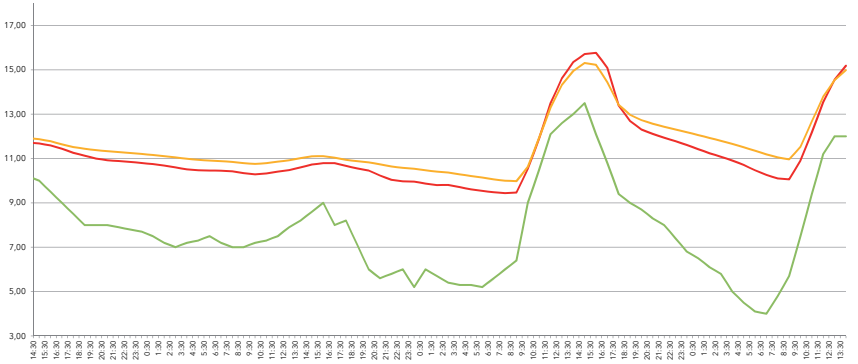


Figura FE.2.08. Simulación Vestíbulo *Maison du Brésil* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

Resultados vestíbulos inverno

La temperatura interior presenta un amplio rango de oscilación, especialmente en la *Maison du Brésil,* que es justo el doble que en la *Fondation Suisse*. Por este motivo se obtienen valores de CET tan dispares entre un espacio y el otro, aunque ninguno de los dos puede considerarse de alta inercia térmica.

La temperatura presenta un desfase de onda térmica de una hora, y es algo mayor en el edificio suizo, que a pesar de presentar oscilaciones térmicas acentuadas en el corto plazo, en general tiene una estabilidad mayor.

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	17,4	24,2	9,0
FS	21,7	25,3	18,3
MdB	22,4	25,6	11,6

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	15,2
ΔTFS (max - min)	7,0
ΔTMdB (max - min)	14,0

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	4,3
ΔT (MdB - Ext)	5,0
ΔT (FS - MdB)	-0,6

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	24,8	28,5	22,0
MdB	23,4	26,0	11,6
FS - MdB	1,4		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	6,5
ΔTrMdB (max - min)	14,4

Tabla TE.2.01. Resumen y comparativa de simulación de temperaturas, vestíbulos - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	21,7	22,4	-0,6
Tr (°C)	24,8	23,4	1,4
Δ T (Tr)	-3,0	-1,0	

	CET
ΔTFS / Δtext	0,46
ΔTMdB / Δtext	0,92

Tabla TE.2.02. (izq.) Resumen y comparativa de simulación de temperatura relativa, vestíbulos - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.
(dcha.) Coeficiente de estabilidad térmica

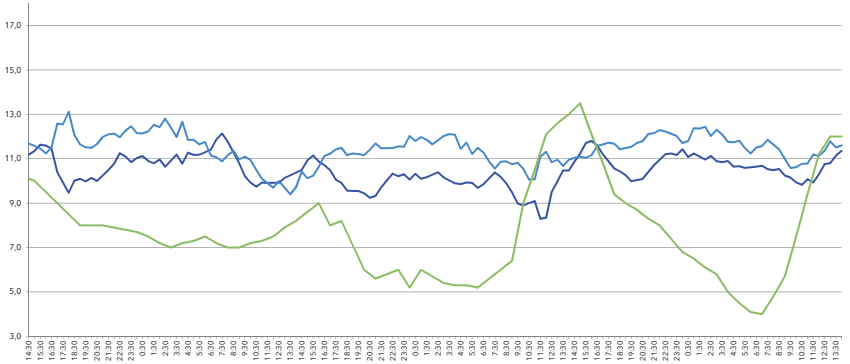


Figura FE.2.09. Simulación Habitación *Fondation Suisse* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

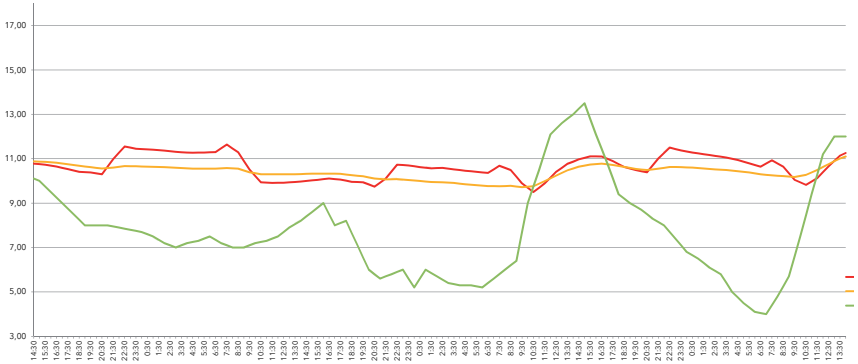


Figura FE.2.10. Simulación Habitación *Maison du Brésil* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	17,4	24,2	9,0
FS	24,8	31,1	15,0
MdB	25,0	27,3	22,6

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	15,2
ΔTFS (max - min)	16,2
ΔTMdB (max - min)	4,7

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	7,4
ΔT (MdB - Ext)	7,6
ΔT (FS - MdB)	-0,3

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	26,0	29,8	22,8
MdB	25,7	27,6	23,8
FS - MdB	0,3		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	7,1
ΔTrMdB (max - min)	3,8

Tabla TE.2.03. Resumen y comparativa de simulación de temperaturas, habitaciones - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	26,0	29,8	22,8
MdB	25,7	27,6	23,8
FS - MdB	0,3		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	7,1
ΔTrMdB (max - min)	3,8

	CET
ΔTFS / Δtext	1,06
ΔTMdB / Δtext	0,31

Tabla TE.2.04. (izq) Resumen y comparativa de simulación de temperatura relativa, habitaciones - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.
(dcha.) Coeficiente de Estabilidad Térmica

Resultados habitaciones inverno

La situación que se produce en los vestíbulo se invierte para las habitaciones. La amplitud del rango térmico de la Fondation Suisse es mayor que la de la temperatura exterior y por tanto su CET>1, denotando su falta de protección solar. De hecho los máximos absolutos siempre se encuentran, a ultima hora del día, cuando el sol incide directamente sobre la fachada principal acristalada del edificio.

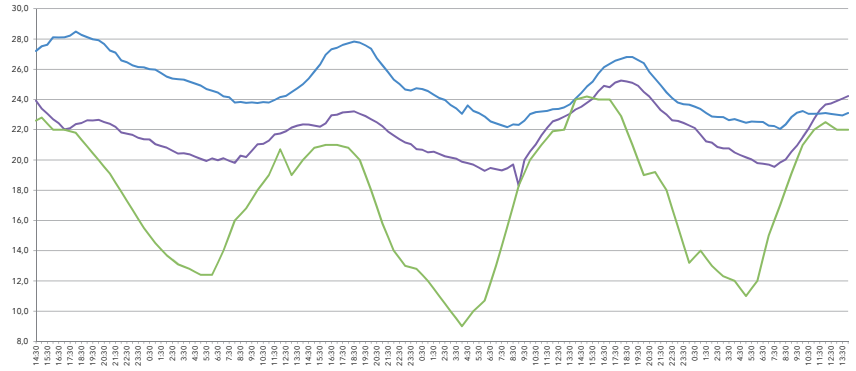


Figura FE.2.11. Simulación Vestíbulo *Fondation Suisse* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

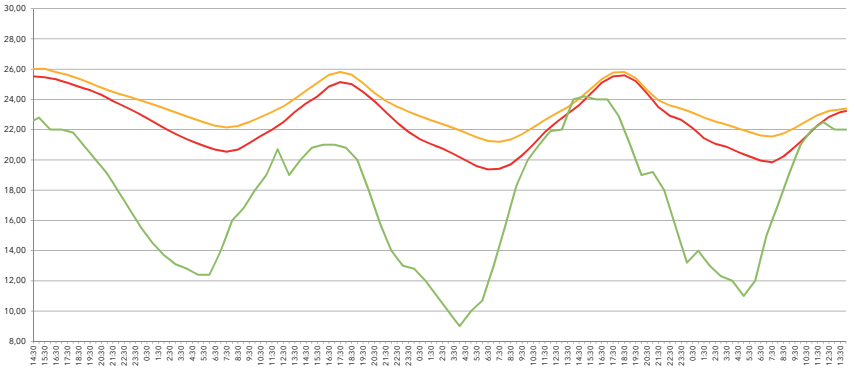


Figura FE.2.12. Simulación Vestíbulo *Maison du Brésil* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

Resultados vestíbulos verano

En este caso, debido a que la simulación tiene unas condiciones mucho más parecidas con la realidad (no hay climatización). El ciclo de temperaturas se parece más al monitorizado.

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	17,4	24,2	9,0
FS	21,7	25,3	18,3
MdB	22,4	25,6	11,6

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	15,2
ΔTFS (max - min)	7,0
ΔTMdB (max - min)	14,0

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	4,3
ΔT (MdB - Ext)	5,0
ΔT (FS - MdB)	-0,6

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	24,8	28,5	22,0
MdB	23,4	26,0	11,6
FS - MdB	1,4		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	6,5
ΔTrMdB (max - min)	14,4

Tabla TE.2.05. Resumen y comparativa de simulación de temperaturas, vestíbulos - verano. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	21,7	22,4	-0,6
Tr (°C)	24,8	23,4	1,4
Δ T (Tr)	-3,0	-1,0	

	CET
ΔTFS / Δtext	0,46
ΔTMdB / Δtext	0,92

Tabla TE.2.06. (izq) Resumen y comparativa de simulación de temperatura relativa, vestíbulos - verano. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.
(dcha.) Coeficiente de Estabilidad Térmica

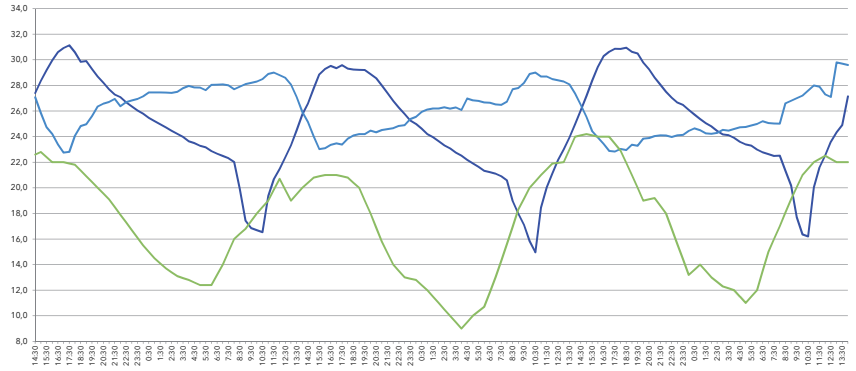


Figura FE.2.13. Simulación Habitación *Fondation Suisse* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

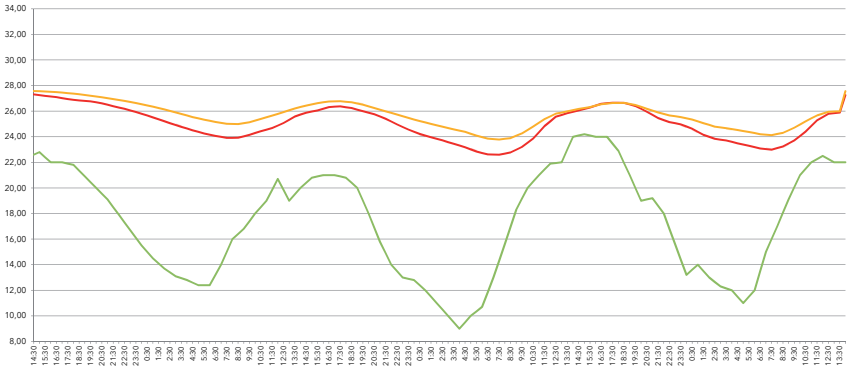


Figura FE.2.14. Simulación Habitación *Maison du Brésil* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

	T (ºC)	Tmax (ºC)	Tmin (ºC)
Exterior	17,4	24,2	9,0
FS	24,8	31,1	15,0
MdB	25,0	27,3	22,6

RANGO TÉRMICO	T (ºC)
ΔText (max - min)	15,2
ΔTFS (max - min)	16,2
ΔTMdB (max - min)	4,7

COMPARATIVA	T (ºC)
ΔT (FS - Ext)	7,4
ΔT (MdB - Ext)	7,6
ΔT (FS - MdB)	-0,3

	Tr (ºC)	Tr max (ºC)	Tr min (ºC)
FS	26,0	29,8	22,8
MdB	25,7	27,6	23,8
FS - MdB	0,3		

RANGO TÉRMICO	Tr (ºC)
ΔTrFS (max - min)	7,1
ΔTrMdB (max - min)	3,8

Tabla TE.2.07. Resumen y comparativa de simulación de temperaturas, habitaciones - verano. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

	Tr (ºC)	Tr max (ºC)	Tr min (ºC)
FS	26,0	29,8	22,8
MdB	25,7	27,6	23,8
FS - MdB	0,3		

RANGO TÉRMICO	Tr (ºC)
ΔTrFS (max - min)	7,1
ΔTrMdB (max - min)	3,8

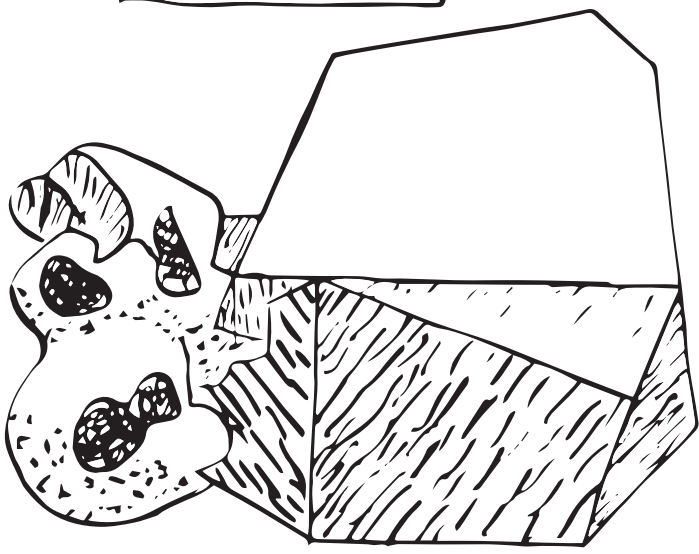
	CET
ΔTFS / Δtext	1,06
ΔTMdB / Δtext	0,31

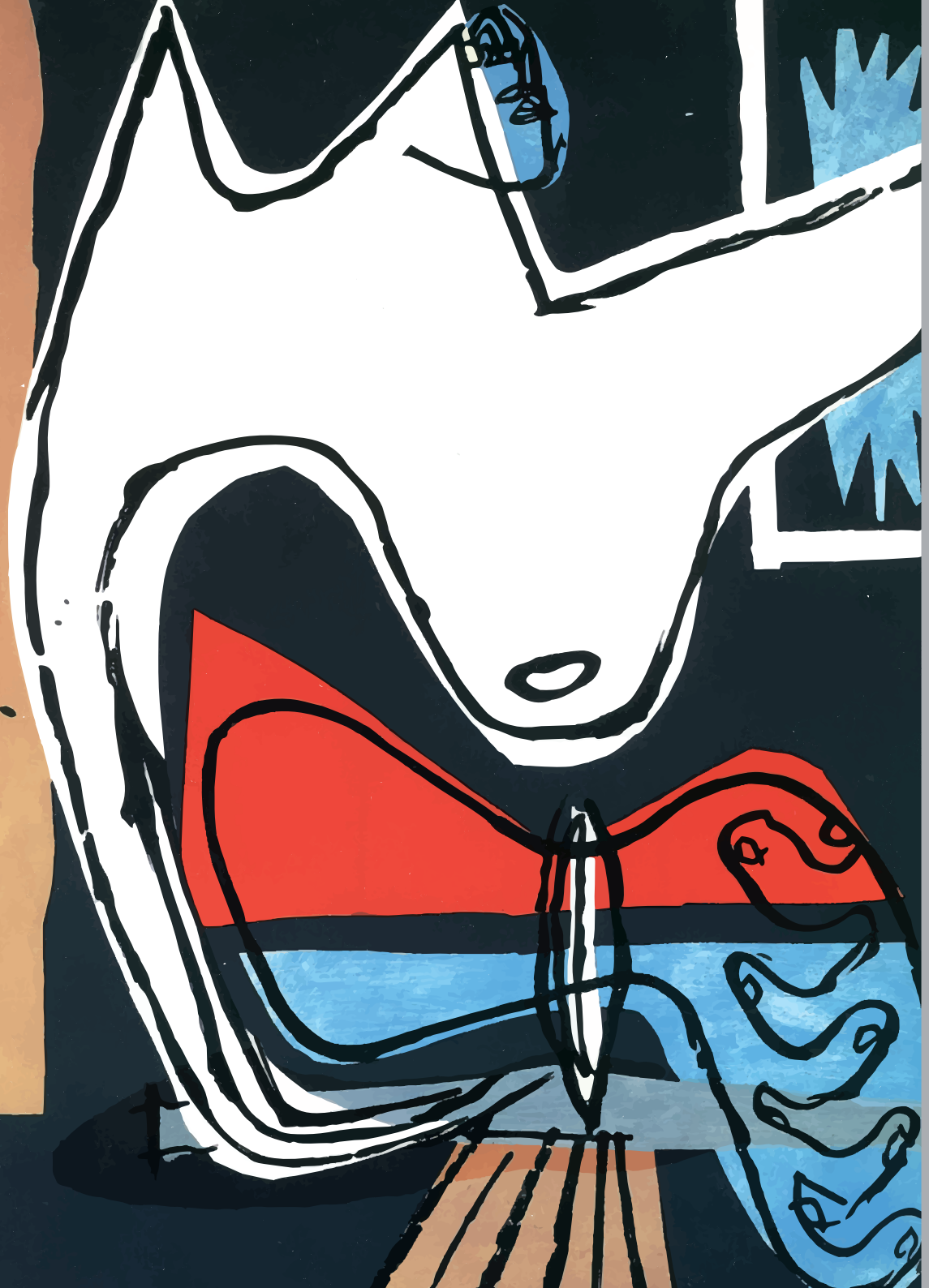
Tabla TE.2.08. (izq) Resumen y comparativa de simulación de temperatura relativa, habitaciones - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.
(dcha.) Coeficiente de Estabilidad Térmica

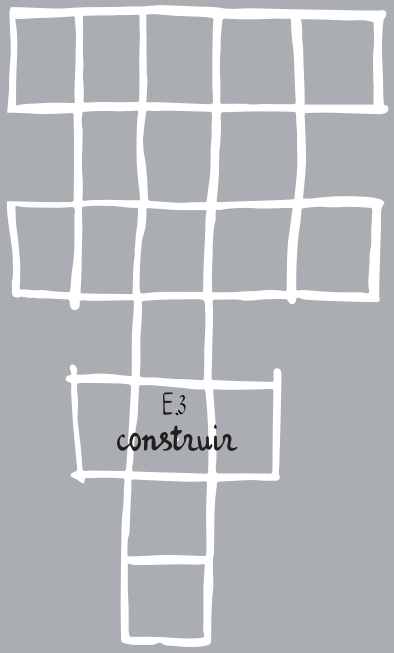
Resultados habitaciones verano

Los patrones de comportamiento de la temperatura en las habitaciones son similares a los de los vestíbulos. Se produce un rango muy amplio y con cambios bruscos en la temperatura radiante de la *Fondation Suisse*. Esto debe ocurrir por la mayor exposición solar de la fachada suroeste y por los materiales con los que se encuentra construida. El muro cortina metálico recibe gran cantidad de radiación que irradia hacia el interior de las estancias.

E.3
caractères







E3
construir

E.3. Edificio construido - Monitorización

E.3.1. Caracterización del periodo de medición

Las campañas de monitorización realizadas para la presente investigación han sido realizadas en dos semanas lo más cerca posible del máximo y mínimo de promedio de temperatura de verano e invierno respectivamente[238]. La primera de ellas fue realizada entre el 12/01 y el 16/01 y la segunda entre el 30/07 y el 03/08, ambas del año 2015.[239]

En invierno, las primeras treinta y seis horas de medición, la temperatura exterior estuvo muy cercana a la media habitual, pero durante las segundas fue mucho más estable de lo que representan las medias de las mediciones climáticas de resumen de treinta años. Aun así, como se alcanzaron temperaturas mínimas similares en la primera mitad, es posible analizar el comportamiento de los edificios en temperatura bajas.

238. Estas fechas se producen con un retraso aproximadamente de los máximos y mínimos de radiación solar que corresponden con los solsticios de verano e invierno.

239. Los registros detallados pueden consultarse en el anexo.

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Hr (%)
Días promedio	7,7	13,5	4,0	91,8
Días registrados	8,3	11,0	5,0	79,5
Desviación	0,6	-2,5	1,0	-12,3

		Vmed (km/h)	Vmax (km/h)
Viento	**Días promedio**	11,7	16,45
	Días registrados	9,10	11,3
	Orientación	60°-120° (E, 48,3%)	105°-120° (E, 19,9%)

Nubosidad	Variable de 5/8 a 8/8

	Salida	Puesta	Horas de sol
Horario solar	8:42	17:16	8:34

Tabla TE.3.01. Datos climáticos exteriores en periodo de invierno

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Hr (%)
Días promedio	17,4	24,2	9,0	54,8
Días registrados	23,6	31,5	18,2	38,9
Desviación	6,2	7,3	9,2	-15,9

		Vmed (km/h)	Vmax (km/h)
Viento	**Días promedio**	11,63	18,88
	Días registrados	10,3	16,6
	Orientación	260°-280° (O, 19,9%)	235°-260° (O, 8,3%)

Nubosidad	Variable de 0/8 a 1/8

	Salida	Puesta	Horas de sol
Horario solar	6:22	21:31	15:09

Tabla TE.3.02. Datos climáticos exteriores en periodo de verano

240. Es habitual en París, que dentro del periodo de verano exista aproximadamente una semana en la que las temperaturas sean "anormalmente" altas. Este periodo, denominado canícula, no siempre se produce en la misma semana y tampoco existe todos los años, por ese motivo en las estadísticas habituales queda diluido su efecto.

241. Se solicitó a los trabajadores de las dos residencias, que durante los periodos en los que el autor no estuvo físicamente en los espacios, que realizaran un registro de los grupos grandes que accedieran. Finalmente no se produjo ninguna visita grupal.

En verano, durante el primer día de medición las temperaturas se mantuvieron cercanas a la media, pero los dos días siguientes la temperatura exterior fue aumentando y con ello la desviación de la media. Fue debido a un periodo de *canicule*[240] que denominan habitualmente los parisinos. En cualquier caso nos permite comprobar el comportamiento de los edificios en situaciones más extremas.

E.3.2. Monitorización higrotermia

Metodología

Las mediciones se realizaron en el vestíbulo de planta baja de ambos edificios y una de las habitaciones. En ambos casos, las mediciones se realizaron en la *chambre témoin*, que es la habitación que está abierta al público y en la cual se han mantenido, en la medida de lo posible, el mobiliario y elementos accesorios originales. Durante la toma de datos, no se produjeron visitas remarcables en ninguna de las residencias, de manera que no fueron ocupadas por grupos de un número elevado de personas, ni durante largos periodos de tiempo, por tanto no se consideran alterados los registros por ocupaciones fuera de lo habitual.[241]

Para la investigación se dispusieron dos *dataloggers* por espacio, uno para temperatura del aire y humedad y otro para temperatura radiante, este último introducido dentro de una caja negra no aislante y apoyado sobre una base de aislante térmico de poliestireno expandido. Adicionalmente, el instrumental colocado en las habitaciones permitía la medición de concentración de CO_2 a través de la cual se mide la calidad del aire interior y por tanto la renovación de aire interior y de modo indirecto la infiltración de aire a través de la carpintería, puesto que durante las mediciones no se abrieron las ventanas ni en invierno ni

en verano. En un día previo al periodo de registro, se realizaron mediciones en diferentes puntos que permitieran establecer una posición en la que colocar el instrumental para, por un lado, obtener resultados representativos de la media de la posible gradación de temperaturas del espacio, y por otro, evitar que recibieran radiación solar directa que pudiera producir mediciones no representativas de la sensación térmica global.

El vestíbulo de la *Maison du Brésil*, tiene dos fachadas principales con orientación suroeste y noroeste, con un *pan de verre ondulatoire* como carpintería que actúa de protección solar. Ambos medidores se situaron sobre un banco de hormigón, con altura de 43 cm, a una distancia equidistante de las dos fachadas.

En invierno, el espacio se encuentra calefactado por ventilo-convectores alojados en canaleta enterrada que discurre paralela a la línea de fachada; no existe ningún otro sistema de calefacción adicional. En verano no se realiza climatización activa, pero se mantienen abiertos los *aerateurs* durante todo el día y la noche para permitir la entrada de aire.

Todas las habitaciones de la residencia tienen la misma orientación sureste[242], con un espacio exterior conformado por el *brise-soleil* de hormigón de 1,40 m de profundidad. Se registraron medidas en la habitación 105, situada en la planta primera justo enfrente de una de las escaleras de comunicación vertical y que por la disposición de las piezas, suele ser la más utilizada por los residentes y especialmente por las visitas que se realizan al edificio. Se dispusieron los dos medidores en la esquina interior de la mesa de trabajo, a una altura de 77 cm del plano del suelo, alejados del paño de vidrio 1,80 cm.

La calefacción de la habitación se produce mediante radiador colocado en una hornacina empotrada en la pared y protegido por un panel de madera que deja aberturas en la parte superior e inferior para permitir la circulación de aire que se produce por convección.

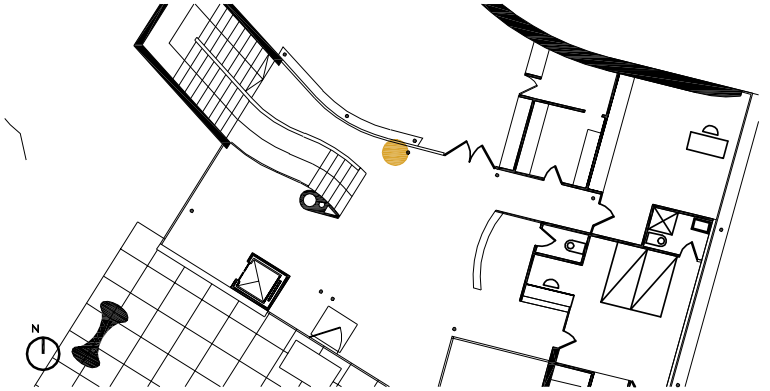


Fig. FE.3.01. Zona de colocación del datalogger en el vestíbulo de la *Fondation Suisse*

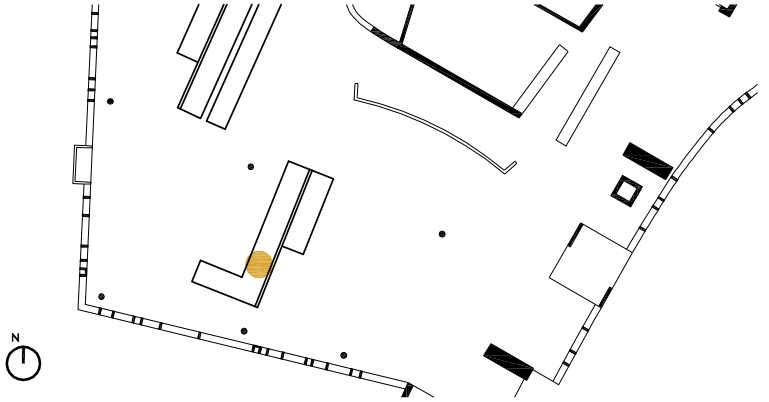


Fig. FE.3.02. Zona de colocación del datalogger en el vestíbulo de la *Maison du Brésil*

242. En la reforma realizada, se colocaron habitaciones en espacios que anteriormente habían sido elementos comunes, de manera que en la actualidad existen un pequeño número de habitaciones con orientación noroeste, que no tienen brise-soleil.

En la *Fondation Suisse*, el vestíbulo es un espacio intersticial que solo tiene como fachada exterior el acceso situado bajo el bloque de habitaciones, con orientación suroeste y un pequeño paño de vidrio con orientación noroeste. El resto de paramentos que lo conforman, son particiones interiores con otros espacios. En cualquier caso, las orientaciones de sus cerramientos exteriores son similares a las del vestíbulo de la *Maisón du Brésil*. Los dos *dataloggers* se colocaron sobre un mueble de madera que se encuentra en posición central en el espacio, entre la escalera y el salón curvo, a una altura de 1,27 m.[243]

El espacio se calefacta en invierno con ventilo-convectores situados en la parte inferior de los paños de vidrio a la vista.

De nuevo, todas las habitaciones de la residencia suiza, tienen la misma orientación, en este caso suroeste, prácticamente perpendicular a la anterior. La fachada se conforma por un muro-cortina metálico con todo el frente acristalado, aunque en la franja inferior, por debajo de las ventanas, en una intervención posterior, se dobló con aislante y panel de yeso-laminado por el interior. No existe protección solar a excepción de unos enrollables mecanizados de lamas metálicas de 7 cm de espesor. Durante las mediciones se mantuvieron permanentemente subidos, para intentar reproducir al máximo las condiciones iniciales del diseño tal y como Le Corbusier lo ideó, sin protección solar. Los medidores se colocaron también en la habitación 105, que al igual que en el caso anterior es la visitable, sobre el mueble-estantería que se encuentra colgado en la pared a una altura de 1,70 cm.[244]

Todas las habitaciones cuentan con un radiador en el lateral de la pared que se conecta a los circuitos de agua mediante tuberías que discurren empotradas en su trazado vertical, pero que quedan vistas en su trazado horizontal que es paralelo a la fachada.

En todos los casos las mediciones se han realizado durante un periodo, sin interrupciones de, aproximadamente, 110 horas. Posteriormente se han utilizado

243. Ver fotografías F0.18 en capítulo 0. Pág. 35

244. Ver fotografías F0.17 en capítulo 0. Pág. 35

las mediciones de las 72 h que más se acercaban a las distribuciones medias de temperatura y humedad de los días correspondientes.

En el periodo de invierno, se iniciaron los registros el día 12 de enero a las 10:30 h y se finalizaron el 17 de enero a las 10:00 h. Las cuatro primeras horas de datos se desechan para eliminar el posible efecto de estabilización térmica de los aparatos de medición. Finalmente se utilizan en el estudio los registros obtenidos desde las 14:30 h del 12 de enero hasta las 14:30 h del 15 de enero.

En periodo frío, las mediciones se han realizado con la calefacción en funcionamiento, puesto que se trata de sistemas centralizados y no ha existido posibilidad de apagar los radiadores. Este hecho produce lecturas que no reflejan completamente el comportamiento pasivo del edificio, pero que en cualquier caso permiten comprobar su comportamiento global, ya que las temperaturas de confort utilizadas para el dimensionamiento de los sistemas, en inicio (cuando se construyeron los edificios) fueron las mismas (18ºC), y en las posteriores intervenciones también (20ºC)[245].

En el periodo de verano, los registros abarcan desde el día 29 de julio a las 12:00 h hasta el día 3 de agosto a las 17:00 h. En este caso se utiliza para el estudio el periodo que abarca desde las 14:30h del 31 de julio hasta las 14:30 h del 3 de agosto. Así se cumple sobradamente la eliminación del periodo de estabilización del instrumental.

Las mediciones de temperatura se han realizado sin ventilación cruzada, a excepción del vestíbulo de la *Maison du Brésil*.[246]

245. En los años en los que se construyeron los edificios se consideraba como temperatura de confort 18ºC, que es con la que se dimensionaron las instalaciones de calefacción. En la actualidad el estándar de confort ha variado y por tanto también la temperatura de diseño, que es de 20ºC.

246. En la *Fondation Suisse* no existe sistema de ventilación específico, más allá de la posibilidad de abrir los huecos. En la *Maison du Brésil*, tal y como veíamos los *aerateurs* se encuentran abiertos en periodo estival y el sistema que se incluyó de ventilación forzada con tiro a cubierta en la construcción inicial del edificio para las habitaciones, se cegó durante la reforma, por problemas de acústica y porque no cumplía la sectorización de incendios de la normativa francesa.

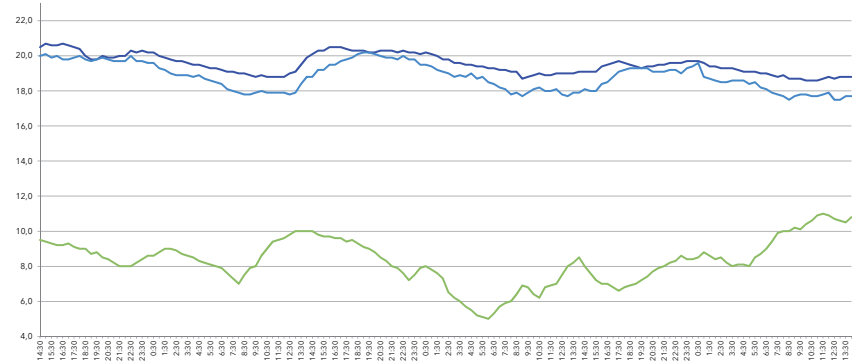


Figura FE.3.03. Gráfica Vestíbulo *Fondation Suisse* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

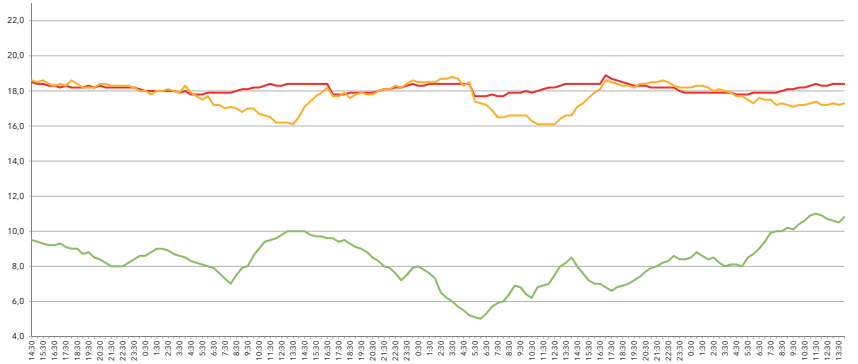


Figura FE.3.04. Gráfica Vestíbulo *Maison du Brésil* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	8,3	11,0	5,0
FS	19,5	20,7	18,6
MdB	18,1	18,9	17,7

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	6,0
ΔTFS (max - min)	2,1
ΔTMdB (max - min)	1,2

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	11,2
ΔT (MdB - Ext)	9,9
ΔT (FS - MdB)	1,4

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	18,8	20,2	17,5
MdB	17,7	18,8	17,1
FS - MdB	1,1		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	2,7
ΔTrMdB (max - min)	1,8

Tabla TE.3.03. Resumen y comparativa de temperaturas, vestíbulos - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

Resultados vestíbulos inverno

Los datos recogidos demuestran, tal y como era de esperar, que en periodo de invierno la temperatura interior se mantiene dentro de unos márgenes pequeños, aunque existen ciertas oscilaciones diarias. En la *Fondation Suisse*, estas variaciones son mayores (ΔTFS = 2,1 ºC) pero la temperatura siempre es superior a la de la *Maison du Brésil* que por el contrario tiene una temperatura más constante (ΔTMdB = 1,2ºC) pero que nunca llega a sobrepasar los 19ºC.

En la residencia suiza el salto térmico medio exterior- interior es de 11,2ºC y en la brasileña de 9,9ºC, lo que significa que de media, el vestíbulo de la primera se encuentra 1,4ºC por encima de la segunda. El origen de esta diferencia puede deberse a las características de la calefacción, pero indudablemente influye la superficie de perímetro en contacto con el exterior. El vestíbulo de la *Fondation Suisse* tiene la mayoría de sus paramentos envolventes en contacto con otros espacios interiores, aunque no todos estén calefactados, mientras que el de la *Maison du Brésil* es prácticamente un volumen independiente del resto del edificio.[247]

247. La relación volumen-superficie envolvente que se mide como compacidad suele aplicarse a un volumen completo o edificio entero. Aplicarla a un espacio concreto no es completamente apropiado puesto que toda su envolvente no es exterior.

	Periodo 1 (1-24 h)				Periodo 2 (25-48 h)				Periodo 3 (49-72 h)			
	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)
Exterior	13:00-14:00	10,0	8:00	7,0	14:30	10,0	6:00	5,0	11:00	11,0	17:30	6,6
FS	15:00-16:30	20,7	9:30-12:00	18,8	16:00-17:00	20,5	9:00	18,7	17:30	19,7	10:00-11:00	18,6
MdB	14:30	18,5	4:30-5:30	17,8	14:30-16:30	18,4	5:30-7:30	17,7	17:00	18,9	4:30-5:30	17,8
	ΔT (FS - MdB)	2,2		1,0		2,1		1,0		0,8		0,8

Tabla TE.3.04. Máximos y mínimos de temperatura del aire. Vestíbulos - invierno

Los máximos de temperatura se producen en los dos casos cuando incide radiación solar directa a partir de las 15:30 h aproximadamente (Tabla TE.3.04), aunque debido al alto nivel de cobertura nubosa que existió durante los días reflejados las oscilaciones son pequeñas. El día 14 de enero estuvo encapotado prácticamente todo el día y adicionalmente la noche anterior había sido especialmente fría, con una mínima de 5ºC, y como consecuencia el máximo registrado es todavía menor y significativamente más tarde.

Según se observa en la tabla TE.3.04, los mínimos relativos de temperatura exterior se produjeron justo antes del amanecer los tres días, aunque el último día tuvo una temperatura absoluta menor por la tarde. Los máximos relativos se observaron pasado el mediodía en momentos cercanos a las 14:30, con la salvedad del último día en el que se registró un máximo absoluto a media mañana. En los interiores, los mínimos pierden cierta relevancia por el efecto de la calefacción, pero se observa que en la *Maison du Brésil* corresponden más directamente con el régimen de temperatura exterior y en la *Fondation Suisse* se produjeron con un retraso de dos horas. Con respecto a los máximos interiores, la situación se invierte; de estos dos datos se extrae que el vestíbulo de la *Fondation Suisse* se enfría más rápido cuando la temperatura se reduce y la *Maison du Brésil* tarda más tiempo.

Este hecho no permite alcanzar conclusiones definitivas respecto a la inercia térmica de los espacios, debido a que existe un aporte activo de calor por parte de la calefacción. A pesar de ello, se estima que es probable que se produzca

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	19,5	18,1	1,4
Tr (°C)	18,8	17,7	1,1
Δ T (Tr)	0,7	0,5	

	Hr (%)	Hr max (%)	Hr min (%)
Exterior	80,6	91,0	62,0
FS	49,8	57,4	44,6
MdB	45,5	51,7	41,2

RANGO HIGROMÉTRICO	
	Hr (%)
Δ Hext (max - min)	29,0
Δ HFS (max - min)	12,8
Δ HMdB (max - min)	10,5

COMPARATIVA	
	Hr (%)
Δ H (FS - Ext)	-30,8
Δ H (MdB - Ext)	-35,1
Δ H (FS - MdB)	4,3

Tabla TE.3.05. Resumen y comparativa de humedad relativa y temperatura radiante. Vestíbulos - invierno. Rango higrométrico, valores máximos, mínimos y diferenciales.

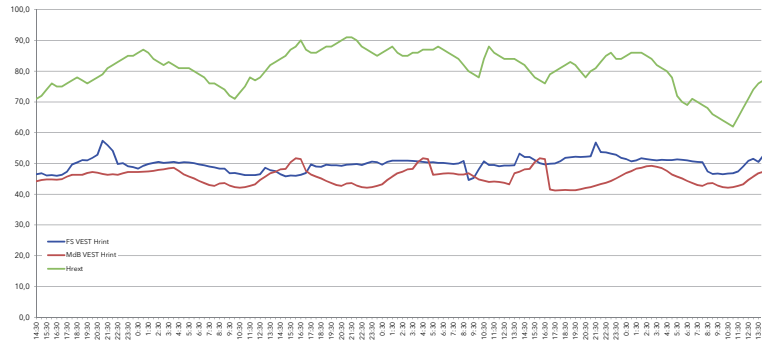


Figura FE.3.05. Gráfica Vestíbulos - invierno. Humedad realtiva interior y exterior (%)

por la gradación vertical de temperaturas debida a las conexiones de los espacios con otras zonas más expuestas. La escalera de comunicación vertical de la *Fondation Suisse* está completamente abierta al vestíbulo y una de sus fachadas está totalmente acristalada, de manera que cuando este espacio, que carece de inercia térmica, se enfría rápidamente debido a la temperatura exterior, se establece una circulación convectiva de aire que enfría la planta baja. Por el contrario, el vestíbulo de la *Maison du Brésil* tiene puertas de sectorización de incendios, que lo separan de las escaleras y por tanto la gradación vertical de temperaturas es mucho más estable.

En relación a la temperatura radiante, en los dos casos estudiados, su media es inferior a la temperatura del aire [Δ(T-Tr)FS = 0,7 °C; Δ(T-Tr)MdB = 0,5 °C]. Es debido al efecto invernadero de las superficies acristaladas que permite que el aire interior se caliente más que las superficies. La diferencia es reducida porque los espacios son grandes y por tanto las superficies radiantes están alejadas y el volumen de aire interior es elevado. Comparativamente, en la *Maison du Brésil* la temperatura radiante tiene oscilaciones que en ciertos momentos la igualan a la temperatura del aire, con momentos puntuales que llegan a superarla, y en la *Fondation Suisse* siempre se mantiene por debajo con una distribución prácticamente paralela.

La humedad relativa, que refleja variaciones relacionadas con la presencia y flujo de personas en los espacios se mantiene prácticamente constante en los dos registros, con variaciones inferiores a 13% y con una media muy similar. El valor es algo superior en la *Fondation Suisse* pero sin relevancia significativa. El registro exterior tiene variaciones bruscas que responden en general a la presencia de viento exterior y precipitaciones.

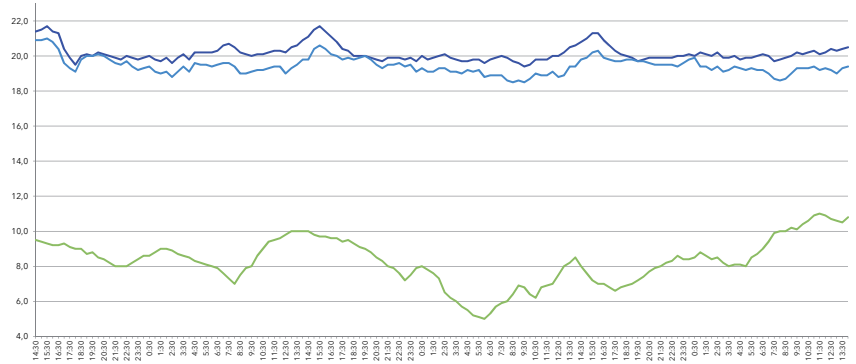


Figura FE.3.06. Gráfica Habitación *Fondation Suisse* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

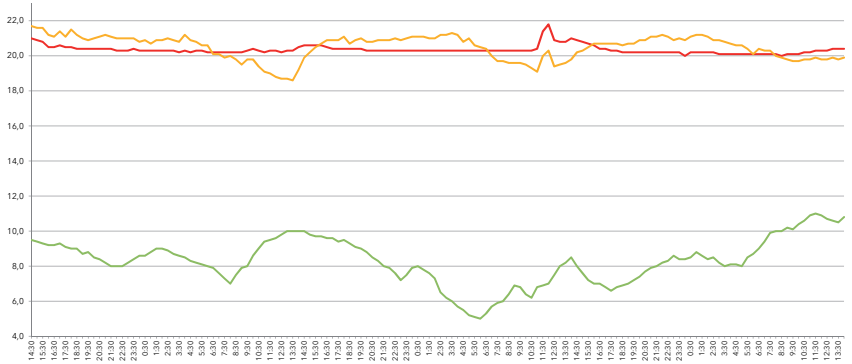


Figura FE.3.07. Gráfica Habitación *Maison du Brésil* - invierno. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

Resultados habitaciones invierno

Las oscilaciones térmicas encontradas en las habitaciones son similares a las de los vestíbulos, solo ligeramente superiores; por tanto la temperatura sigue siendo muy estable. En concreto en la *Maison du Brésil*, si no tenemos en cuenta los máximos que se producen de manera muy puntual, la temperatura se encuentra cercana a la media de 20,3ºC más de un 80% del tiempo.[248] En la *Fondation Suisse* la media es muy similar, 20,2ºC.

En las habitaciones, la temperatura es de media superior a los vestíbulos, en la *Fondation Suisse* 0,7ºC y en la *Maison du Brésil* 2,2ºC. Debido a la existencia de calefacción no es posible extraer conclusiones respecto a estos datos, pero la realidad térmica indudablemente es muy diferente entre un espacio y el otro. En cualquier caso, la actividad y tiempo de permanencia también y por tanto la percepción del confort como veremos más adelante.

Las temperaturas máximas en el interior de las habitaciones se producen en correspondencia con la radiación solar, aunque de diferente forma. En la residencia suiza todos los días a las 15:30 h, cuando la dirección de los rayos de

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	8,3	11,0	5,0
FS	20,2	21,7	19,4
MdB	20,3	21,8	20,0

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	6,0
ΔTFS (max - min)	2,3
ΔTMdB (max - min)	1,8

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	11,9
ΔT (MdB - Ext)	12,1
ΔT (FS - MdB)	-0,2

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	19,4	21,0	18,5
MdB	20,5	21,7	18,6
FS - MdB	-1,1		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	2,5
ΔTrMdB (max - min)	3,1

Tabla TE.3.06. Resumen y comparativa de temperaturas, habitaciones - invierno. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

248. Si establecemos un rango de [20-20,5]ºC, la temperatura se encuentra dentro el 87,6% del periodo de medición.

	Periodo 1 (1-24 h)				Periodo 2 (25-48 h)				Periodo 3 (49-72 h)			
	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)
Exterior	13:00-14:00	10,0	8:00	7,0	14:30	10,0	6:00	5,0	11:00	11,0	17:30	6,6
FS	15:30	21,7	18:00	19,5	15:30	21,7	9:30	19,4	15:30	21,3	19:30; 7:30	19,7
MdB	14:30	21,0	3:30-9:00	20,2	12:00	21,8	20:00-10:30	20,3	14:30	20,9	23:30-8:30	20,0
ΔT (FS - MdB)		0,7		-0,7		-0,1		-0,9		0,4		-0,3

Tabla TE.3.07. Máximos y mínimos de temperatura del aire. Habitaciones - invierno

sol es perpendicular a la fachada acristalada y la penetración es máxima; en la brasileña a las 14:30 h, seis horas después de que la penetración teórica hubiera sido máxima a las 8:30 h, pero tal y como veíamos en la tabla TE.3.01, el sol todavía no ha salido en este periodo invernal. Además el máximo es prácticamente despreciable a excepción del registrado el segundo día de medición y que puede deberse a una visita de la habitación de la que no se tiene constancia.

Los mínimos relativos que se recogen en la tabla TE.3.07, no siguen un patrón remarcable. Esta situación no es reseñable por la influencia de la carga térmica que supone la calefacción.

En la *Fondation Suisse*, la temperatura radiante de la habitación sigue siendo inferior a la temperatura del aire una media de 0,7ºC –valor idéntico al vestíbulo; sin duda la utilización de materiales de construcción muy similares con similares emisividades y la relación vidrio/opaco parecida de los paramentos son las causas. Por el contrario en la *Maison du Brésil* la temperatura media radiante de la habitación es prácticamente igual a la del aire. Debemos resaltar que su régimen presenta un retraso con respecto a la temperatura registrada con el termómetro de bulbo seco y que su rango es sensiblemente mayor.

Todas estas características, al igual que ocurre en los vestíbulos en periodo de invierno, no pueden ser explicadas en términos de inercia por causa de la calefacción. Sí que puede resaltarse la diferencia en el comportamiento de las temperaturas radiantes de los dos edificios, que además de a sus soluciones constructivas, se deben a los diferentes tipos de calefacción. En la *Maison du*

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	20,2	20,3	-0,2
Tr (°C)	19,4	20,5	-1,1
Δ T (Tr)	0,7	-0,1	

	Hr (%)	Hr max (%)	Hr min (%)
Exterior	80,6	91,0	62,0
FS	36,3	44,2	30,3
MdB	40,8	43,3	36,1

RANGO HIGROMÉTRICO	Hr (%)
Δ Hext (max - min)	29,0
Δ HFS (max - min)	13,9
Δ HMdB (max - min)	7,2

COMPARATIVA	Hr (%)
Δ H (FS - Ext)	-44,4
Δ H (MdB - Ext)	-39,8
Δ H (FS - MdB)	-4,6

Tabla TE.3.08. Resumen y comparativa de humedad relativa y temperatura radiante. Habitaciones - invierno. Rango higrométrico, valores máximos, mínimos y diferenciales.

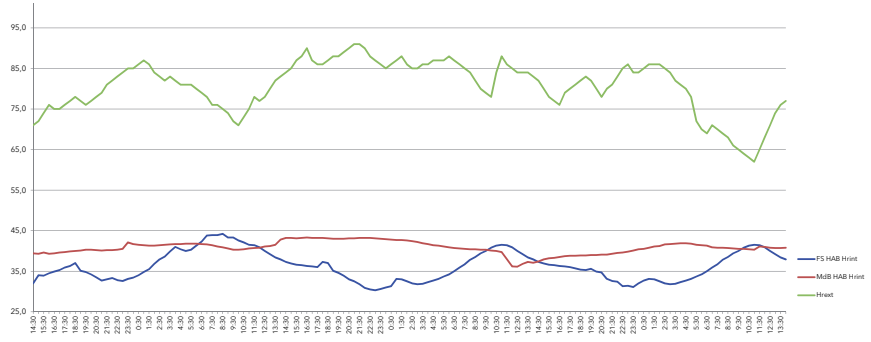


Figura FE.3.08. Gráfica Habitaciones - invierno. Humedad realtiva interior y exterior (%)

Brésil los radiadores por su tipología están diseñados para calentar principalmente por convección y en la *Fondation Suisse* son radiadores de fundición de acero que calientan principalmente por radiación.

La humedad relativa registrada en las habitaciones tampoco presenta variaciones reseñables. En este caso, la estancia de la *Maison du Brésil* es de media 4,6% más húmeda pero con una amplitud menor y por tanto mayor estabilidad. Las medias se encuentran cercanas al 40% que es un valor aceptable para espacios interiores, teniendo en cuenta que no se ha encontrado ocupado y que en tal caso hubiera alcanzado probablemente valores cercanos o ligeramente superiores al 50%.

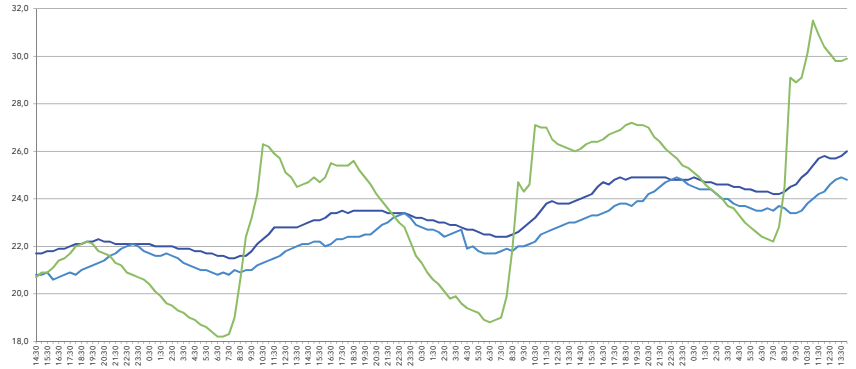


Figura FE.3.09. Gráfica Vestíbulo *Fondation Suisse* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

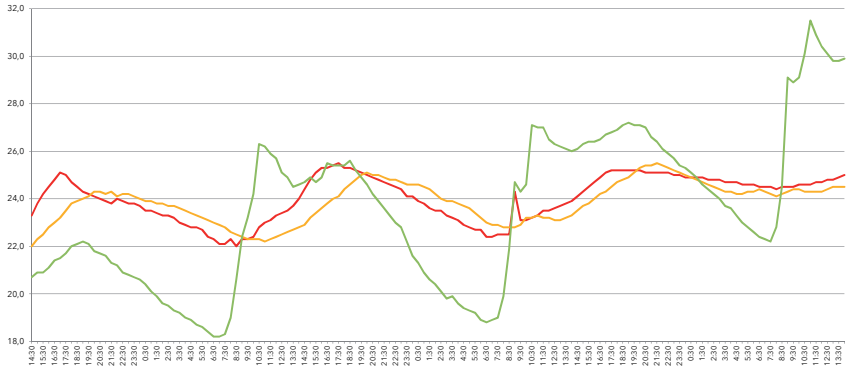


Figura FE.3.10. Gráfica Vestíbulo *Maison du Brésil* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

	T (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)
Exterior	8,3	11,0	5,0
FS	19,5	20,7	18,6
MdB	18,1	18,9	17,7

RANGO TÉRMICO	T (°C)
ΔText (max - min)	6,0
ΔTFS (max - min)	2,1
ΔTMdB (max - min)	1,2

COMPARATIVA	T (°C)
ΔT (FS - Ext)	11,2
ΔT (MdB - Ext)	9,9
ΔT (FS - MdB)	1,4

	Tr (°C)	Tr max (°C)	Tr min (°C)
FS	18,8	20,2	17,5
MdB	17,7	18,8	17,1
FS - MdB	1,1		

RANGO TÉRMICO	Tr (°C)
ΔTrFS (max - min)	2,7
ΔTrMdB (max - min)	1,8

Tabla TE.3.09. Resumen y comparativa de temperaturas, vestíbulos - verano. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

Resultados vestíbulos verano

En la monitorización realizada en verano las oscilaciones de temperatura en los vestíbulos aumentan. El rango de temperaturas interior aumenta a algo más del doble en los dos casos y la relación con la oscilación de la temperatura exterior se mantiene constante, es decir, esta también ha aumentado al doble, al igual que en los edificios.

ΔText(max-min) verano / ΔText(max-min) inverno = 13,3/6 = 2,21
ΔTFS(max-min) verano / ΔTFS(max-min) inverno = 4,5/2,1 = 2,14
ΔTMdB(max-min) verano / ΔTMdB (max-min) inverno = 3,5/1,2 = 2,91

De nuevo, las variaciones son mayores en la *Fondation Suisse*, pero en este caso se reduce la diferencia alrededor de un 50%; en invierno:

ΔTFS(max-min) /ΔTMdB(max-min) = 2,1/1,2 = 1,75;

mientras que en verano:

ΔTFS(max-min) /ΔTMdB(max-min) = 4,5/3,5 = 1,28

Según los datos obtenidos, los dos vestíbulos tienen coeficientes de estabilidad térmica que se consideran buenos, es decir, como espacios, ambos tienen gran inercia térmica (ver tabla TE.3.10).[249]

	CET
ΔTFS / Δtext	0,34
ΔTMdB / Δtext	0,26

Tabla TE.3.10. Coeficiente de estabilidad térmica. Vestíbulos - verano

Tal y como es esperable (por la ausencia de climatización), en periodo estival, el salto térmico medio exterior-interior se reduce notablemente en los dos casos, con la particularidad de que la temperatura media interior en la *Fondation Suisse* es 0,2 ºC inferior a la exterior y por el contrario en la *Maison du Brésil* es 0,7ºC superior. Este hecho se debe a que el vestíbulo de la segunda residencia es más sensible a los efectos de la radiación solar por su mayor superficie en contacto con el exterior y por el mayor ratio acristalado/macizo de la envolvente exterior. Adicionalmente hay que tener en cuenta la superficie de cerramiento horizontal (cubierta) accesible a los rayos de sol, que en la *Fondation Suisse* es mínima.

	Periodo 1 (1-24 h)				Periodo 2 (25-48 h)				Periodo 3 (49-72 h)			
	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)
Exterior	13:00-14:00	10,0	8:00	7,0	14:30	10,0	6:00	5,0	11:00	11,0	17:30	6,6
FS	15:30	21,7	18:00	19,5	15:30	21,7	9:30	19,4	15:30	21,3	19:30; 7:30	19,7
MdB	14:30	21,0	3:30-9:00	20,2	12:00	21,8	20:00-10:30	20,3	14:30	20,9	23:30-8:30	20,0
	ΔT (FS - MdB)	0,7		-0,7		-0,1		-0,9		0,4		-0,3

Tabla TE.3.11. Máximos y mínimos de temperatura del aire. Vestíbulos - verano

Los máximos relativos de nuevo se producen cuando aumenta la incidencia solar y por el mismo motivo que antes, con un efecto más acusado en la *Maison du Brésil*. En su caso se registran invariablemente a las 17:30 h todos los días y en la *Fondation Suisse* tres horas y media antes, sobre las 14:00 h (tabla TE.3.11). Estos máximos deben ser considerados en cada periodo de 24 h puesto que tal y como se observa en los registros de temperatura exterior la temperatura tuvo una tendencia marcadamente ascendente a lo largo de las 72 h de medición.

La menor temperatura interior en los dos vestíbulos se produce, en verano, a primera hora de la mañana (7:30 h), una hora después de la salida del sol y en correlación con las menores temperaturas exteriores. El último día de medición

249. Estos datos contrastan con los obtenidos por Ignacio Requena en su estudio de la *Maison du Brésil*, en el que obtiene un CET = 0,8 para el vestíbulo con lo que indica que debe clasificarse como un espacio de una baja inercia térmica. La diferencia principal que se produce entre los dos estudios (el de Ignacio Requena y el de esta tesis) es el periodo de estudio. En 2011, Requena registró mediciones, en el vestíbulo, comprendidas entre las 7:30 h y las 17:30 h (2011:224) y las comparó con registros de temperatura exterior de las 24 h mientras que en la actualidad se ha registrado las 24 h del día tanto para el exterior como para el vestíbulo.

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	23,3	24,1	-0,7
Tr (°C)	22,6	23,9	-1,3
Δ T (Tr)	0,8	0,2	

	Hr (%)	Hr max (%)	Hr min (%)
Exterior	38,9	51,0	18,2
FS	37,0	47,3	28,8
MdB	36,2	45,7	28,3

RANGO HIGROMÉTRICO	
	Hr (%)
Δ Hext (max - min)	32,8
Δ HFS (max - min)	18,5
Δ HMdB (max - min)	17,4

COMPARATIVA	
	Hr (%)
Δ H (FS - Ext)	-2,0
Δ H (MdB - Ext)	-2,7
Δ H (FS - MdB)	0,8

Tabla TE.3.12. Resumen y comparativa de humedad relativa y temperatura radiante. Vestíbulo - verano. Rango higrométrico, valores máximos, mínimos y diferenciales.

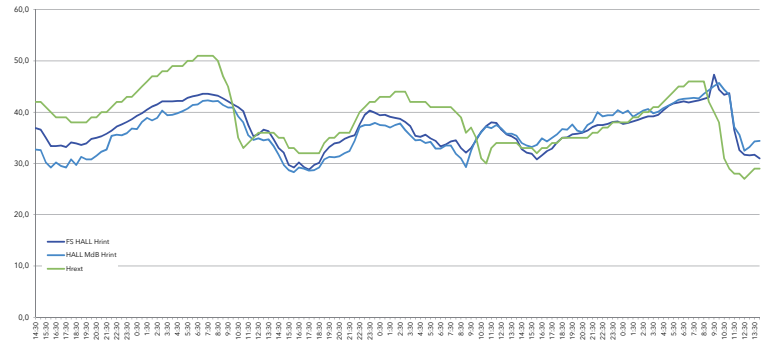


Figura FE.3.11. Gráfica Vestíbulos - verano. Humedad realtiva interior y exterior (%)

se sale de esta tendencia y tal y como se refleja en la tabla TE.3.11, los menores registros se dieron a las 14:30 h en los dos edificios, lo que resulta, de nuevo, del aumento significativo de temperaturas exteriores.

Los registros de temperatura radiante, en verano, siguen un patrón idéntico al encontrado en invierno con menor diferencia en relación a la temperatura del aire. En la *Maison du Brésil*, en verano, la temperatura radiante, sin llegar a superar el máximo de temperatura del aire, sí que es más elevada en algunos momentos reflejando un retraso de trasmisión de calor de las superficies. Este hecho se relaciona con los materiales con los que se encuentra construida su envolvente que en general tienen mayor inercia térmica. Esta influye en el tiempo que tarda la onda térmica por radiación en atravesar los cerramientos y se denomina "desfase de onda térmica" (Serra Florensa, Coch Roura 1995:181). Para la residencia de estudiantes brasileños es aproximadamente de tres horas mientras que en la de los suizos se amplía el periodo pero sin incidencia relativa en los máximos registrados.

La humedad relativa registrada ha sido muy parecida en los dos vestíbulos y con gran coincidencia con los registros exteriores. Las variaciones han aumentado hasta valores cercanos al 18%, reduciéndose notablemente el salto higrométrico entre el exterior y el interior. Mientras que en invierno la humedad en los vestíbulos era alrededor de un 30% inferior al exterior, en verano esa diferencia se reduce al 2% (ver tabla TE.3.12).

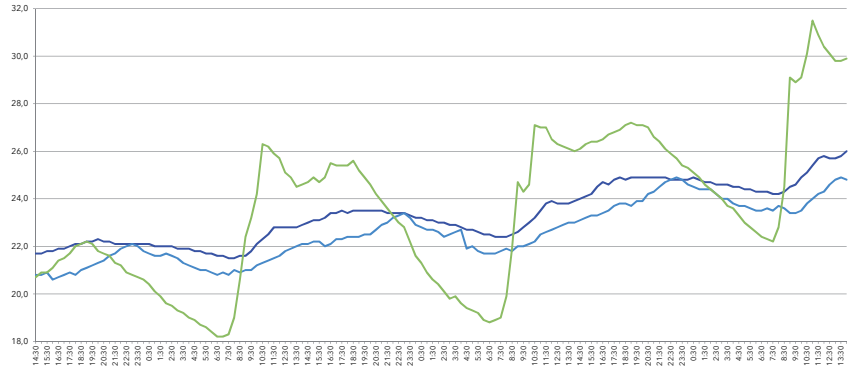


Figura FE.3.12. Gráfica Habitación *Fondation Suisse* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

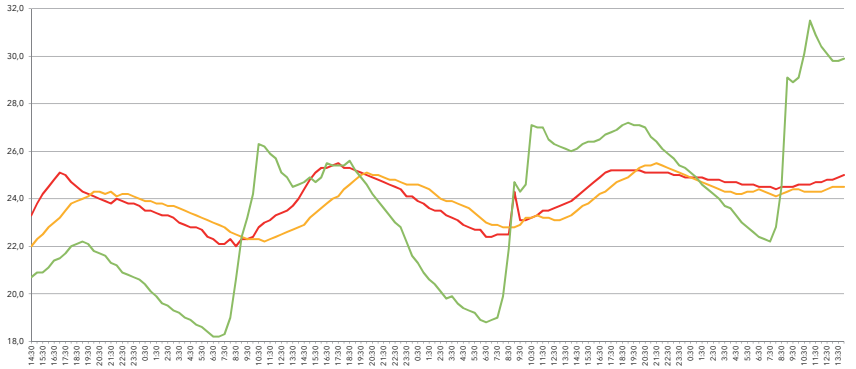


Figura FE.3.13. Gráfica Habitación *Maison du Brésil* - verano. Tª interior, Tª radiante y Tª exterior (ºC)

Resultados habitaciones verano

La diferencia entre temperaturas máximas y mínimas para las habitaciones en periodo estival es la más acusada de todas. Mientras que en los vestíbulos los valores se mantenían en un rango similar a la temperatura exterior, aquí aumentan hasta 8,6ºC en la *Fondation Suisse* y 10,4ºC en la *Maison du Brésil*.

Las medias son aceptables desde un punto de vista del confort estival, cercanas a los 25ºC, pero los máximos son elevados con una diferencia entre ambas residencias, de 1,8ºC el primer día y valores cercanos a los 3ºC los dos días siguientes, siendo en la *Maison du Brésil* donde se alcanzan las temperaturas más altas. En comparación con los vestíbulos, la diferencia es muy acusada puesto que en la *Fondation Suisse* la habitación se encuentra 9,26ºC de media más caliente y en la *Maison du Brésil* 12,96ºC.

Aunque el salto térmico con el exterior es mayor que en los vestíbulos (ΔT FS-ext = 1,6ºC; ΔT MdB-ext = 1,9ºC), el rango también lo es y por consiguiente se obtiene un CET que indica que la inercia térmica de las habitaciones es peor. La causa de tan amplios rangos térmicos se debe principalmente a la gran

	T (ºC)	Tmax (ºC)	Tmin (ºC)
Exterior	23,6	31,5	18,2
FS	25,2	30,2	21,3
MdB	25,4	33,3	22,9

RANGO TÉRMICO	T (ºC)
ΔText (max - min)	13,3
ΔTFS (max - min)	8,9
ΔTMdB (max - min)	10,4

COMPARATIVA	T (ºC)
ΔT (FS - Ext)	1,6
ΔT (MdB - Ext)	1,9
ΔT (FS - MdB)	-0,3

	Tr (ºC)	Tr max (ºC)	Tr min (ºC)
FS	24,4	29,2	20,6
MdB	25,8	41,5	22,1
FS - MdB	-1,3		

RANGO TÉRMICO	Tr (ºC)
ΔTrFS (max - min)	8,6
ΔTrMdB (max - min)	19,4

Tabla TE.3.13. Resumen y comparativa de temperaturas, habitaciones - verano. Rangos térmicos, valores máximos, mínimos y diferenciales.

	CET
ΔTFS / Δtext	0,67
ΔTMdB / Δtext	0,78

Tabla TE.3.14. Coeficiente de estabilidad térmica. Habitaciones - verano

incidencia de radiación solar directa durante ciertos momentos del día que sobrecalientan el interior más que a una respuesta global de la envolvente.

	Periodo 1 (1-24 h)				Periodo 2 (25-48 h)				Periodo 3 (49-72 h)			
	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)	hh:mm	Tmax (°C)	hh:mm	Tmin (°C)
Exterior	13:00-14:00	26,3	8:00	18,2	14:30	27,1	6:00	18,8	11:00	31,5	17:30	22,2
FS	17:30	28,2	8:00-8:30	21,3	16:30	28,6	8:00-8:30	22,1	17:30-18:30	30,2	7:30-9:00	24,7
MdB	10:30	30,1	5:30-7:00	22,9	10:30	31,4	6:30-7:00	23,8	10:30	33,3	5:30-7:30	25,2
ΔT (FS - MdB)		-1,9		-1,6		-2,8		-1,7		-3,1		-0,5

Tabla TE.3.15. Máximos y mínimos de temperatura del aire. Habitaciones - verano

Si observamos las horas en las que se produce mayor temperatura en el interior de las habitaciones (tabla TE.3.15), no existe relación directa con la temperatura global exterior sino con los momentos en los que, por la posición solar y la orientación de los bloques de habitaciones, la incidencia solar es mayor. En la *Fondation Suisse* se produce a las 17:30 h (el bloque está orientado a SO) y en la *Maison du Brésil* invariablemente a las 10:30 (el bloque está orientado a ESE).

Los mínimos de temperatura en este periodo se producen a primera hora de la mañana (6:30 h - 8:00 h). En la *Fondation Suisse* algo antes, en relación directa con los mínimos de temperatura exterior y en la *Maison du Brésil* alrededor de una hora después debido a la capacidad de almacenar calor de la envolvente térmica.

En la temperatura radiante se repite el mismo patrón y la misma justificación que hemos visto en todos los casos y más concretamente el de los vestíbulos en verano. De nuevo en la *Fondation Suisse* este parámetro nunca supera el de la temperatura del aire y sigue una oscilación similar mientras que en la *Maison du Brésil* el ciclo se encuentra desplazado haciendo que durante los momentos en los que se reduce la temperatura del aire, la radiante registre valores superiores.

Respecto a la humedad relativa, ahora, se observan algunas diferencias. Partiendo de que los niveles son aceptables y dentro de márgenes habituales,

	FS	MdB	ΔT (FS - MdB)
T (°C)	25,2	25,4	-0,3
Tr (°C)	24,4	25,8	-1,3
Δ T (Tr)	0,8	-0,3	

	Hr (%)	Hr max (%)	Hr min (%)
Exterior	38,9	51,0	27,0
FS	33,2	41,6	21,3
MdB	40,9	52,6	36,1

RANGO HIGROMÉTRICO	
	Hr (%)
Δ Hext (max - min)	24,0
Δ HFS (max - min)	20,3
Δ HMdB (max - min)	16,5

COMPARATIVA	
	Hr (%)
Δ H (FS - Ext)	-5,7
Δ H (MdB - Ext)	2,0
Δ H (FS - MdB)	-7,7

Tabla TE.3.16. Resumen y comparativa de humedad relativa y temperatura radiante. Habitaciones - verano. Rango higrométrico, valores máximos, mínimos y diferenciales.

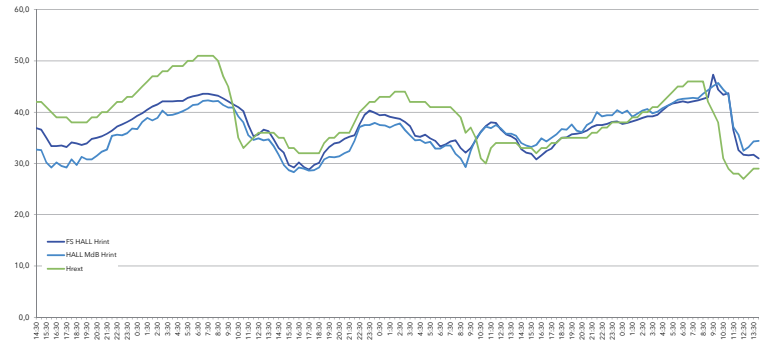


Figura FE.3.14. Gráfica Habitaciones - verano. Humedad realtiva interior y exterior (%)

en la *Fondation Suisse* se observa una mayor oscilación que corresponde directamente con los registros exteriores. Se debe a que, a pesar de que la ventana de la habitación se ha mantenido cerrada durante el periodo de medición, la puerta sí que está abierta mientras la residencia está abierta al público y además las ventanas del corredor suelen dejarse abiertas en verano para favorecer una cierta ventilación interior. Por el contrario en la *Maison du Brésil* la puerta de la habitación está siempre cerrada y solo se abre cuando hay visitas que en este caso no se han producido.

E.3.2. Monitorización ventilación

Metodología

Se realizan mediciones tanto en inverno como en verano, en los vestíbulos y en las habitaciones, a lo largo de un día en intervalos de dos horas con un total de cuatro mediciones en cada residencia. En la *Fondation Suisse* se comenzó a medir a las 10:00 h y en la *Maison du Brésil* a las 10:30 h, terminando a las 16:00 h y 16:30 h, respectivamente. Las mediciones de los vestíbulos se realizaron en una jornada y la siguiente en las habitaciones.

En el vestíbulo de la *Maison du Brésil* se abrieron los tres *aerateurs* de la sala de estar del vestíbulo, situados dos en la fachada noroeste y uno en la fachada suroeste. En las habitaciones, como los *aerateurs* previstos en proyecto se encuentran cegados, no fue posible medir la ventilación proyectada por Le Corbusier, pero se midió en las mismas condiciones que suelen hacer los residentes; es decir, se abrió la ventana de los baños y la de la habitación, colocando un objeto que permitiera que la puerta quedara entreabierta.

En el vestíbulo de la *Fondation Suisse* no existen *aerateurs* y no se dejan huecos abiertos permanentemente para la ventilación del espacio. Para la medición se dejaron abiertas las dos puertas de la caja acristalada de acceso sin posibilidad

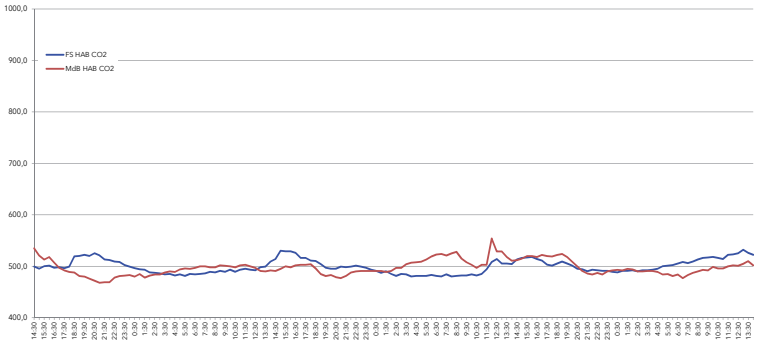


Figura FE.3.15. Gráfica Habitaciones - invierno. Concentraciones de CO_2 (ppm)

de abrir otra abertura. En las habitaciones, tampoco existe sistema de ventilación permanente proyectado o puesto en práctica, así que se utilizó el mismo método que en la *Maison du Brésil*, que al igual que antes es el que utilizan los residentes, a costa de perder cierta intimidad y de problemas de transmisión acústica.

Resultados invierno

Después de realizar multitud de medidas tanto en el vestíbulo como en la habitación de la *Maison du Brésil*, en ninguna de las cuatro ocasiones, se consiguió registrar ningún valor que pueda ser tenido en cuenta. Por tanto no se pueden alcanzar conclusiones respecto a la ventilación de estos espacios, más allá de que en el momento en el que se realizaron fue completamente nula a efectos sensibles.[250]

Adicionalmente hay que tener en cuenta que el instrumental utilizado (anemómetro de hilo caliente PCE-423) tiene un rango de medida que se inicia en 0,1 m/s de velocidad de aire, con una tolerancia de ±0,2 m/s. Por tanto mediciones inferiores a 0,2 m/s que no se registren de modo continuado no pueden ser tenidas en cuenta.

Si observamos los registros de concentración de CO_2 en la habitación, los valores se encuentran cercanos a 500 ppm durante los tres días. Habitualmente se considera que la concentración del aire exterior limpio es de 400 ppm, pero tenemos que tener en cuenta que París es una ciudad grande y con elevados niveles de tráfico, por tanto una horquilla que abarque hasta 500 ppm es razonable. La presencia de personas en el interior de la habitación se reduce, en el periodo estudiado, al acceso de personal de limpieza y del propio autor del estudio, estos momentos se corresponden, muy probablemente, con los puntos en los que la concentración aumenta ligeramente. Los datos registrados permiten establecer que los niveles de infiltración interior permiten una cierta renovación de aire con presencias puntuales y que en el caso de una persona durante un periodo prolongado, sería necesario realizar un estudio detallado.[251]

250. Según la UNE-EN ISO:7730, velocidades inferiores a 0,2 m/s son inapreciables por el ser humano.

251. No fue posible realizar mediciones en habitaciones ocupadas que arrojarían datos reales de la calidad del aire interior en las habitaciones.

En el vestíbulo de la *Fondation Suisse*, de nuevo se registraron medidas nulas o que no pueden tenerse en cuenta en una valoración de la ventilación del espacio. Al cerrar y abrir la puerta de acceso se producían pequeñas ráfagas muy poco continuadas y con valores con una dispersión que imposibilita extraer medias representativas de la realidad.

Por el contrario en la habitación, al abrir la ventana y la puerta de la estancia y la ventana del corredor de acceso, sí que se pudieron registrar medidas. Destaca que con la puerta abierta entre 15 cm y 30 cm, las mediciones son prácticamente despreciables y que al abrir la puerta completamente sí que se producía una ligera corriente constante que circulaba desde la fachada suroeste a la noreste. Su valor medio a 30 cm de las fachadas era de 0,4 m/s y se reducía drásticamente a 1 m de las fachadas hasta valores inapreciables en el espacio interior. Como los vientos en invierno suelen provenir principalmente del este, y las mediciones se realizaron en un día sin viento reseñable, esta corriente es debida principalmente a la diferencia de temperatura interior-exterior, de manera que la dirección predominante de la corriente era ascendente y produjo en 10 min de apertura una reducción de la temperatura de 3ºC.

Las concentraciones de CO_2 en la habitación son muy similares al caso anterior y sus variaciones responden igual a la presencia puntual del personal de la residencia o del propio investigador.

Resultados verano

En este periodo, en la *Maison du Brésil* los aireadores se mantienen abiertos las 24 h del día. Se pudo comprobar que en el *aerateur* de la fachada suroeste el aire accede al interior, mientras que en los dos situados en la noroeste sale al exterior. Los valores en el más cercano a la esquina que conforman las dos fachadas eran siempre superiores a los otros dos con una media que superó el doble de las otras. En las medidas realizadas a 1 m de la fachada la reducción de

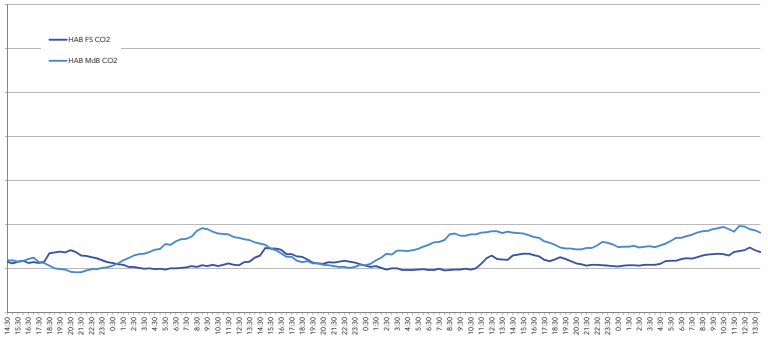


Figura FE.3.16. Gráfica Habitaciones - verano. Concentraciones de CO_2 (ppm)

la medición era tal que no permite establecer valores concretos y en el centro de la sala no se registraron corrientes apreciables.

En las mediciones en el bloque de habitaciones, con la ventana de los baños abierta, así como el *aerateur* de la cocina y todas las puertas intermedias, se registraron medidas siempre superiores en la fachada noroeste (opuesta a las habitaciones). Los valores con el instrumental cercano al plano del cerramiento se recogen en la figura FE.3.16, pero al alejarse 0,5 m ya no se producían mediciones representativas.

En ambas situaciones, se puede concluir que aunque en el interior de los espacios no se produzcan corrientes perceptibles que puedan modificar las sensaciones de confort de los ocupantes, sí que se obtiene una reducción global de la temperatura que es percibida por los usuarios y personal de la residencia que por ese motivo mantiene abiertos los *aerateurs* en el vestíbulo y las puertas y ventanas de las plantas superiores. Si bien es cierto, esta última situación es puntual puesto que, por un lado, la mayoría de personas prefieren no abrir la puerta por la pérdida de intimidad que supone y, por el otro, solo en las habitaciones enfrentadas a la puerta de baños y cocina llega a ser perceptible el efecto de la ventilación.

En el vestíbulo de la *Fondation Suisse*, en verano tampoco fue posible registrar valores que puedan ser tenidos en cuenta. Adicionalmente, este espacio no se considera caluroso por parte de los trabajadores y residentes por lo que no se han establecido medidas dirigidas a reducir su temperatura o a mejorar la sensación de confort.

En la habitación de esta residencia, al establecer las condiciones en las que se favoreciera la ventilación, se obtuvieron mediciones de velocidades de viento muy elevadas. Abriendo las ventanas de la habitación y el corredor, el máximo que permiten,[252] y manteniendo la puerta completamente abierta, las velocidades de viento registradas en el plano de fachada eran superiores a los 4 m/s,

252. La ventana de la habitación es de dos hojas, una de ellas fija y la otra corredera, de modo que su apertura máxima es del 50% de superficie de ventana. Las ventanas del corredor son batientes con brazo fijo y por tanto solo tienen una posición de abertura superior de un ángulo inferior a 10º que hace que no sobresalgan casi de la cara interior del cerramiento de fachada.

reduciéndose un 75% a la altura de la cama y del acceso. Esta situación es extrema, pero abriendo la ventana corredera la mitad (1/4 de la superficie de ventana) y manteniendo la puerta con una mochila (apertura de 15 cm), las mediciones se redujeron a 2,25 m/s de media en el plano de fachada y en el resto de puntos los valores eran similares a los medidos en las condiciones anteriores.

La distribución en planta del bloque de habitaciones de la *Fondation Suisse*, que en sección transversal solo tiene las habitaciones y el corredor, permite que se produzca una ventilación cruzada muy eficiente que discurre de la fachada suroeste a la noreste. Así además de la reducción de temperatura se mejora notablemente la percepción de confort.

E.3.4. Confort higrotérmico en base a los registros

Existen múltiples modelos teóricos e índices que permiten medir el confort. En la actualidad existen tres estándares relevantes correspondientes a las tres normativas que existen: la internacional ISO 7730 (2005), la europea EN 15251 (CEN 2007) y la americana ASHRAE 55 (2010). Todas ellas tienen en cuenta una combinación de los cuatro parámetros definidores del ambiente interior y los dos factores personales que definen las condiciones aceptables de confort para la mayoría de ocupantes de un espacio.[253] Las fórmulas utilizadas para el cálculo en los tres códigos se basan en los índices de Voto Medio Estimado (PMV, *Predicted Mean Vote*) y Porcentaje de Personas insatisfechas (PPD, *Predicted Percentage of Dissatisfied*) desarrollados por Fanger en 1970, que vimos en el apartado A.3. Adicionalmente se utiliza la Temperatura efectiva estándar (SET, *Standar Effective Temperature*),[254] presentada por Gagge en 1986 y mejorada por el mismo y Fobbelets en 1988.

Para el cálculo de los valores y la obtención de gráficas representativas se ha utilizado una aplicación informática de entorno web denominada *CBE Thermal*

253. Visto en el apartado A.3. Los parámetros son la temperatura del aire (T), la humedad relativa (Hr), la temperatura radiante (Tr) y la velocidad del aire (V); los factores humanos son el aislamiento de la vestimenta (CLO) y la tasa metabólica en función de la actividad (MET).

254. Recordemos que la Temperatura efectiva estándar (SET) se basa en el modelo de los dos nodos y que es el equivalente a un entorno isotérmico con humedad relativa de 50% en el cual un sujeto, con vestimenta y actividades estandarizadas, tiene la misma sensación térmica y estrés termo-regulatorio que en un entorno dado. Parte de la definición realizada en 1923 por Houghton y Yaglou de la Temperatura efectiva (ET) pero en su modelo el entorno base se encuentra con una humedad relativa del 100%.

Comfort Tool desarrollada por la *Berkeley University*, que tiene licencia *Creative Commons* y por consiguiente es de acceso libre y gratuito a través de internet.[255]

La herramienta permite también realizar evaluaciones de confort para velocidades de aire elevadas (V>0,15 m/s) utilizando un cálculo integrado de los dos índices SET-PMV. También incluye el cálculo del modelo de confort adaptativo de de Dear y Brager (1998) que permite analizar espacios naturalmente ventilados en los que los usuarios tienen la capacidad de modificar condiciones personales, como la vestimenta, o del entorno, como la apertura o cierre de huecos de ventilación. Este modelo demuestra que, en edificios sin aire acondicionado para refrigeración y ventilados naturalmente, los ocupantes aceptan un rango más amplio de temperaturas de lo que demuestran otros modelos y que está directamente relacionado con las temperaturas medias del ambiente exterior. Así, las personas realizan modificaciones que no solo tienen que ver con su comportamiento sino con su adaptación fisiobiológica y psicológica, demostrando mayor tolerancia térmica, especialmente a altas temperaturas.

Para la aplicación de los modelos adaptativos, definidos en estas normativas, deben darse unas condiciones límite que validan la utilización de los métodos. Estas son que la temperatura media exterior sea superior a 10ºC e inferior a 33,5ºC; que los ocupantes se encuentran realizando actividades sedentarias (MET con valor [1 – 1,3] y que su vestimenta tenga un valor de aislamiento medio (CLO con valor [0,5 – 1]). Todas ellas se cumplen en los casos estudiados de verano; en invierno, debido a que la temperatura media de París es inferior a 10ºC (tabla TE.3.01), no procede realizar esta comprobación.

Finalmente la herramienta utilizada, permite realizar comparaciones entre dos situaciones. Los autores explican que permite realizar evaluaciones de diseños alternativos (Schiavon, Hoyt et al. 2014:332); en nuestro caso nos permite comparar los dos edificios analizados de manera conjunta, según el ASHRAE

255. La aplicación se accede en http://cbe.berkeley.edu/comforttool

Standard 55, y comparar entre diferentes situaciones que representen diferentes realidades.[256]

Para la evaluación del confort se han fijado los siguientes factores según las recomendaciones normativas:

- Tasa metabólica según la actividad: De pie, relajado o sentado con actividad ligera de manos: 1,2 met.
- Aislamiento de la vestimenta en inverno: Vestimenta típica de inverno en interiores: 1 clo.
- Aislamiento de la vestimenta en verano: Vestimenta típica de verano en interiores: 0,5 clo.

Confort vestíbulos

En invierno, en el vestíbulo de la *Fondation Suisse* se obtiene un PMV = -0,49, que corresponde con un 10% de personas insatisfechas. Estos datos permiten clasificar el vestíbulo como perteneciente a la categoría II, que es la exigida en la EN 15251 para edificios residenciales (tanto públicos como privados). Según la ASHRAE la sensación térmica de la mayoría de usuarios será neutra y por tanto se cumplen las exigencias.

Este mismo espacio en la *Maison du Brésil,* según los registros obtenidos, no cumpliría ninguna de las dos normativas puesto que se califica como ligeramente frío en base a un PMV = -0,79 y por tanto un porcentaje de personas insatisfechas PPD = 18%. La categoría según la normativa europea es IV, insuficiente para las exigencias.

En realidad, las normativas son poco específicas respecto a su aplicabilidad en espacios intermedios. Mientras en las habitaciones sí parece lógica una exigencia mayor, en un espacio de corta estancia o incluso de paso en muchas ocasiones los niveles de aceptación pueden ser menores.

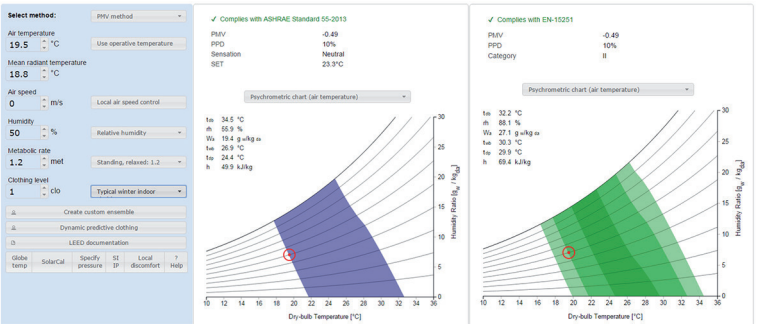


Figura FE.3.17. Confort en el vestíbulo de la *Fondation Suisse* - invierno. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

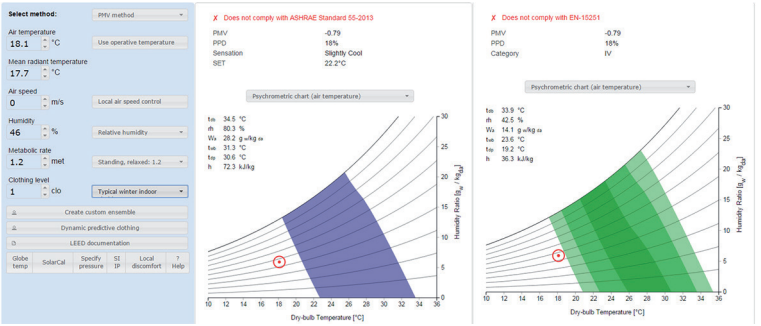


Figura FE.3.18. Confort en el vestíbulo de la *Maison du Brésil* - invierno. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

256. La normativa europea (EN-15251) y la internacional (ISO-7730) son en cuanto a procedimiento exactamente iguales y por tanto sólo existen dos procedimientos para comparar.

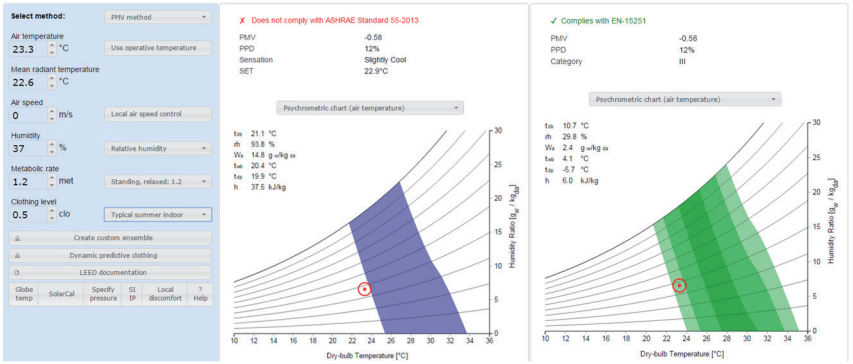


Figura FE.3.19. Confort en el vestíbulo de la *Fondation Suisse* - verano. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

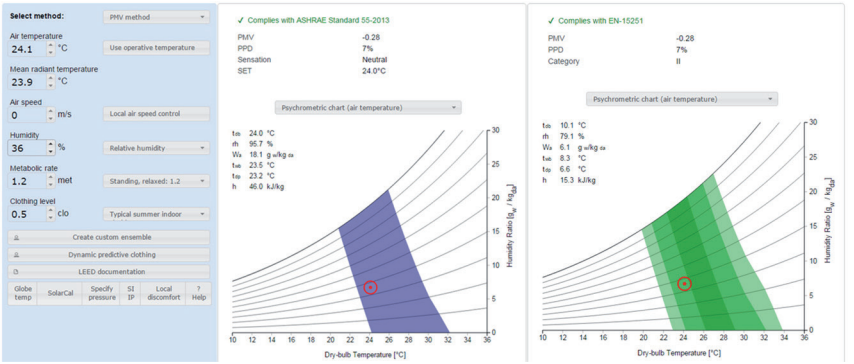


Figura FE.3.20. Confort en el vestíbulo de la Maison du Brésil - verano. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

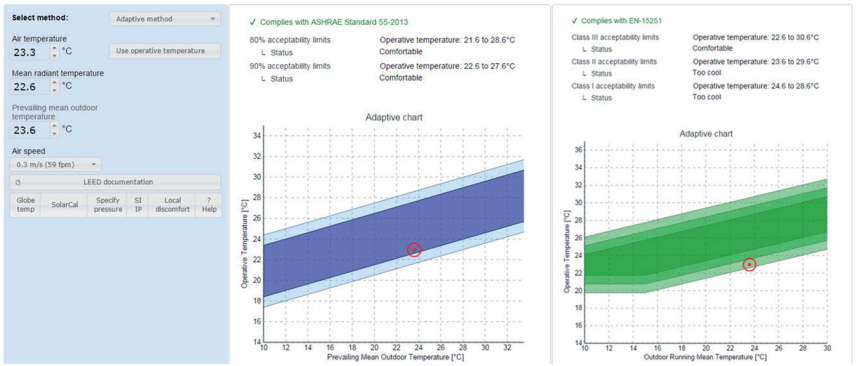


Figura FE.3.21. Confort en el vestíbulo de la *Fondation Suisse* - verano. Método adaptativo. ASHRAE 55 - EN15251

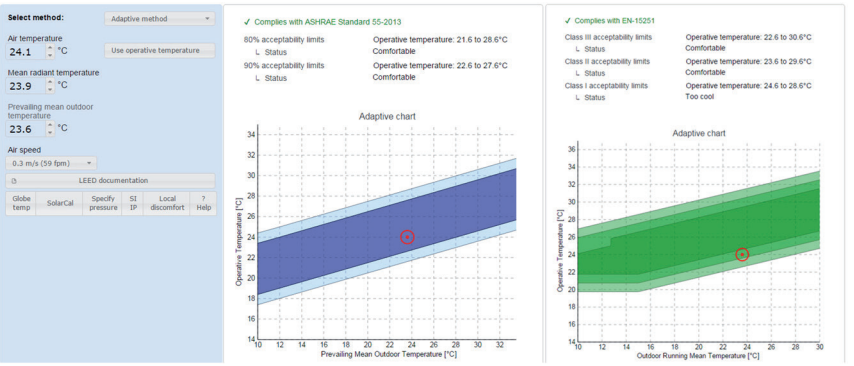


Figura FE.3.22. Confort en el vestíbulo de la Maison du Brésil - verano. Método adaptativo. ASHRAE 55 - EN15251

En verano, en la *Fondation Suisse*, en base a las temperaturas medidas, el vestíbulo obtendría una categoría III (EN 15251) y una sensación térmica ligeramente fría (ASHRAE 55). El PMV = -0,58, con un porcentaje de 12% de personas fuera de la zona de neutralidad, por tanto no se cumplen las exigencias. Este hecho puede resultar paradójico, al considerarse un espacio ligeramente frío en verano, pero debemos recordar que los límites de este método son

estrictamente numéricos y, aunque tengan una base estadística, no consideran la situación exterior. Si por el contrario tenemos en cuenta el modelo adaptativo, a pesar de que los parámetros definidores son idénticos, entonces sí que se cumplen las exigencias de las dos normativas para este método.[257]

En la *Maison du Brésil*, se cumple independientemente del método contemplado. El voto medio calculado es PMV = -0.28 con un 7% de personas incómodas con la sensación térmica. Las temperaturas registradas, en combinación con el resto de parámetros conducen a una sensación térmica neutral (método PMV) o confortable (método adaptativo).

Confort habitaciones

Según las normativas, las habitaciones se encuentran dentro de límites aceptables de confort en todos los momentos registrados independientemente de la normativa o del método utilizado. En invierno quedan clasificadas dentro de la categoría II con una sensación térmica neutral. En la *Fondation Suisse* el PMV = -0,42 con lo que un 9% de personas estarían insatisfechas y en la *Maison du Brésil* PMV = -0,28 y por consiguiente un porcentaje de 7% de los usuarios presentarían malestar térmico.

En verano los resultados divergen pero siguen dentro de los márgenes aceptables. Las habitaciones en la *Fondation Suisse* están prácticamente en la neutralidad térmica teórica con PMV = -0,05 y un 5% de personas insatisfechas, porcentaje que es imposible reducir según el modelo teórico de Fanger. En la *Maison du Brésil*, las habitaciones son un poco calurosas, pero sin salir de la neutralidad que reflejan un PMV = 0,24 y PPD = 6%.

Según el modelo adaptativo la media de los datos medidos sitúa las habitaciones en zonas de confort de clase I y con un porcentaje de insatisfechos inferior al 10%.

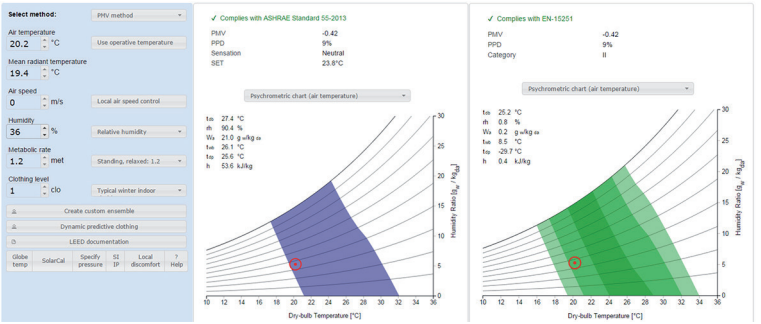


Figura FE.3.23. Confort en la habitación de la *Fondation Suisse* - invierno. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

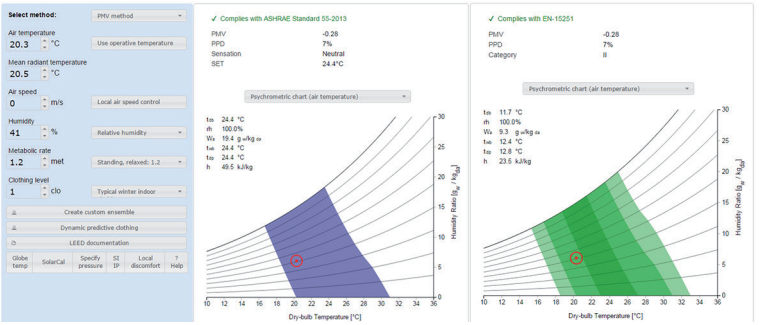


Figura FE.3.24. Confort en la habitación de la *Maison du Brésil* - invierno. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

257. Como veíamos uno de los requisitos para que este método pueda aplicarse es que los usuarios tengan capacidad de maniobrar las aberturas exteriores. En los vestíbulos, un residente no podría realmente hacerlo, pero los trabajadores, que en definitiva son los que los ocupan la mayor parte del tiempo si tienen cierto margen de libertad para hacerlo.

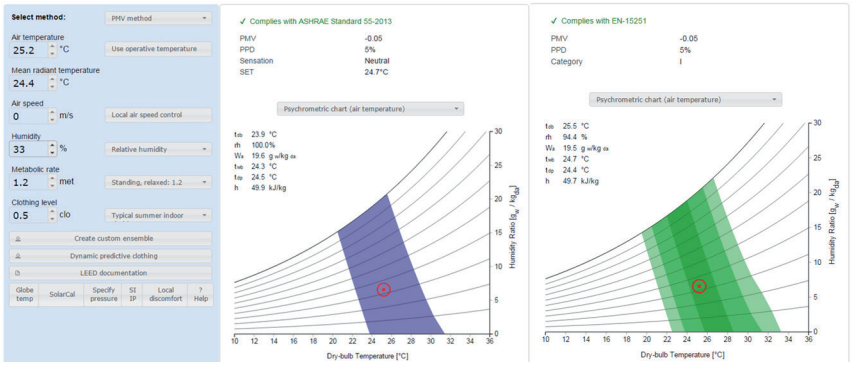


Figura FE.3.25. Confort en la habitación de la *Fondation Suisse* - verano. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

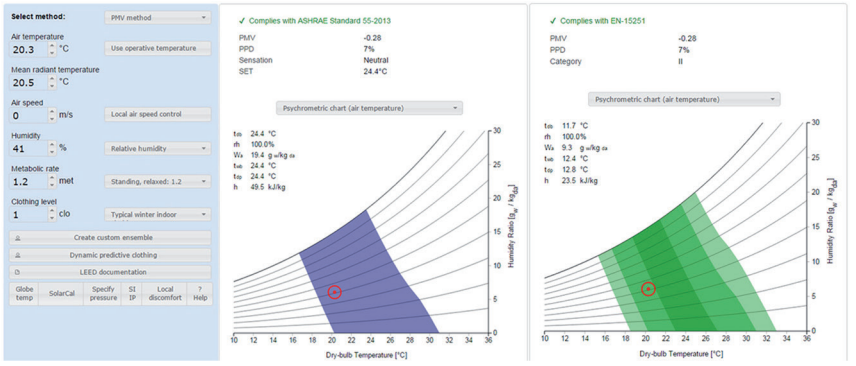


Figura FE.3.26. Confort en la habitación de la *Maison du Brésil* - verano. Método PMV. ASHRAE 55 - EN15251

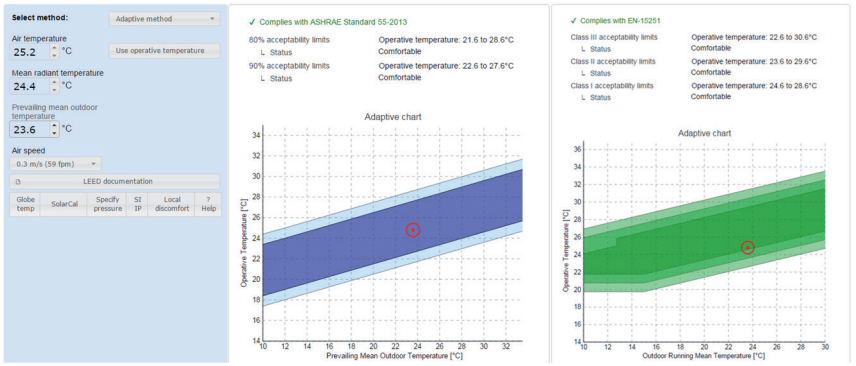


Figura FE.3.27. Confort en la habitación de la *Fondation Suisse* - verano. Método adaptativo. ASHRAE 55 - EN15251

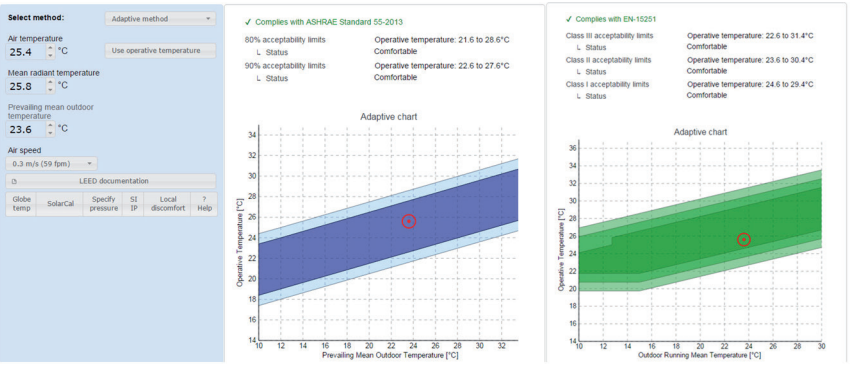


Figura FE.3.28. Confort en la habitación de la *Maison du Brésil* - verano. Método adaptativo. ASHRAE 55 - EN15251

Análisis crítico y comparativa

Las conclusiones anteriores respecto al confort han sido tomadas fijando el valor de los factores de tasa metabólica y aislamiento de la vestimenta. Estos influyen notablemente en la definición de zonas de confort y por ende merecen un análisis detallado porque sus valores estándar normativos no siempre representan las situaciones reales y por tanto las percepciones de confort que realmente tienen los ocupantes de los edificios.

NOTA: En las siguientes imágenes que acompañan a estos párrafos, analizaremos una serie de imágenes en las que la situación *"Inputs #1"* corresponde a la *Fondation Suisse* y *"Inputs #2"* a la *Maison du Brésil*.

Por ejemplo, una tasa metabólica de 1,2 met se asocia a una actividad ligera de manos de una persona sentada o de pie, generalmente realizando un trabajo ligero.[258] Pero una persona que está sentada relajadamente leyendo o conversando tranquilamente tiene niveles metabólicos algo menores en torno a 1met. Si valoramos el confort de los vestíbulos con esta tasa metabólica en vez de la estándar podemos comprobar como las situaciones registradas se alejan significativamente del confort.

En la imagen FE.3.30, observamos en la comparativa de las dos situaciones de invierno, que los vestíbulos se alejan sensiblemente de las zonas de confort hasta el punto de que en la *Fondation Suisse* un 30% de las personas estarían insatisfechas con la percepción higrotérmica y en la *Maison du Brésil* este valor se elevaría hasta el 48%. La sensación no sería extrema (ligeramente fría o fresca), pero sería necesario elevar la temperatura del aire del orden 4ºC y 6ºC respectivamente para alcanzar el confort, algo que por otro lado tendría un coste energético no desdeñable.

Obviamente el aumento del aislamiento de la vestimenta (aumento del valor clo) invertiría la situación acercando las situaciones a las áreas de confort tal y como observamos en la figura FE.3.31. Aun así, el valor límite que aceptan las

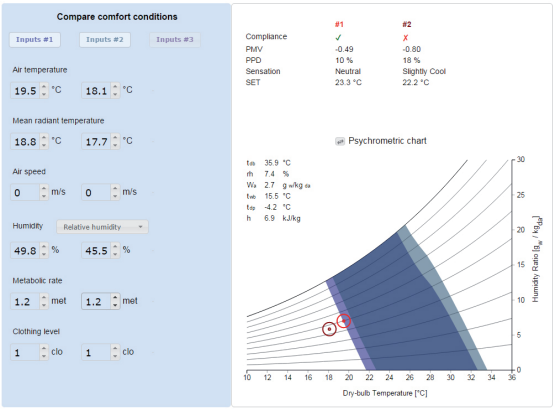


Figura FE.3.29. Comparativa confort. Vestíbulos - invierno.
Factores de confort estándar: 1,2 met; 1 clo

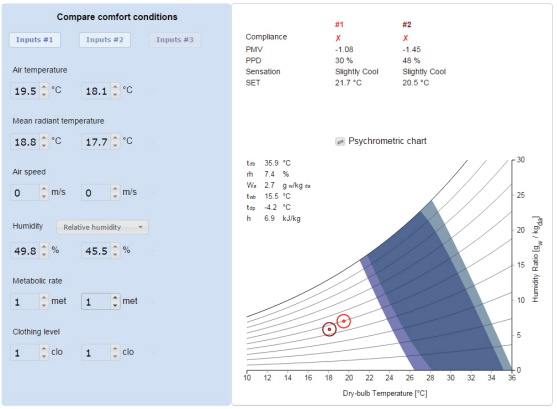


Figura FE.3.30. Comparativa confort. Vestíbulos - invierno.
Factores de confort modificados: 1 met; 1 clo

258. Las normativas y los estudios del confort, desde los inicios de las investigaciones, habitualmente han estado centrados en obtener un mayor rendimiento y una mejor salud de los trabajadores. En este caso pensamos también en los ocupantes de las residencias que no son trabajadores.

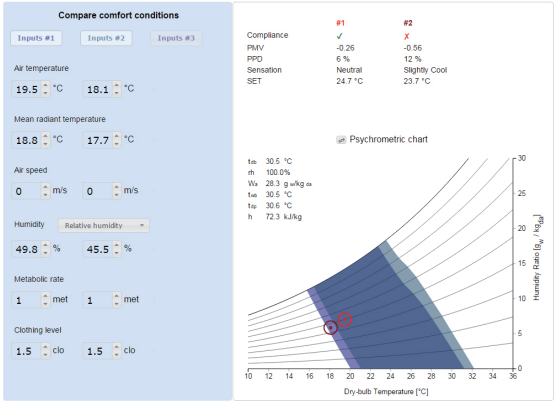


Figura FE.3.31. Comparativa confort. Vestíbulos - invierno.
Factores de confort modificados: 1 met; 1,5 clo

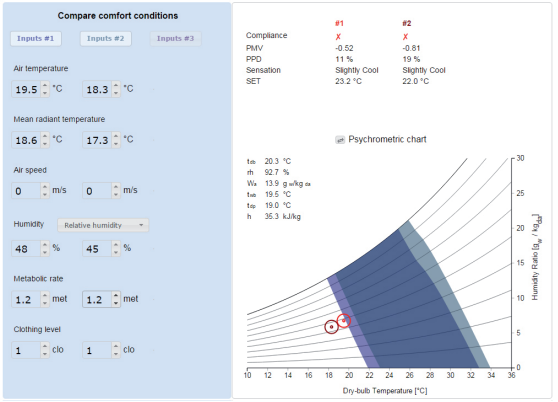


Figura FE.3.32. Comparativa confort. Vestíbulos - invierno.
Factores de confort estándar: 1,2 met; 1 clo. Periodo diurno (10:00 h - 18:00 h)

normativas de 1,5 clo deja las situaciones reales solamente al borde del confort. Además, valores muy superiores a 1 clo para interiores no suelen ser habituales puesto que en un cálculo detallado, un hombre vestido con ropa interior, vaqueros, camisa de manga larga y chaqueta tiene un aislamiento equivalente a 0,96 clo.

Por otro lado, si tenemos en cuenta los regímenes de ocupación de las estancias, separando el confort de día y de noche, tal y como recomendaban los autores de las *Mahoney tables*, podemos extraer nuevas conclusiones. Los vestíbulos tienen una ocupación exclusiva diurna y por tanto si las medias de temperatura las tomamos de las 10:00 h hasta las 18:00 h, los valores varían ligeramente. En invierno, en la *Fondation Suisse*, la temperatura del aire tiene la misma media pero la temperatura radiante se reduce dos décimas de grado; en la *Maison du Brésil* las variaciones son mayores ya que la media de temperatura del aire aumenta dos décimas de grado, pero la temperatura radiante se reduce cuatro décimas. Con estos datos, no sólo el vestíbulo de la *Maison du Brésil* quedaría fuera del cumplimiento sino que el de la *Fondation Suisse* también (Fig. FE.3.32)

Las anteriores comparativas son en periodo invernal, pero si las realizamos en verano de modo análogo, ocurre exactamente lo mismo. Manteniendo el mismo aislamiento que en los primeros apartados para verano (0,5 clo) y reduciendo la tasa metabólica a 1 met, los porcentajes de personas que experimentan malestar en los vestíbulos aumentan de 12% a 37% para la *Fondation Suisse* y de 7% a 20% para la *Maison du Brésil* (Fig. FE.3.34). La mayoría de las personas calificarían estos espacios de frescos según la tabla de voto medio estimado (PMV) y sería necesario elevar la temperatura de bulbo seco cerca de 2ºC para entrar en las zonas de confort.[259]

En muchas ocasiones, especialmente para los hombres que van vestidos con ropa de trabajo, establecer el aislamiento de la ropa en 0,5 clo es algo bajo. Por tanto si recalcularamos los grados de confort elevando este factor hasta 0,7 clo (que se alcanza con pantalones largos y camisa larga ambas con tejidos típicos

259. Sería posible teóricamente modificar otros parámetros que influyan en la percepción del confort como son la temperatura radiante o la humedad. Pero en la realidad, en un edificio construido suponen la incorporación de nuevas instalaciones de climatización lo que invalida económicamente las soluciones en el corto plazo.

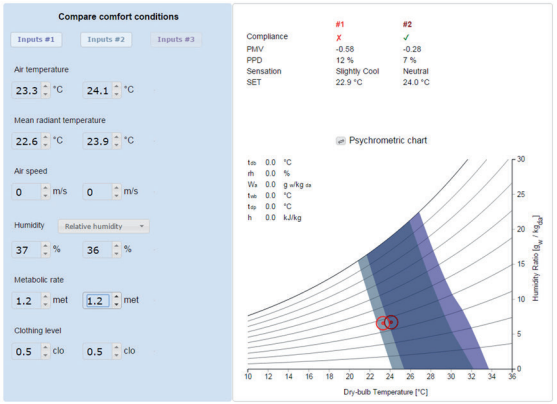


Figura FE.3.33. Comparativa confort. Vestíbulos - verano.
Factores de confort estándar: 1,2 met; 0,5 clo

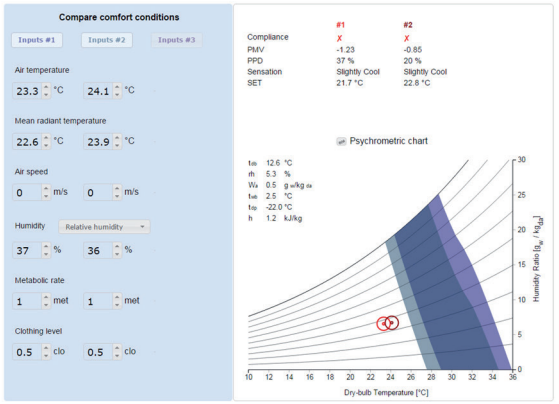


Figura FE.3.34. Comparativa confort. Vestíbulos - verano.
Factores de confort modificados: 1 met; 0,5 clo

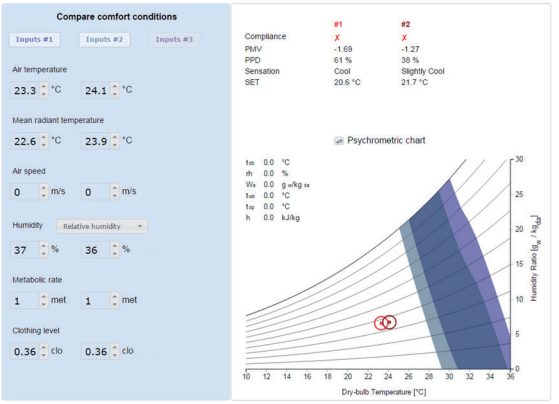


Figura FE.3.35. Comparativa confort. Vestíbulos - verano.
Factores de confort modificados: 1 met; 0,36 clo

de ropa veraniega) manteniendo la tasa metabólica en 1met, observariamos que los puntos que definen las situaciones registradas se sitúan en el centro de las zonas de confort proporcionando porcentajes de malestar mínimos.

Si en el lado contrario tenemos en cuenta una vestimenta posible en mujeres que se trate de ropa interior, falda por la rodilla, blusa sin mangas y sandalias, el aislamiento se reduce hasta 0,36 clo. Entonces los vestíbulos resultan: fresco (ligeramente frío), el de la *Maison du Brésil* con un 38% de personas fuera del área de confort y frío el de la *Fondation Suisse* con un 61% de personas que opinarían que no es un espacio en el que se encuentren confortables térmicamente. (Fig. FE.3.35)

Si en esta ocasión volvemos a tener en cuenta el horario de apertura de las residencias y calculamos las medias de temperatura en esa franja del verano, las medias de temperaturas secas aumentan y las radiantes se reducen. Manteniendo los factores como en el apartado anterior (1,2 met y 0,5 clo) entonces, las variaciones sobre los índices PMV y PPD son mínimas, pero existentes (fig.

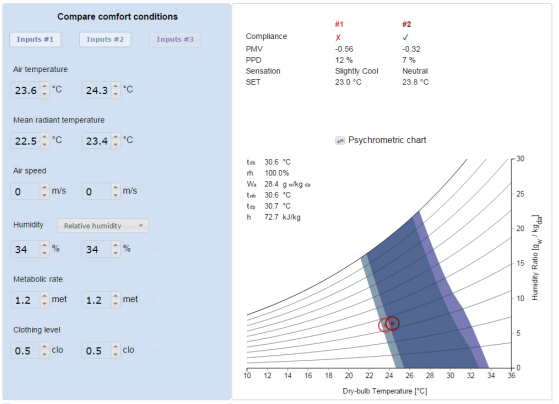


Figura FE.3.36. Comparativa confort. Vestíbulos - verano.
Factores estándar: 1,2 met; 0,5 clo. Periodo diurno (10:00 h - 18:00 h)

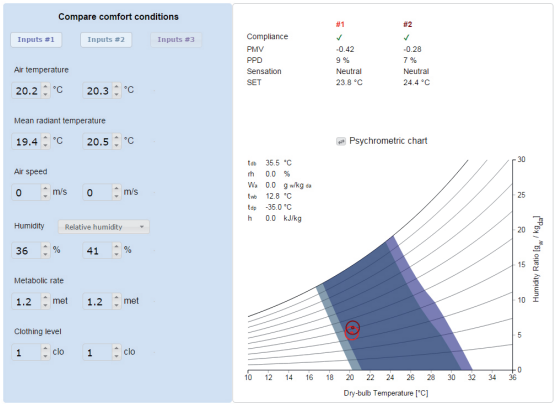


Figura FE.3.37. Comparativa confort. Habitaciones - invierno.
Factores de confort estándar: 1,2 met; 1 clo

FE.3.36). No existe cambio de clasificación de categoría o de cumplimiento, pero esto se debe a las pequeñas diferencias de temperaturas y en el caso de que fueran mayores, debería de considerarse estudiar el confort en periodos separados día-noche o en función de los regímenes de utilización.

Es posible ampliar las conclusiones repitiendo todo este discurso en las habitaciones. Una reducción de la tasa metabólica de 1,2 met a 1 met, algo que es todavía más lógico en una estancia privada de descanso como una habitación de residencia pública en la que es raro que el ocupante realice labores de limpieza, tenemos que ninguna de las dos residencias cumple con los estándares de confort en invierno con porcentajes de personas fuera de la zona de confort cercanos al 20%, incluso con la calefacción en funcionamiento (fig. FE.3.38).

Si además atendemos a las diferencias culturales y representamos el hecho de que las personas provenientes de Brasil tienen costumbre de vestir poco abrigados en sus viviendas, tendríamos que reducir el aislamiento de la ropa hasta 0,5 clo. Obviamente esta situación es completamente hipotética puesto

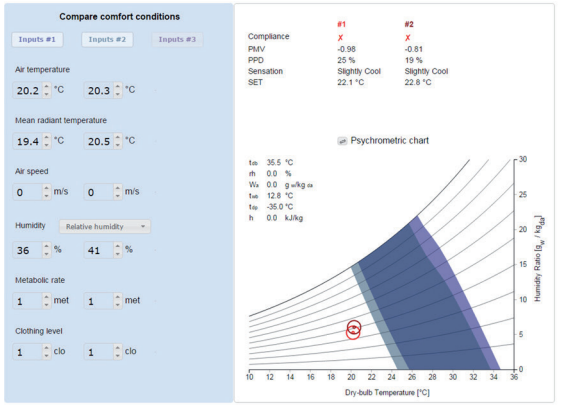


Figura FE.3.38. Comparativa confort. Habitaciones - invierno
Factores de confort modificados: 1 met; 1 clo

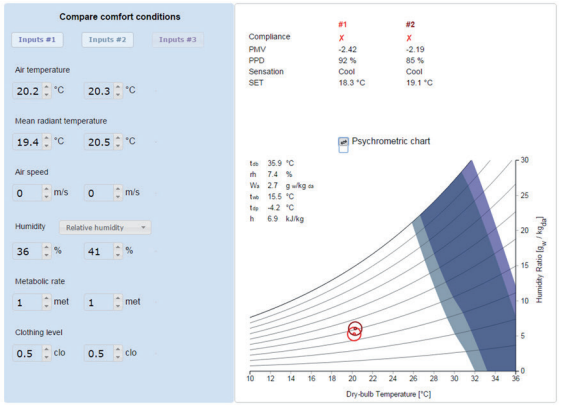


Figura FE.3.39. Comparativa confort. Habitaciones - invierno
Factores de confort modificados: 1 met; 0,5 clo

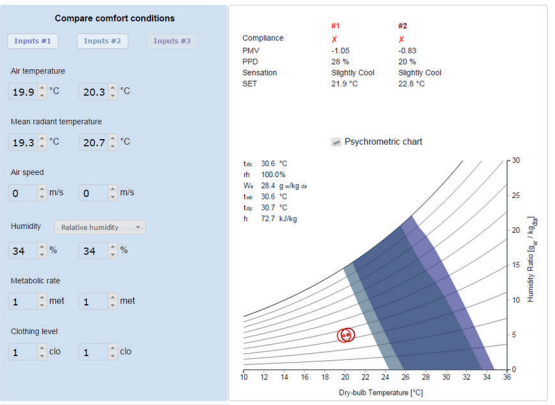


Figura FE.3.40. Comparativa confort. Habitaciones - invierno
Factores modificados: 1 met; 1 clo. Periodo nocturno (18:00 h-9:30 h)

que la gente actúa según sus necesidades (se abrigaran si tienen frío) pero nos permite esclarecer opiniones que más adelante repasaremos. En este caso (fig FE.3.39) los porcentajes del índice PPD se elevan hasta el 92% en la *Fondation Suisse* y 85% en la *Maison du Brésil*.

Por otro lado, utilizando sólo las temperaturas invernales de la tarde y la noche (de 18:00 h a 9:30 h), podemos estudiar de un modo más apropiado el confort en las habitaciones en su periodo lógico de utilización, al menos en los días laborables (fig FE.3.40). En este caso mantenemos la actividad definida por 1 met y retomamos un arropamiento de 1 clo; con ello la clasificación de sensaciones no varía notablemente. Si bien es cierto es lógico ya que, gracias a la calefacción, las temperaturas nocturnas interiores no se reducen excesivamente.

En verano, con 1met y 0,5 clo, tomando los registros del día completo (fig. FE.3.42), las variaciones de nuevo son notables e incluso la habitación de la *Fondation Suisse* resultaría algo fría y fuera de normativa.

Gracias a las conversaciones mantenidas con los residentes de los dos edificios, se conoce que existen periodos concretos en los que las habitaciones en verano, especialmente en los días de canícula resultan excesivamente calurosas. Habitualmente son periodos en los que no están en las habitaciones, pero los fines de semana, o una vez finalizado el periodo lectivo en el que muchos suelen quedarse estudiando en las habitaciones tienen verdadera sensación de incomodidad. Este hecho queda reflejado en la figura FE.3.43, en el que de un modo selectivo se han utilizado las medias de temperatura de periodos concretos del día. Para la *Fondation Suisse* se han extraído los registros del periodo comprendido entre las 16:30 h y las 18:30 h y para la *Maison du Brésil* entre las 9:00 h y las 11:00, que coinciden con las mayores incidencias solares en cada uno de los edificios.

Es destacable como analizando medias globales se pueden obviar problemas concretos que numéricamente no tienen gran peso específico pero que influyen

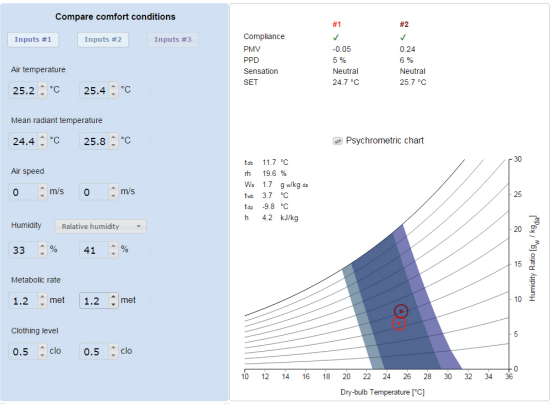


Figura FE.3.41. Comparativa confort. Habitaciones - verano
Factores de confort estándar: 1,2 met; 0,5 clo

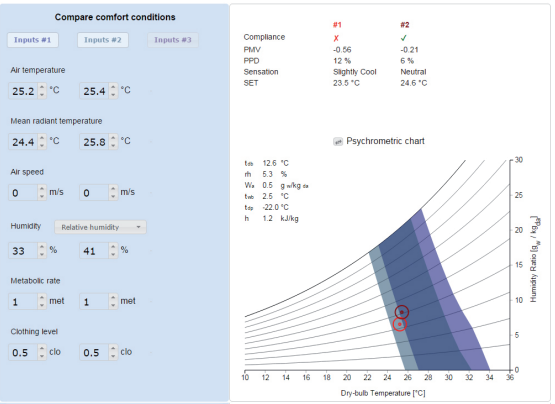


Figura FE.3.42. Comparativa confort. Habitaciones - verano
Factores de confort modificados: 1 met; 0,5 clo

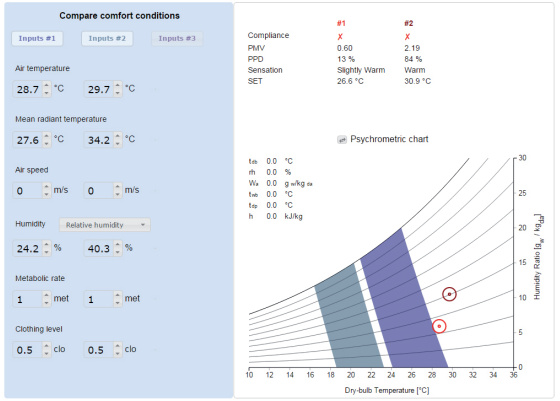


Figura FE.3.43. Comparativa confort. Habitaciones - verano.
Factores de confort modificados: 1 met; 0,5 clo. Periodos seleccionado:
Fondation Suisse diurno* (16:30 h - 18:30 h)
Maison du Brésil diurno* (9:00 h - 11:00 h)

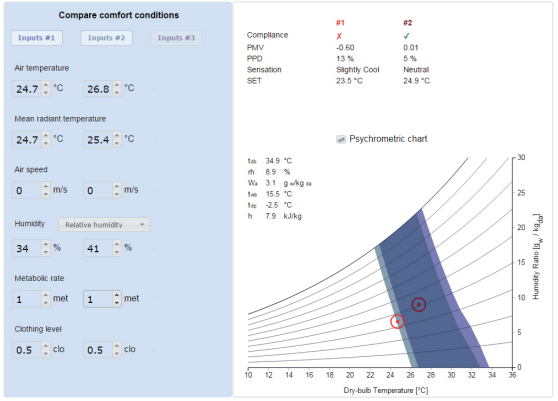
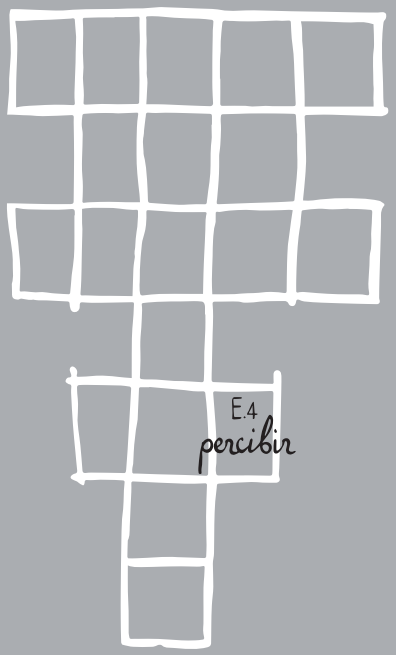


Figura FE.3.44. Comparativa confort. Habitaciones - verano.
Factores de confort modificados: 1 met; 0,5 clo. Periodo nocturno (18:00 h - 9:30 h)

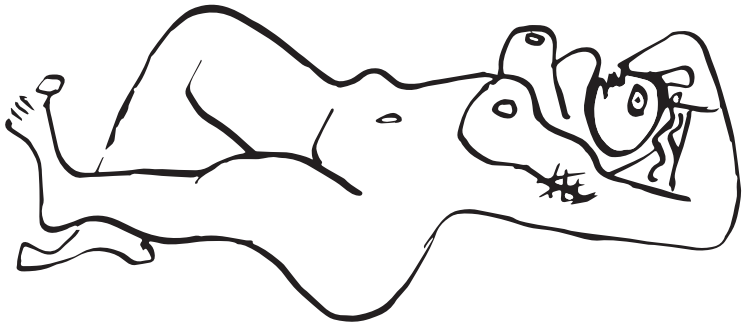
notablemente en la percepción global del confort de los usuarios puesto que muchos de ellos lo nombraron en la conversaciones.

Finalmente, pensando en la actividad básica de las habitaciones que es la estancia de tarde y nocturna para el sueño, se analiza el confort entre las 18:00 h y las 9:30 h. Para esta franja, las habitaciones son aceptables, con las de la *Fondation Suisse* en el límite inferior del confort que hace clasificarlas dentro de la categoría ligeramente frescas. (Fig. FE.3.44)

E.4
caractères



E.4
percibir



E.4. Edificio percibido - Encuestas

E.4.1. Metodología

Gran parte de la investigación que se realiza hoy en día en el ámbito arquitectónico tiene que ver con la percepción de los usuarios. La concepción del edificio como un "producto" del que se hace uso y por tanto puede ser optimizado para mejorar la satisfacción ha hecho que se apliquen metodologías implementadas en la industria del consumo como puede ser el Método Kansei.

La finalidad de esta metodología de estudio estadístico es traducir en elementos de diseño los sentimientos e imágenes que un usuario tiene de un producto para así crear nuevos u optimizar existentes que satisfagan sus necesidades relacionando elementos de diseño con las percepciones que provocan (Page, Porcar et al. 2011).

El desarrollo de esta temática se evidencia a través de los múltiples trabajos de investigación y académicos que a través del *LabHuman* de la Universitat Politècnica de València se están realizando.[260]

Para el estudio perceptivo que se ha realizado en esta tesis inicialmente se planteó la posibilidad de realizar el estudio en base al Método Kansei, pero finalmente por cuestiones técnicas, logísticas y temporales se decidió hacer un estudio basado en escalas de juicio subjetivo que permitían una realización completa a través de internet mediante la herramienta *Google Forms*. Este método de análisis estadístico del confort se encuentra, además, avalado por una normativa internacional como la UNE-EN ISO 10551. *Ergonomía del ambiente térmico. Evaluación de la influencia del ambiente térmico empleando escalas de juicio subjetivo*.

Uno de los objetivos de la normativa, tal y como indica en su introducción, es el establecimiento de métodos de evaluación de la sobrecarga térmica en ambientes calurosos, fríos y templados. Se reconoce el hecho de que a través de los índices de determinación del grado de confort (PMV, PPD, SET, To y otros) se pueden predecir situaciones medias y generales pero que no siempre representan la particularidad de la realidad. Ejemplos de esta particularidad que cita la normativa son las heterogeneidades espaciales, las diferencias locales, las fluctuaciones temporales, las ropas, las características individuales, etc. Por ello se hace necesario complementar los valores calculados mediante modelos predictivos con la experiencia directa del usuario.

Por tanto la situación concreta de las dos residencias (*Fondation Suisse y Maison du Brésil*) es completamente apropiada para realizar un estudio desde este planteamiento. Especialmente si tenemos en cuenta que los residentes son en una amplia mayoría, mínimo de un 80%[261], de nacionalidades diferentes a la francesa y, por tanto, personas que con toda probabilidad tienen percepciones distintas del confort influidas por la cultura, el clima de sus países de origen y otras cuestiones de ámbito sociológico.

260. Existe una serie de trabajos finales de grado sobre confort en las diferentes bibliotecas de la universidad, así como tesis doctorales y proyectos de investigación.

261. Por normativa interna de la CIUP, en todas las residencias, el 80% de los estudiantes deben ser del país al que pertenece la residencia. El 20% restante puede ser de cualquier nacionalidad incluida la francesa.

La UNE-EN ISO 10551 recoge cinco tipos de escalas de juicio que se pueden utilizar para la determinación de los aspectos subjetivos del confort o estrés térmico:

- Escalas de percepción térmica
- Escalas de confort térmico
- Escalas de preferencia térmica
- Expresión de la aceptabilidad
- Escala de tolerancia

La implementación de todas ellas hubiera supuesto la realización de un estudio profundo y muy interesante que por otra parte presenta un problema, el tiempo de realización. Hay que resaltar que se estableció como objetivo principal de este estudio obtener el mayor número de respuestas posibles para conformar una muestra representativa de cada uno de los edificios. Con esta finalidad y para evitar el abandono de la encuesta a mitad de su realización se marcó un tiempo máximo de realización de tres minutos y después de realizar pruebas con diferentes personas se estableció el número máximo de pantallas en cuatro.

Así, se decidió utilizar únicamente las escalas de confort térmico[262]. La encuesta se conformó con dos pantallas de datos generales sobre la habitación y el encuestado y dos pantallas de cuestionario, la primera sobre la habitación y la segunda sobre los espacios comunes del edificio, incluido el vestíbulo que se ha estudiado y monitorizado en detalle.[263]

Todas las preguntas hacen referencia a la palabra confort en diferentes espacios, para diferentes actividades y en tres niveles: térmico, lumínico y global. La respuesta es cerrada en base a una escala simétrica, tal y como recomienda la normativa, en la que se incluyeron 5 valores (ver tabla TE.4.01).

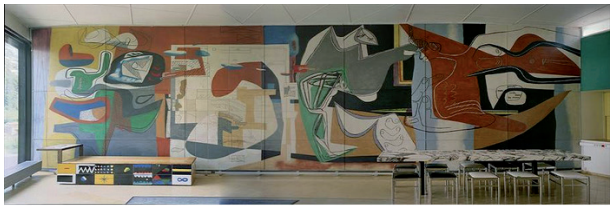
El estudio de respuestas se ha realizado en base a medias y porcentajes de respuesta. Las medias nos permiten comparar con el índice de voto medio

ESCALA DE VALORACIÓN		
NUMÉRICA	**SEMÁNTICA**	**TRADUCCIÓN**
1	Pas comfortable	Nada confortable
2	Peu comfortable	Poco confortable
3	Indifférent	Indiferente
4	Confortable	Confortable
5	Très confortable	Muy confortable

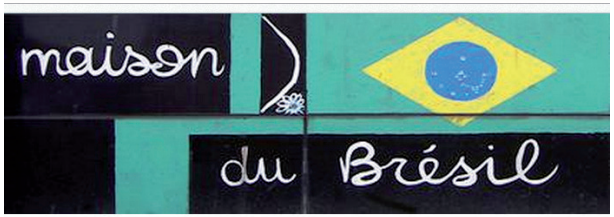
Tabla TE.4.01. Escala de valoración de juicio subjetivo

262. Se incluyó el confort térmico por la influencia que tiene sobre la percepción del espacio y de la temperatura.

263. El aspecto y presentación de la encuesta, así como las tablas de respuesta se pueden consultar en el anexo de esta tesis.



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA FONDATION SUISSE



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA MAISON DU BRÈSIL

Fig. FE.4.01. Encabezado de las encuestas realizadas a través de aplicación informática

previsto, PMV, que se expresa de este mismo modo y los porcentajes con el índice de porcentaje previsto de personas insatisfechas, PPD.

Además se utiliza la pregunta sobre el confort global para calibrar el resto de respuestas. Habitualmente, como veremos, el análisis detallado de diferentes aspectos suele ser más crítico que la valoración global y por tanto se comparan para ver la desviación media.

E.4.2. Resultados

Los resultados de los cuestionarios se ordenan en 17 fichas en las que se contraponen los resultados de los diferentes espacios (habitaciones y espacios comunes) de los dos edificios para poder comprobar las variaciones del confort según las diferencias de opinión de los ocupantes.

Las muestras de población de los cuestionarios se recogen en la tabla TE.4.02. Se ha estimado que al haber obtenido resultados de más del 50% de ocupantes en todos los casos, las conclusiones son válidas[264]. Se han eliminado las respuestas de aquellos ocupantes que en el momento de realizar la encuesta no habían estado al menos tres meses viviendo en las residencias para evitar posibles desviaciones de opinión relacionadas con estancias cortas.

Para el cómputo de los días de estancia media se ha eliminado este valor de la fórmula de cálculo de las encuestas realizadas por los trabajadores de las residencias.

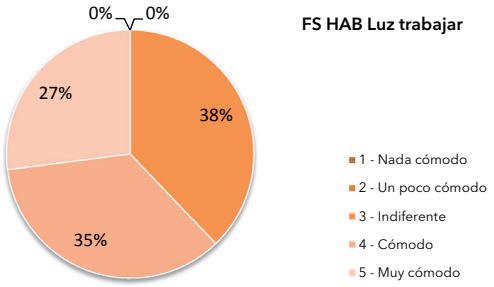
264.La *Fondation Suisse* dispone de 45 habitaciones (todas individuales) y la *Maison du Brésil* de 100 (78 individuales y 22 dobles)

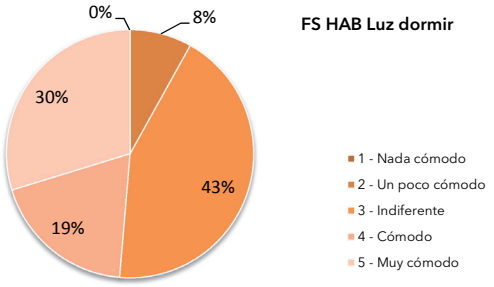
	POBLACIÓN INVIERNO	HOMBRES	MUJERES	MEDIA DÍAS DE ESTANCIA	EDAD MEDIA	POBLACIÓN VERANO	HOMBRES	MUJERES	MEDIA DÍAS DE ESTANCIA	EDAD MEDIA
FS	37	11	26	468	29,9	42	11	31	233	30,06
MdB	59	28	31	332	33,96	76	44	32	335	34,36
TOTALES	96	39	57	400	31,93	118	55	63	284	32,21

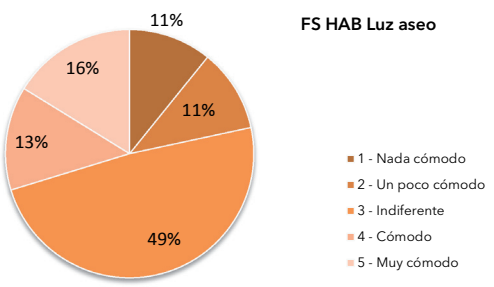
	POBLACIÓN	HOMBRES	MUJERES	MEDIA DÍAS DE ESTANCIA	EDAD MEDIA
GLOBAL	214	94	120	201	32,07

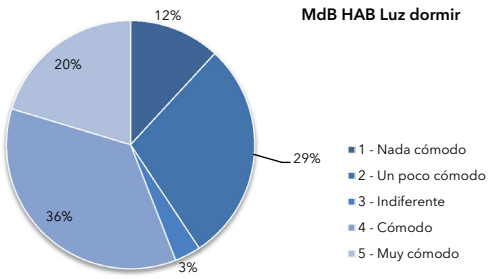
Tabla TE.4.02. Características de la población expresadas por periodo y globalmente

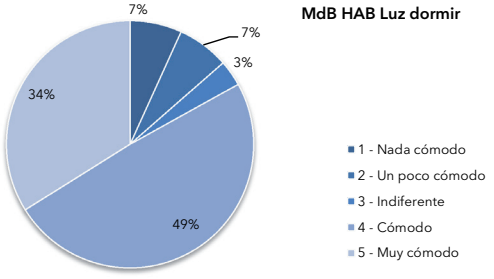
FICHAS DE ANÁLISIS

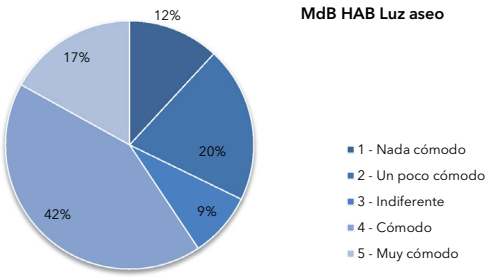


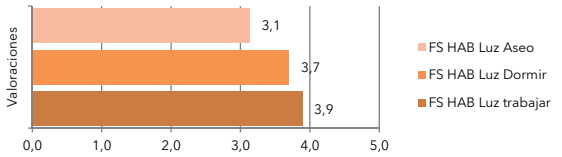


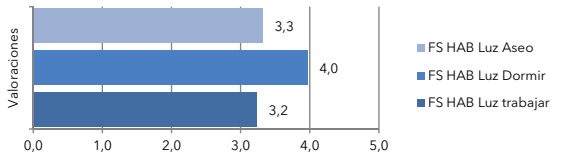








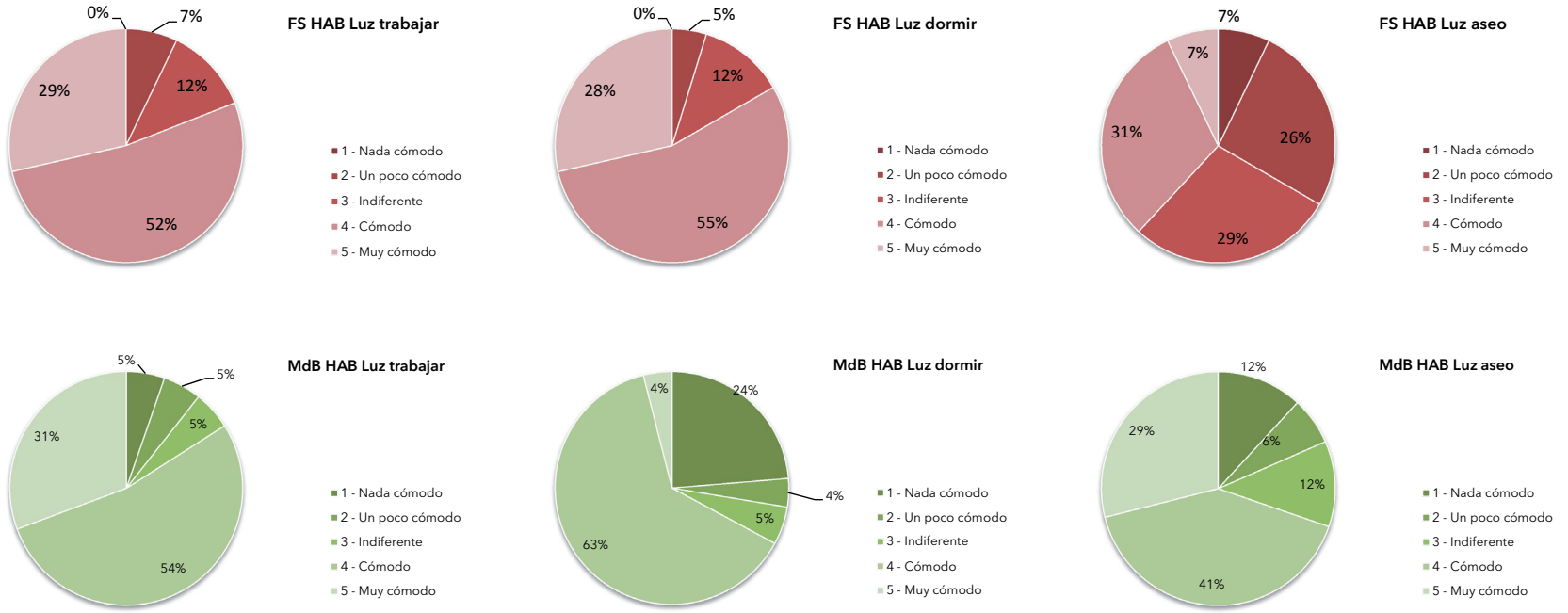




CONFORT LUMÍNICO - HABITACIONES INVIERNO

Se observa un predominio de la respuesta "indiferente" (43% de media) para las tres actividades en la *Fondation Suisse*, aunque para la actividad "trabajar" la opinión queda dividida prácticamente en tres partes iguales en los tres valores superiores de la tabla.

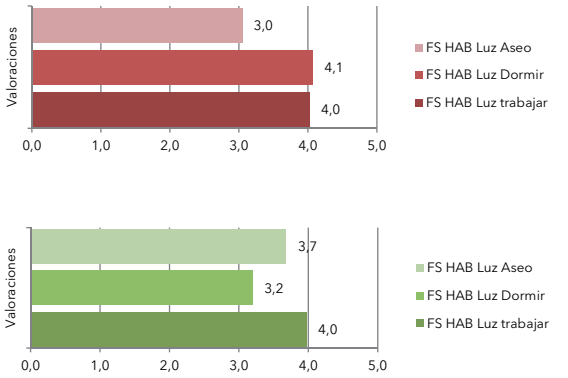
Por el contrario en la *Maison du Brésil* las opiniones divergen. La respuesta "indiferente" ha resultado con porcentajes inferiores al 3% y las personas se han dividido entre "poco cómodo", con el 18% de los votos, y "cómodo", que acumula de media el 42% de los votos. Destaca que para la actividad "dormir" el 83% de las personas han opinado que la luz es "cómoda" o "muy cómoda".

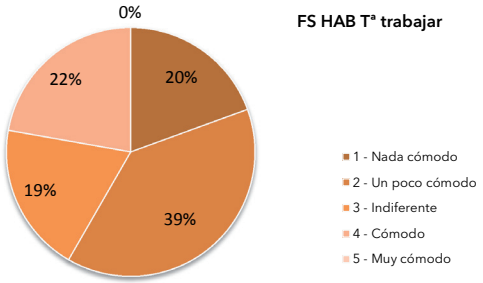


CONFORT LUMÍNICO - HABITACIONES VERANO

La habitación resulta "cómoda" o "muy cómoda" para "dormir" y "trabajar" para el 82% de los encuestados en la *Fondation Suisse*. En este caso para el "aseo" la opinión se reparte a partes iguales en la mitad superior de la calificación.

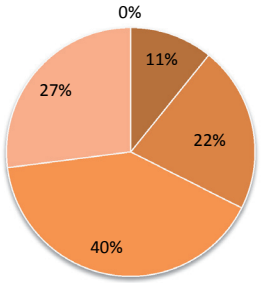
Existe un predominio de la respuesta "cómodo" en la *Maison du Brésil* para las tres actividades, aunque un 24% de las personas opina que la habitación es "nada cómoda" para "dormir". Este hecho puede deberse a la incidencia solar directa a primera hora de la mañana debido a la orientación del bloque de habitaciones.





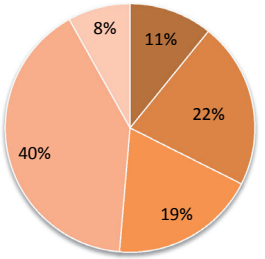
FS HAB Tª trabajar

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



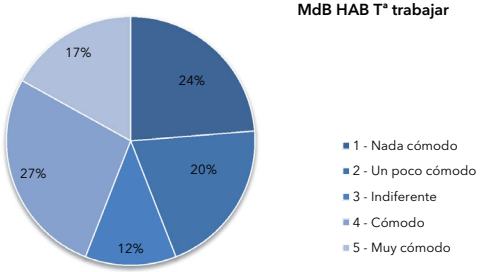
FS HAB Tª dormir

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



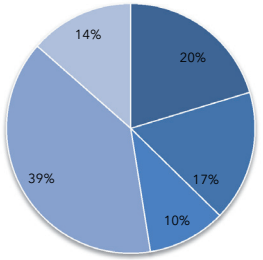
FS HAB T° aseo

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



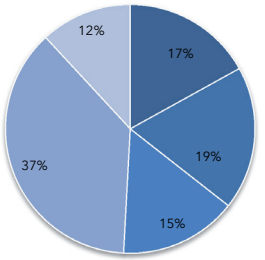
MdB HAB Tª trabajar

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



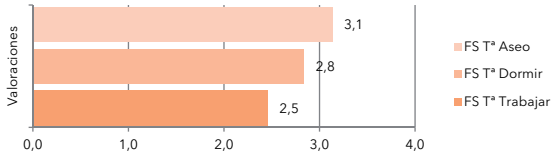
MdB HAB Tª dormir

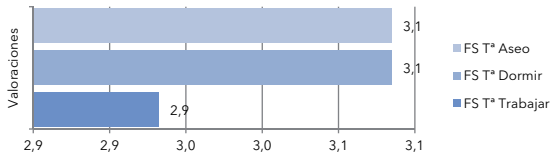
- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



MdB HAB Tª aseo

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo

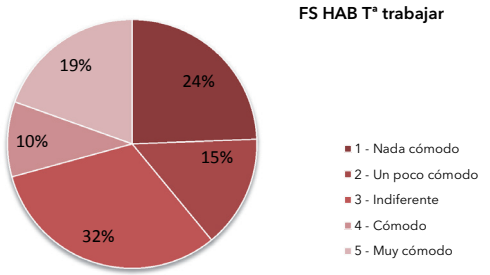


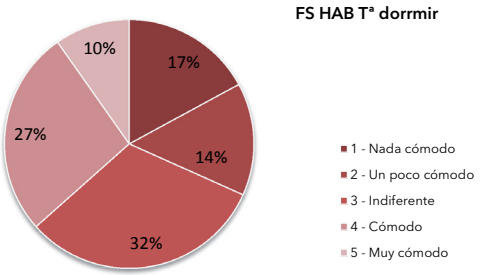


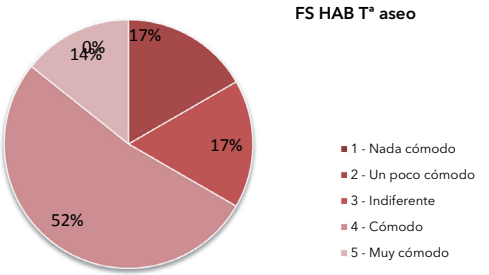
CONFORT TÉRMICO - HABITACIONES INVIERNO

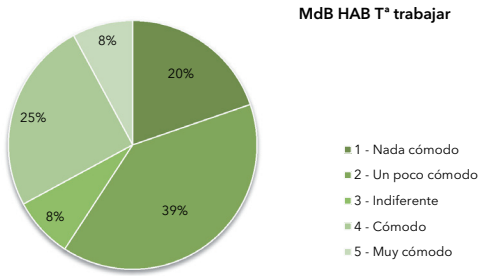
En la residencia suiza un 40% de personas piensan que la temperatura es "muy cómoda" para el "aseo", "indiferente" para "dormir" pero "poco cómoda" para "trabajar". Opinan que cerca de la ventana se nota el efecto de pared fría en los días con temperatura muy reducida, especialmente a última hora del día.

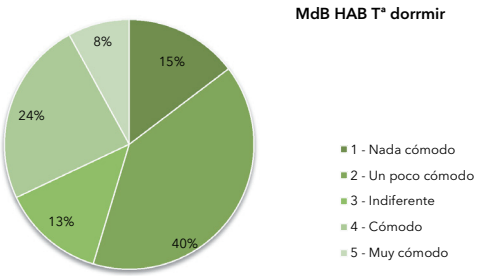
En la brasileña, a pesar de que las opiniones están divididas, la respuesta predominante en los tres casos, con porcentaje de media 35%, es que la temperatura en invierno es "cómoda". Aun así, las respuestas "nada cómodo" y "poco cómodo" acumulan el 40% de las respuestas de media.

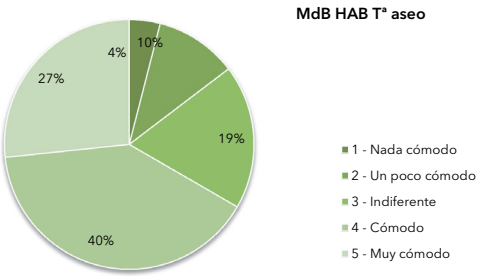






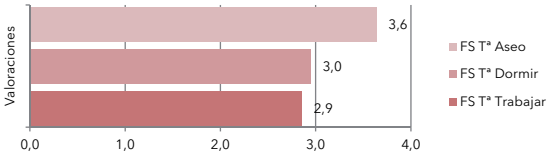


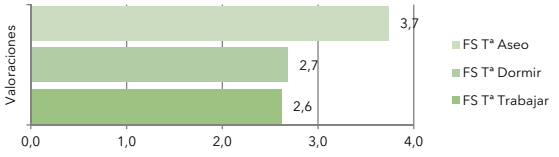


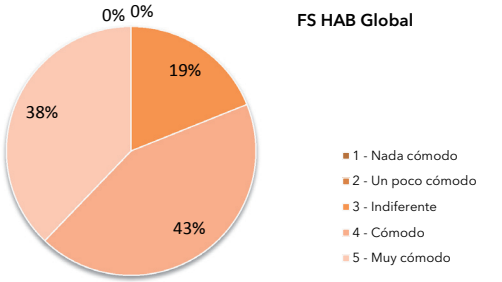


CONFORT TÉRMICO - HABITACIONES VERANO

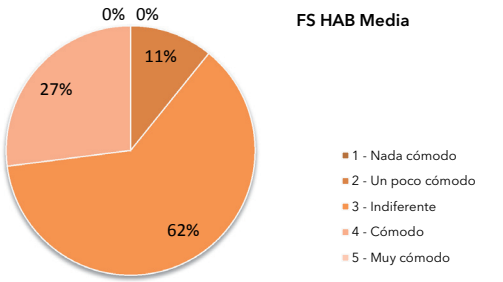
Para el "aseo" la habitación de la *Fondation Suisse* en verano tiene una temperatura "muy cómoda" para el 52% de los encuestados. Para "dormir" y "trabajar" las respuestas se reparten; un 30% piensan que es "indiferente" y otro 30% piensan que es "nada cómoda" o "poco cómoda". Destaca el 24% de personas que opinan que la habitación es "poco cómoda" desde el punto de vista térmico para "trabajar". El patrón es exactamente igual en la *Maison du Brésil*, en este caso tiene predominancia la respuesta "poco cómodo" (40%) para la temperatura para "trabajar" y "dormir". Así se evidencian los problemas estivales de sobrecalentamiento en el interior de las habitaciones.



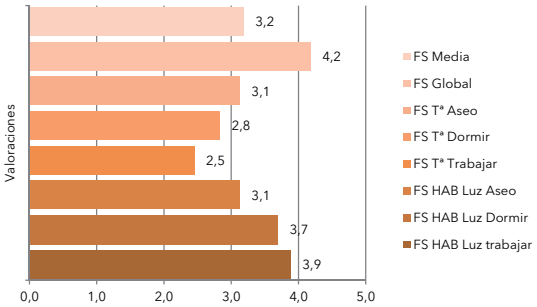


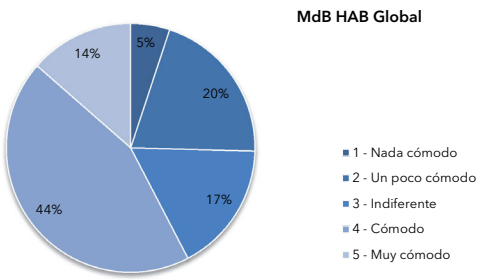


FS HAB Global

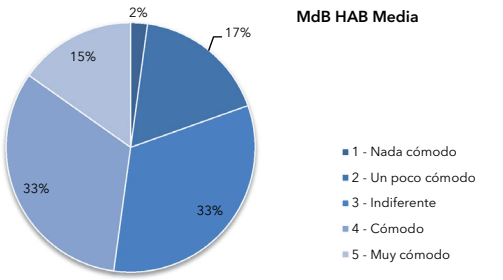


FS HAB Media

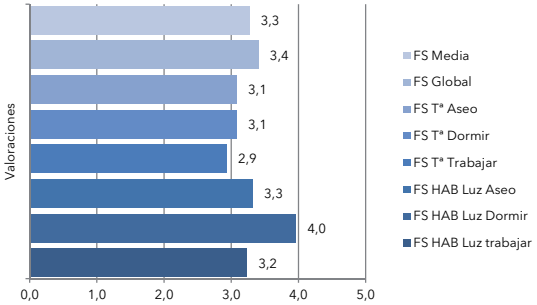




MdB HAB Global

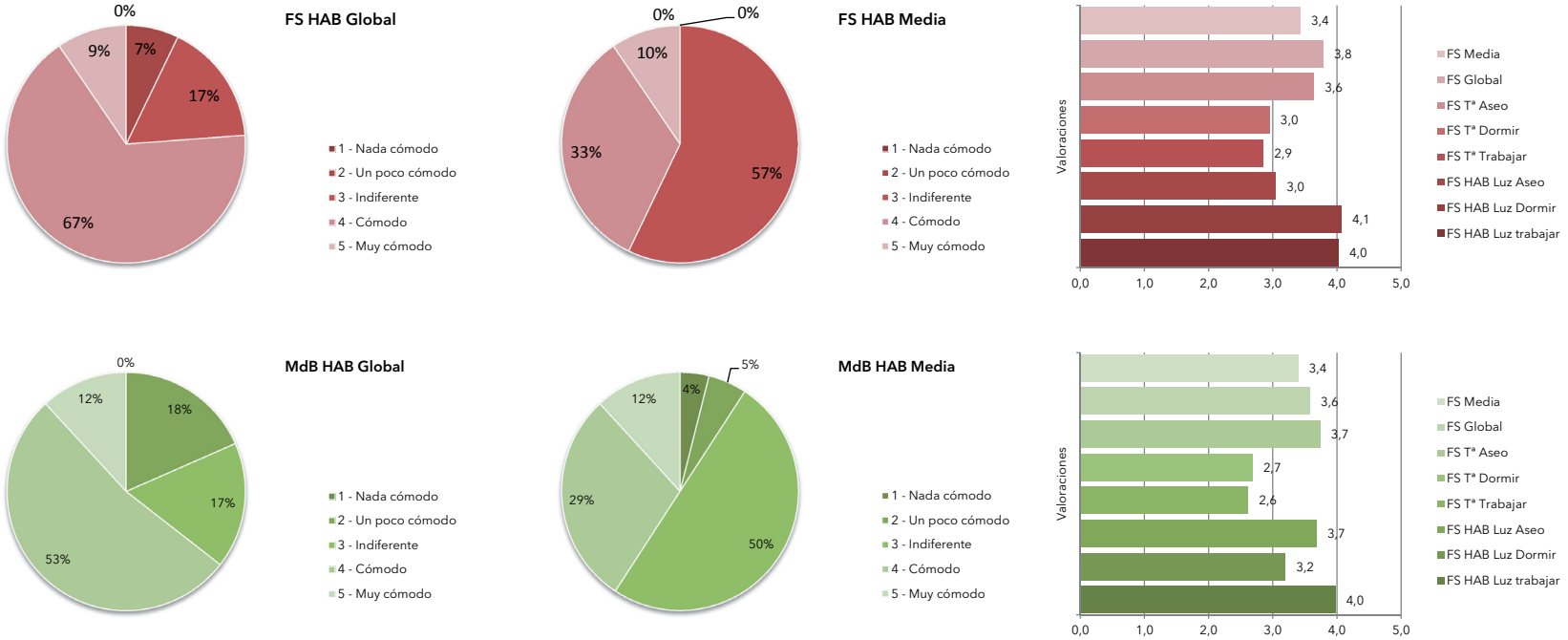


MdB HAB Media



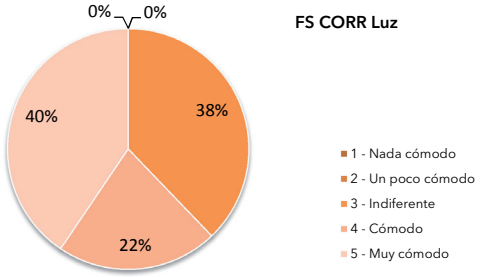
CONFORT GLOBAL - HABITACIONES INVIERNO

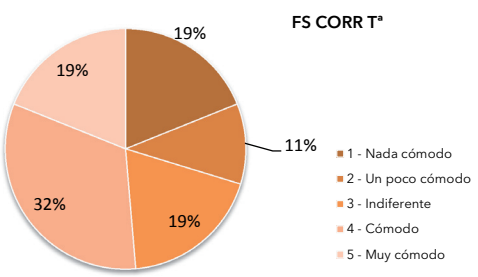
El dato destacable es que la media global otorgada por los residentes, preguntados por este dato, siempre es superior a la media obtenida en base a sus respuestas. En la *Fondation Suisse* el 81% opinan que la habitación es "cómoda" o "muy cómoda", pero si obtenemos las medias, el 62% queda en "indiferente", el 27% en "cómodo" y se obtienen cero respuestas de "muy cómodo". En la *Maison du Brésil* la opinión mayoritaria es que la habitación es "cómoda" (44%) pero en las medias se reparte entre 33% para "cómodo" y 33% para "indiferente". En este caso un 5% de las personas han opinado que la habitación es "nada cómoda" en invierno.

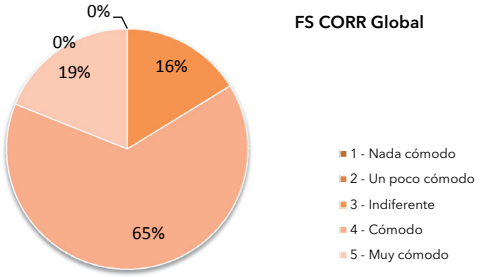


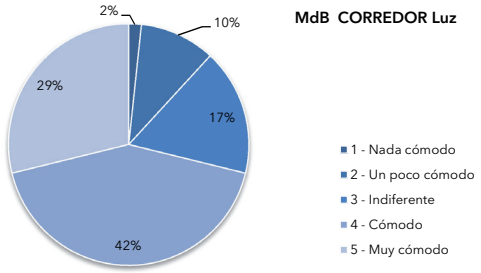
CONFORT GLOBAL - HABITACIONES VERANO

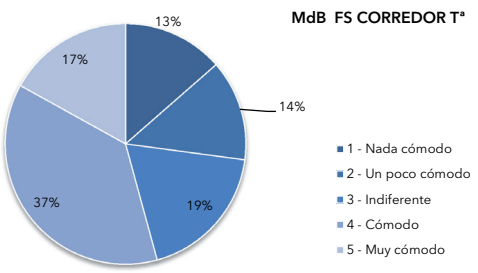
Se repite la percepción global mejor que la media de las opiniones. En la *Fondation Suisse* el 67% creen que la habitación es "cómoda" mientras que en la media es el 33% y pasa a ser mayoritaria la respuesta "indiferente" con un 57% de los votos. En la *Maison du Brésil* ocurre exactamente lo mismo. Globalmente el 53% opinan que la habitación es "cómoda" pero la media reduce este porcentaje a 29% y aumenta la respuesta "indiferente" hasta el 50%. Mientras en la calificación global nadie dijo que la habitación fuera "nada cómoda", en las medias aparece un 4%. Es destacable que en la opinión global un 18% opinaron que la habitación es "poco cómoda".

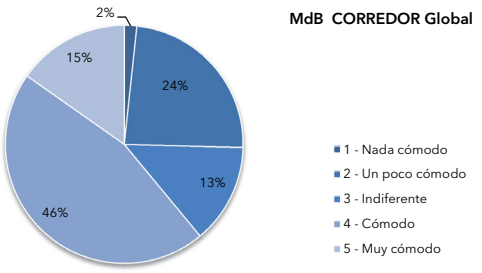








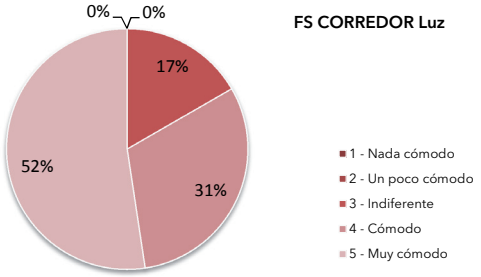




CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - CORREDOR INVIERNO

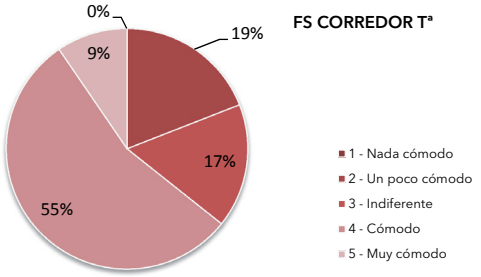
En la *Fondation Suisse* las respuestas para este espacio se encuentran repartidas homogéneamente. Es destacable el 19% de personas que opinan que térmicamente el corredor es "nada cómodo" en invierno. Aun así la opinión global expresada por un 65% es que es "cómodo".

En la *Maison du Brésil* este espacio es "cómodo" según las respuestas mayoritarias en todos los casos. De nuevo en 13% opinan que es "nada cómodo" desde el punto de vista de la temperatura y mientras que en el caso anterior nadie exponía problemas lumínicos (el corredor es exterior) en este caso un 12% creen que es "nada cómodo" o "poco cómodo" en términos lumínicos (el corredor es interior).



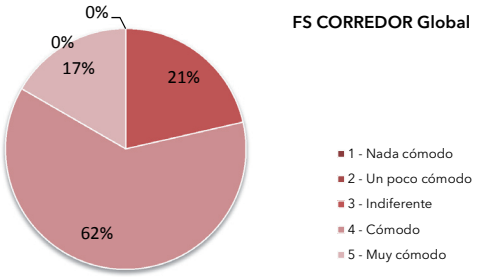
FS CORREDOR Luz

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



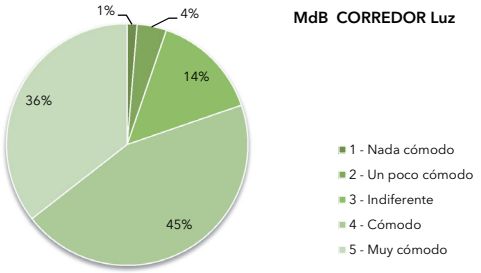
FS CORREDOR Tª

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



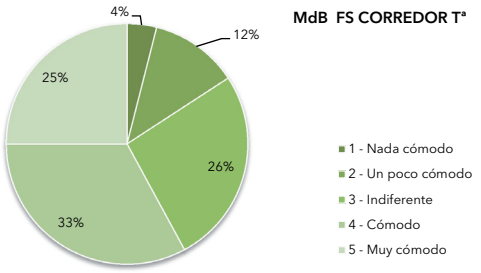
FS CORREDOR Global

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



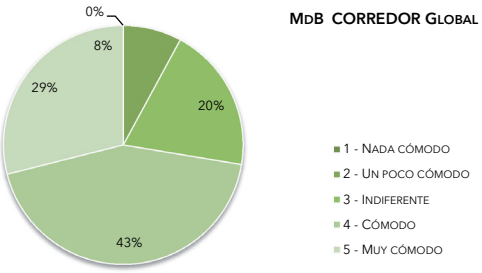
MdB CORREDOR Luz

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



MdB FS CORREDOR Tª

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo

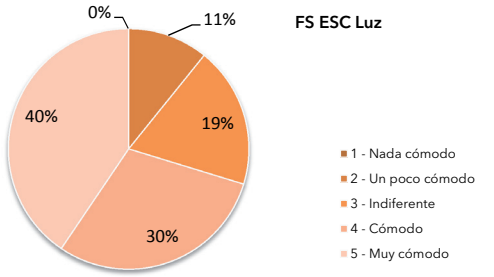


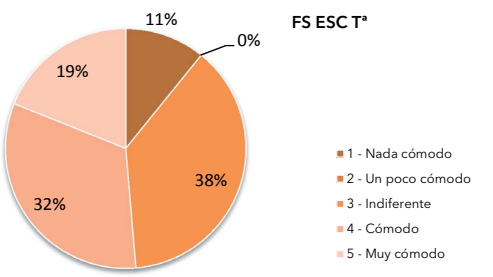
MdB CORREDOR Global

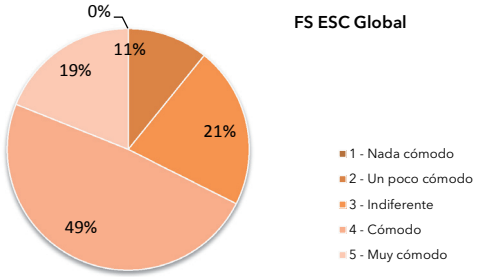
- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo

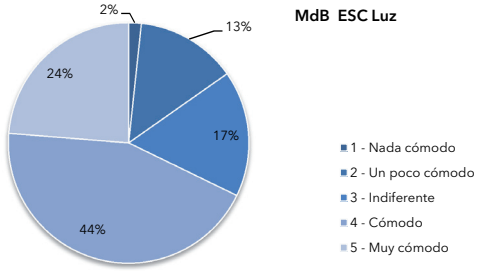
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - CORREDOR VERANO

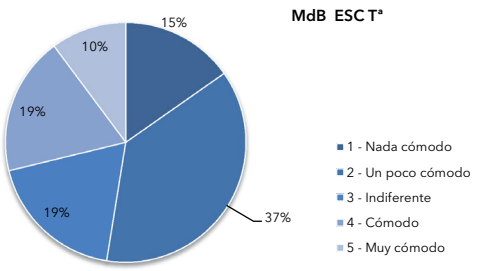
En verano para las dos residencias las opiniones se sitúan en las dos respuestas superiores de forma mayoritaria. Con medias cercanas al 65% el corredor es "cómodo" en los tres niveles evaluados: lumínico, térmico y globalmente. En cuanto a la temperatura en la *Fondation Suisse* un 19% de personas se decantan porque es "poco cómodo", indicando que incluso es fresco en esta época.

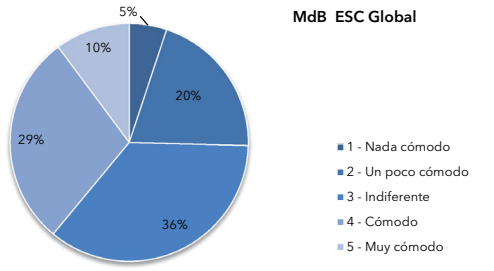








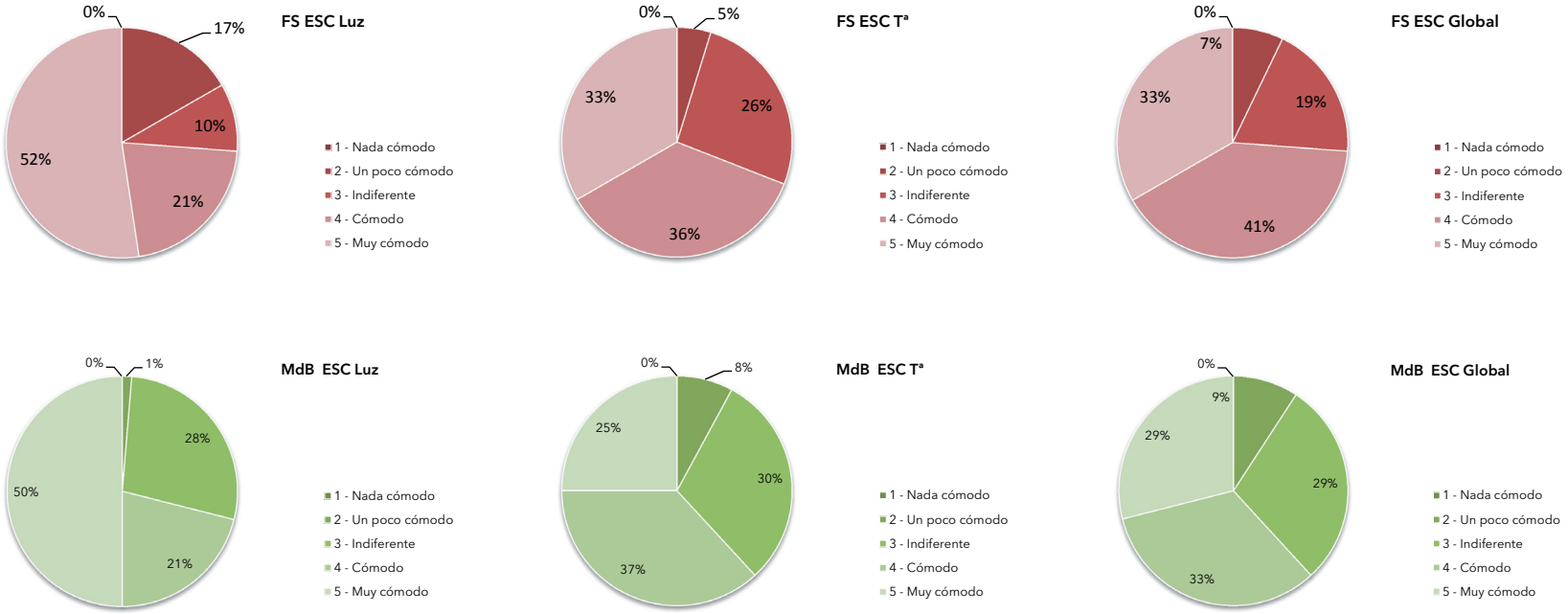




CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - ESCALERAS INVIERNO

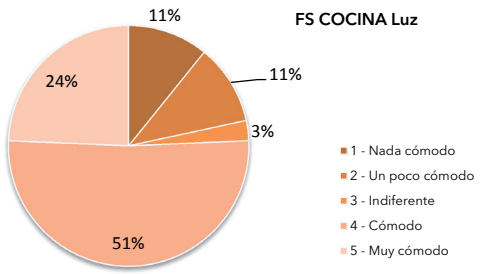
En la *Fondation Suisse* la opinión general es que las escaleras son "cómodas" o "muy cómodas" (medias cercanas al 70%) excepto en cuanto a la temperatura que más personas se decantan por la opción "indiferente" (38%) o incluso un 11% creen que son "nada cómodas" (por ser frías).

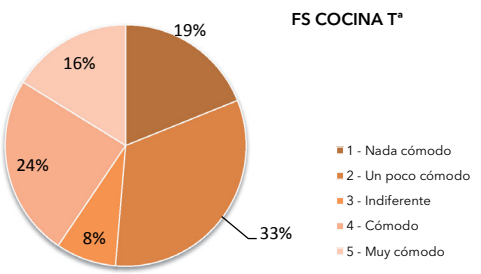
En la *Maison du Brésil*, en cuanto a la luz un 50% creen que son muy "cómodas" pero el porcentaje se reduce a la mitad en cuanto a temperatura y las respuestas "indiferente" y "cómodo" acumulan el 51% de los votos. Los encuestados admiten que son frías pero que son espacios de estancia muy corta.

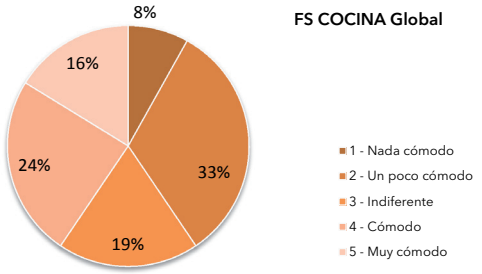


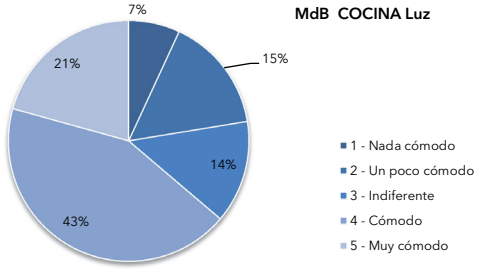
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - ESCALERAS VERANO

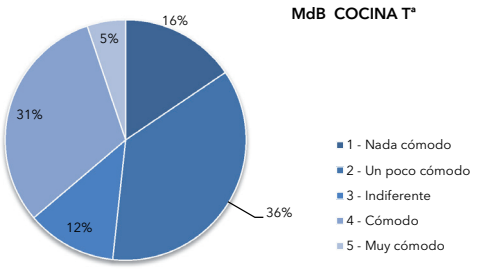
En verano estos espacios siguen siendo frescos, pero ahora la opinión vira hacia una concepción mejor puesto que es agradable que este espacio de paso tenga una temperatura menor en verano. Los dos escalones superiores de calificación acumulan, con pequeñas variaciones en función de la pregunta, porcentajes que oscilan entre el 62% y el 73%.

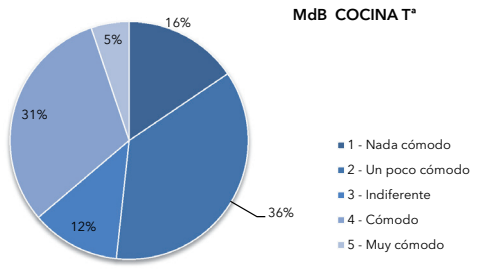






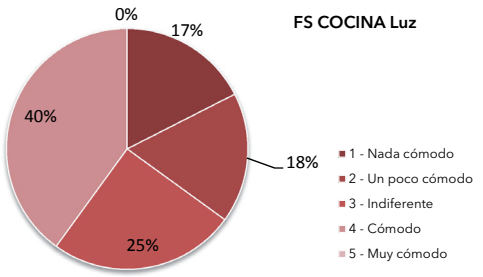


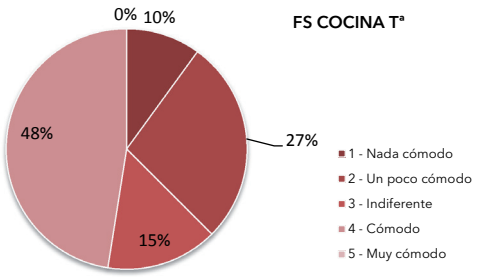


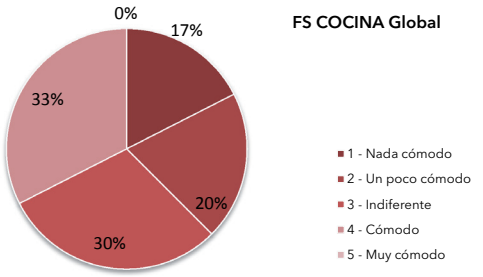


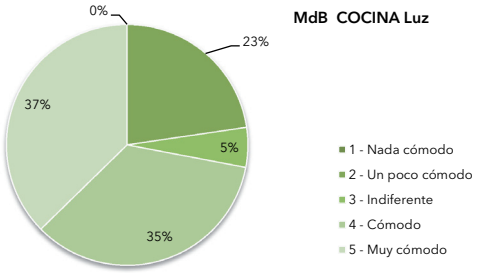
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - COCINAS INVIERNO

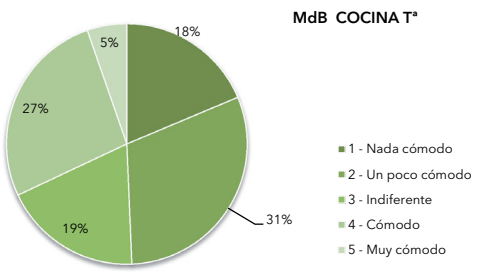
En la *Fondation Suisse* aunque en cuanto a luz un 51% opinan que las cocinas no presentan problemas, para temperatura y de modo global, un 52% y un 41% respectivamente creen que son "poco cómodas" o "nada cómodas". En la *Maison du Brésil* aunque la mayoría opinan que en cuanto a luz son "cómodas" (43%), en la temperatura mayoritariamente opinan que son "poco cómodas" o "nada cómodas" (36% y 16%). En general las opiniones vertidas en conversaciones durante las estancias es que este espacio no suele gustar a los residentes por dimensiones y temperatura aunque la opinión numérica vertida se reparte en porcentajes similares en el centro de la tabla.

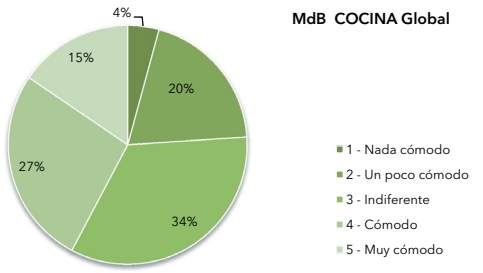








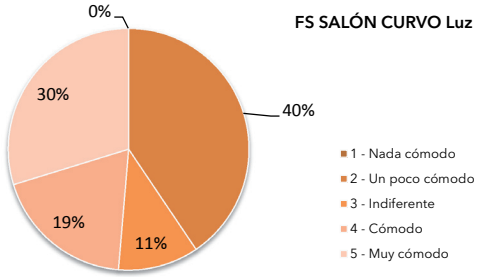


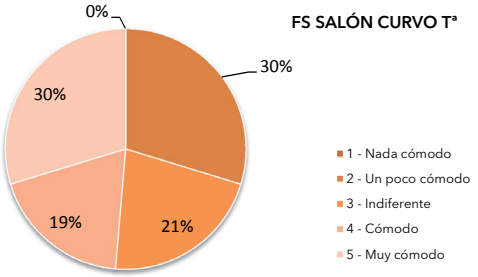


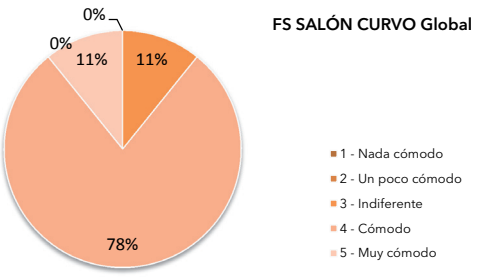
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - COCINAS VERANO

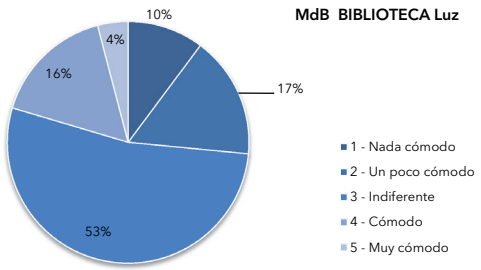
En verano las opiniones quedan muy diversificadas. En general, si sumamos los porcentajes de las respuestas "cómodo" y "muy cómodo" estamos cerca del 50% de los encuestados.

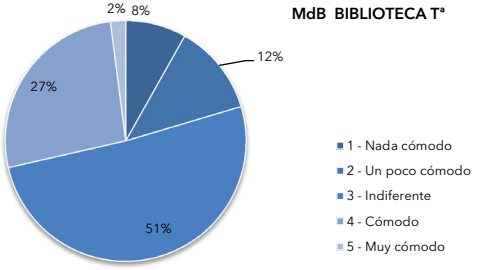
Destaca para la *Maison du Brésil* los porcentajes de "nada cómodo" para la luz y la temperatura de 23% y 18% respectivamente. El sol incide por la tarde en estos espacios muy acristalados y a la hora de la cena (19:00 h) la temperatura en el espacio puede llegar a ser alta y más teniendo en cuenta las cargas internas de la cocción y calentamiento de alimentos.

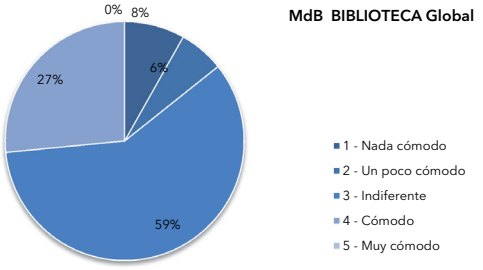










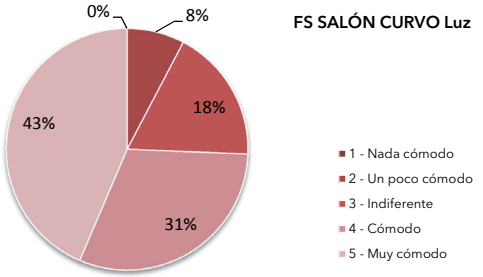


CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL

SALON COURBE/BIBLIOTECA INVIERNO

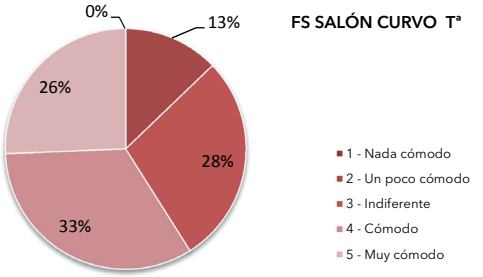
Un porcentaje elevado de personas opinan que la luz (40%) y la temperatura (30%) son "poco cómodas" en invierno para este espacio de la *Fondation Suisse*. Luego en la valoración global, casi por unanimidad se opina que es un espacio "cómodo" (78%).

En la *Maison du Brésil* el porcentaje mayoritario es para la opción "indiferente". Muchos encuestados indican que nunca han estado en la biblioteca o tan poco rato que les cuesta valorar.



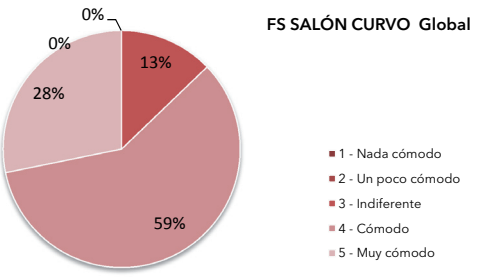
FS SALÓN CURVO Luz

1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo



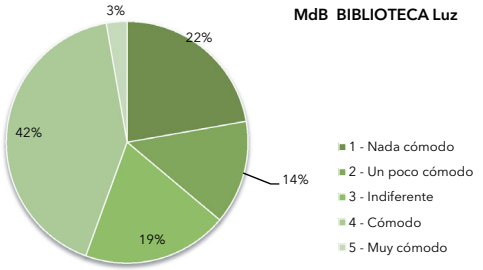
FS SALÓN CURVO Tª

1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo



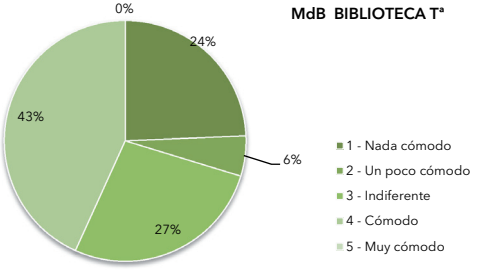
FS SALÓN CURVO Global

1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo



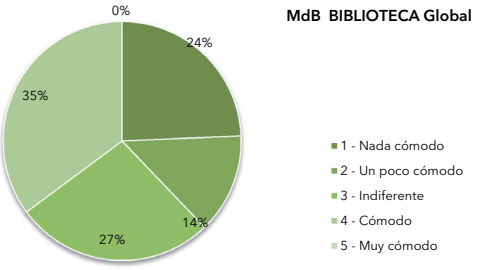
MdB BIBLIOTECA Luz

1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo



MdB BIBLIOTECA Tª

1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo



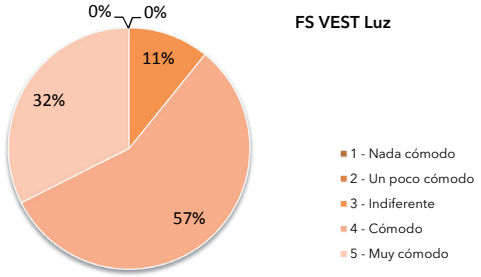
MdB BIBLIOTECA Global

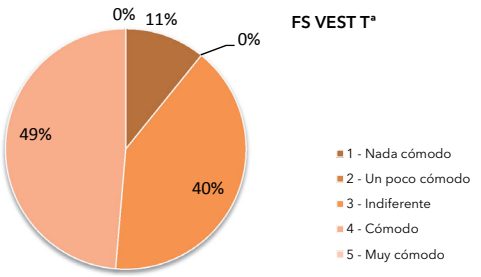
1 - Nada cómodo
2 - Un poco cómodo
3 - Indiferente
4 - Cómodo
5 - Muy cómodo

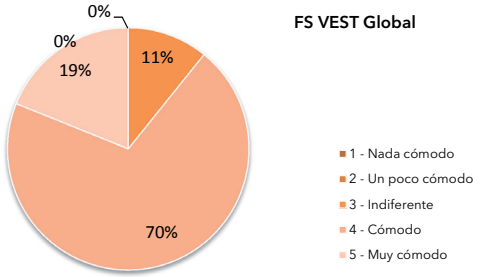
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL

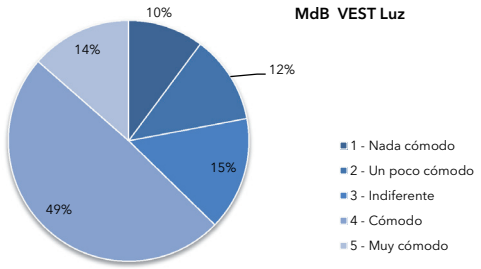
SALON COURBE/BIBLIOTECA VERANO

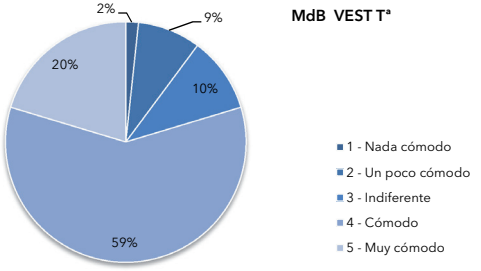
En la *Fondation Suisse* las respuestas se reparten, en su mayoría en la parte alta de la tabla. Finalmente la opinión global es que para un 87% de los residentes el espacio es "cómodo" o "muy cómodo" en verano. En la biblioteca de la *Maison du Brésil* de nuevo las respuestas "indiferente" destacan por la poca afluencia de personas. De hecho la bibliotecaria se queja habitualmente del poco número de personas que usa el servicio e incluso achaca este hecho a lo frío y sombrío del espacio. Aun así, porcentajes superiores al 40% opinan que es "cómoda" en cuanto a luz y temperatura y un 35% la dan una valoración global "cómodo".

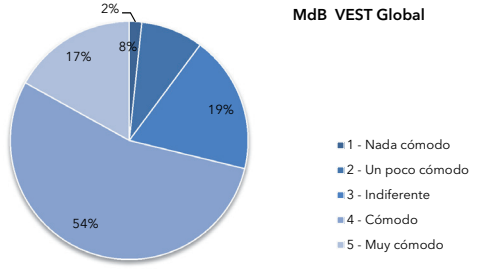


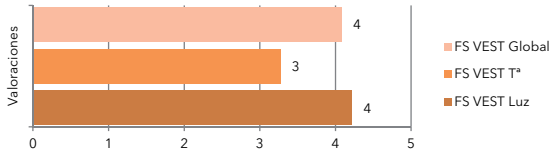


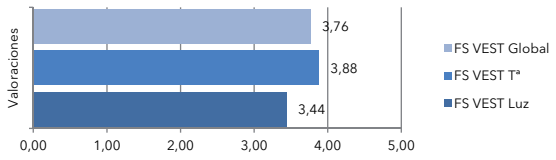








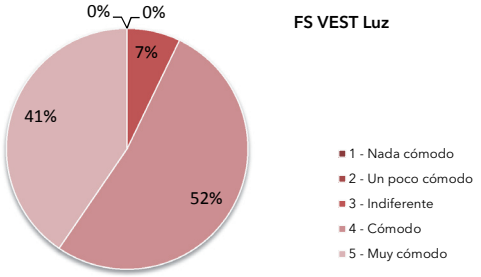




CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - VESTÍBULO INVIERNO

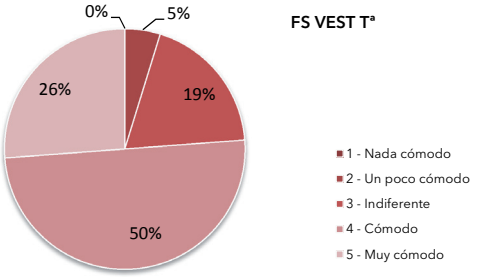
Para la mayoría de personas este es un espacio cómodo en los tres aspectos valorados (porcentajes superiores al 49%) en la *Fondation Suisse*. Destaca que según la percepción térmica un 40% se decantan por valorarlo "indiferente" y un 11% indican que es "nada cómodo".

En la *Maison du Brésil* en invierno la valoración es de las mejores en comparación. Porcentajes cercanos al 70% valoran el espacio como "cómodo" o "muy cómodo". Los registros de temperatura colocaban este espacio dentro de los límites inferiores de confort pero la radiación directa solar de la tarde hace que cuando esta incide sea un espacio agradable de estancia.



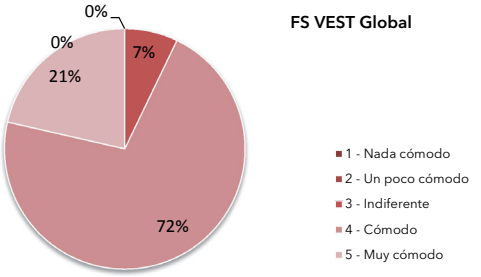
FS VEST Luz

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



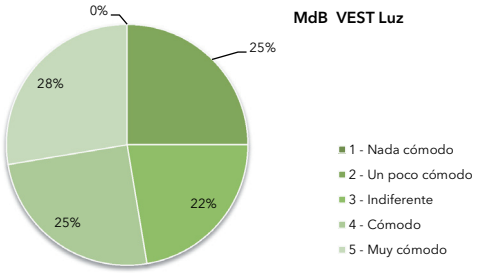
FS VEST Tª

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



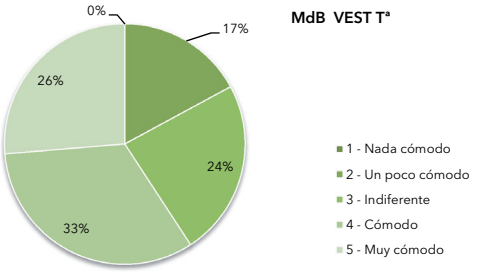
FS VEST Global

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



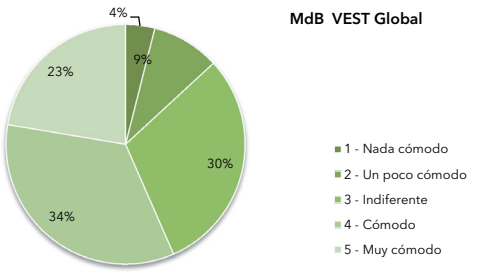
MdB VEST Luz

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



MdB VEST Tª

- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo



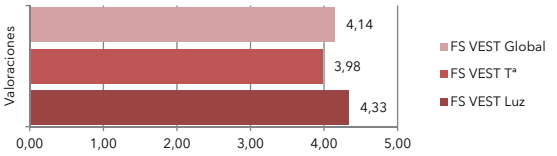
MdB VEST Global

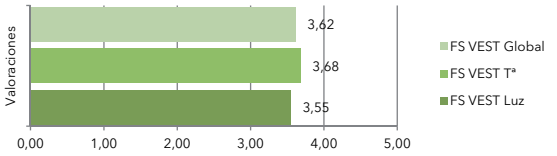
- 1 - Nada cómodo
- 2 - Un poco cómodo
- 3 - Indiferente
- 4 - Cómodo
- 5 - Muy cómodo

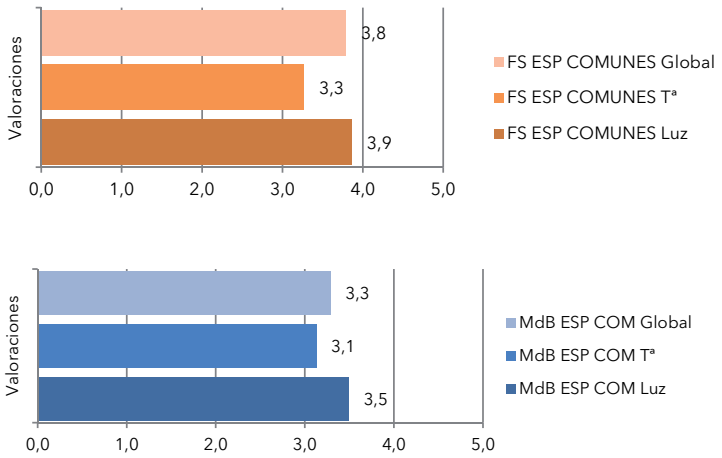
CONFORT LUMÍNICO, TÉRMICO Y GLOBAL - VESTÍBULO VERANO

La tendencia es clara en la residencia de Suiza. Globalmente un 93% de los encuestados opinan que el vestíbulo es "cómodo" o "muy cómodo". Este espacio que se mantiene bastante fresco en verano es agradable para los residentes.

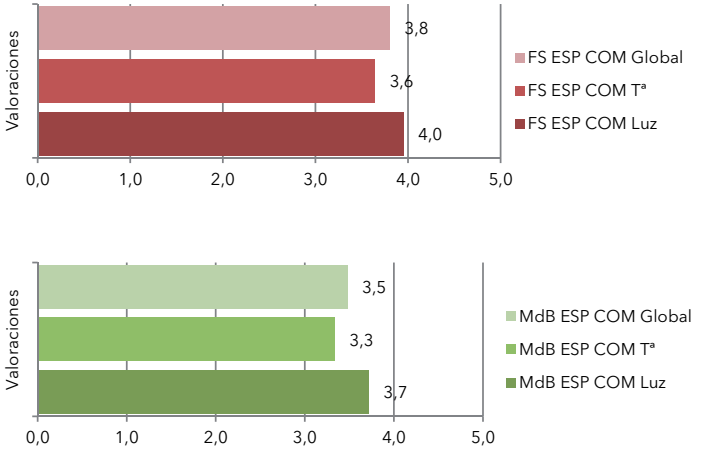
En la residencia de Brasil la dispersión es mayor y a excepción de un 4% que globalmente opinan que es "poco cómodo" el resto de porcentajes tienen valores parecidos con una ligera preeminencia de la valoración "cómodo". Las opiniones no son muy negativas, pero desde luego no es un espacio que se valore especialmente agradable, sobre todo para la estancia que es para lo que está pensado.







Resumen respuestas para los espacios comunes de las dos residnecias en periodo de invierno



Resumen respuestas para los espacios comunes de las dos residnecias en periodo de verano

RESUMEN ESPACIOS COMUNES

En la comparativa del resumen de las medias obtenidas se observa que la percepción global de los espacios comunes es mejor en la *Fondation Suisse* que en la *Maison du Brésil* para todos los parámetros tanto en invierno como en verano. Las diferencias no son excesivas pero sí reseñables, alrededor de un 15% mejores en la primera residencia.

Comparativamente las dos residencias obtienen mejores medias en verano que en invierno. La *Fondation Suisse* obtiene la misma media global pero las medias específicas de iluminación y temperatura mejoran ligeramente. La *Maison du Brésil* mejora en todos los parámetros, siendo en el de temperatura, porcentualmente en el que más se mejora.

El dato principalmente reseñable es que en cuestiones de temperatura las valoraciones son siempre menores a la percepción lumínica y global de los espacios.

E.4.3. Conclusiones

Tal y como vimos en el apartado E.3 del presente capítulo, concretamente en los estudios de confort, las residencias en general están dentro de los límites aceptables de confort aunque en las zonas bajas, es decir de manera global pueden considerarse algo frías.

Si comparamos estos datos con la percepción de los usuarios y sus comentarios en las encuestas, que se pueden leer en el anexo IV, realmente las residencias presentan pequeños problemas de temperatura en momentos concretos. Respecto a los vestíbulos y espacios comunes, aunque se consideren algo fríos, este hecho no influye en la valoración puesto que no son espacios de estancia sino de paso o de permanencia muy corta.

	HABITACIONES		ESPACIOS COMUNES	
	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
FS	4,2	3,8	3,8	3,8
MdB	3,4	3,6	3,3	3,5

Tabla TE.4.03. Resumen valoraciones globales de espacios en periodo de invierno y verano

Respecto a las habitaciones sí que se refleja mayor importancia a los momentos puntuales de calor o frío, en las respuestas concretas sobre esa situación. Por el contrario al emitir la opinión global como pregunta única los valores que se alcanzan son siempre buenos en todos los espacios.

Si observamos el resumen de datos de la tabla anterior, podemos concluir que en la *Fondation Suisse* el confort de la habitación es peor en verano que en invierno mientras que en la *Maison du Brésil* pasa justo lo contrario, la valoración es mejor en verano que en invierno.

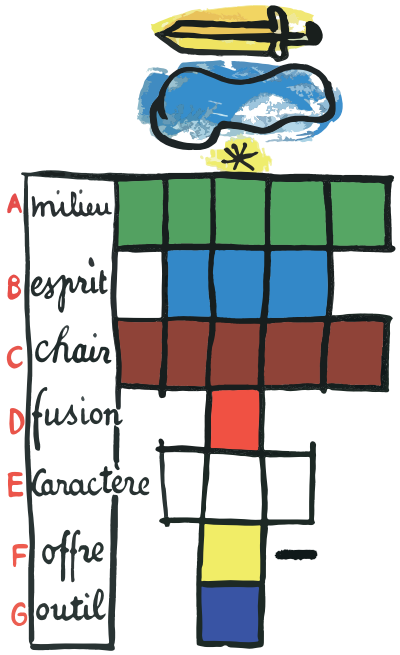
Como ya vimos las temperaturas que se alcanzan son similares, tal vez algo superiores en la *Fondation Suisse* en verano, pero por el contrario existe la

posibilidad de realizar una ventilación natural cruzada muy efectiva en cuanto a higrotermia aunque algo problemática en cuanto a intimidad.

Indudablemente una de las variables que ha influido notablemente en esta percepción que reflejan las encuestas es la cultural. Los residentes de la *Fondation Suisse*, de procedencia suiza en su mayoría, toleran mejor el frío y por tanto valoran negativamente que haga calor. Por el contrario los residentes de la *Maison du Brésil*, de procedencia mayoritariamente brasileña, toleran mejor el calor y por tanto valoran más negativamente que haga frío.

En el análisis de los espacios comunes las diferencias no son importantes en cuanto a opiniones. En general, son mejores en verano que en invierno y ligeramente superiores para la *Fondation Suisse*. En este caso los espacios tienen un valor más representativo pero las personas parece que no los valoran por su temperatura sino por otras variables en las que la luz parece tener algo más de importancia.

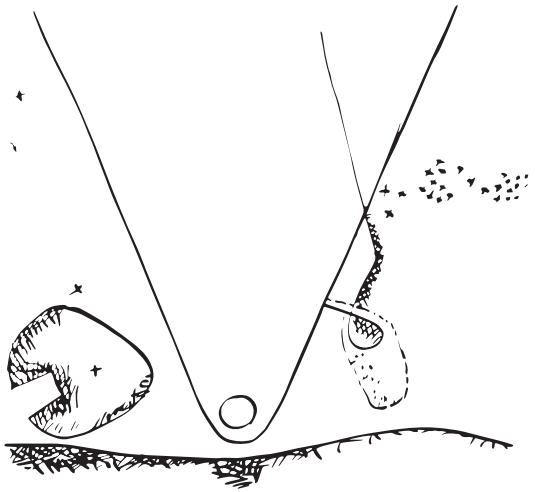
También es interesante destacar como las diferencias culturales influyen en la expresión de opinión. Ha habido muchos mas comentarios de los residentes de la residencia brasileña que de la suiza. En ellos, los brasileños han indicado que la residencia les gusta y valorado la cantidad de luz de los espacios, pero han indicado su desagrado con el ruido continuo que genera la autopista que discurre justo por enfrente del edificio, así como ciertos problemas de frío por culpa de la calefacción, especialmente en las habitaciones extremas.



Cap. F

CAPÍTULO F.
CONCLUSIONES

F.3
offre
(la main
ouverte)



F.3. Conclusiones

> As with all our senses, there seems to be a simple pleasure that comes with just using our thermal sense, letting it provide us with bits of information about the world around, using it to explore and learn, or just to notice. (Heschong 1979:18)[265]

F.3.1. Preliminar

Las cualidades térmicas –templado, fresco, húmedo, aireado, acogedor—son una parte muy importante de nuestra experiencia del espacio. No solo influyen en la elección de qué hacer sino también en cómo percibimos nuestro entorno. Puede establecerse una analogía con la luz como elemento de diseño, pero esta sí que pertenece desde hace mucho a la tradición arquitectónica. La calidad y cualidad de la luz ha sido y es tomada en cuenta por muchos arquitectos para alcanzar resultados deseados mediante su manipulación. Las cualidades térmicas también podrían incluirse en las concepciones iniciales de la arquitectura y por

265. Traducción del autor: Al igual que con todos nuestros sentidos, parece existir un sencillo placer que proviene de simplemente utilizar nuestro sentido térmico, permitiendo que nos provea con pequeñas cantidades de información sobre el mundo que nos rodea, usándolo para explorar y aprender, o solo para percibir.

tanto influenciar todas las fases del diseño. Por el contrario, los parámetros ambientales relacionados con la temperatura habitualmente se estandarizan y relegan a un segundo plano que solventan los sistemas mecánicos que suelen definirse, instalarse y ponerse en funcionamiento por personas ajenas al arquitecto, desconectados de la idea global de un diseño.

De hecho los sistemas de control ambiental tienden a ser tratados como la Cenicienta de la arquitectura, dándoles las peores ropas que vestir; quedan relegados a una habitación trasera cuya labor es mantener el aspecto elegante de sus hermanas: la luz, la forma, la estructura…(Heschong 1979:VII)

Indudablemente, la correcta definición y cálculo del comportamiento térmico del edificio pueden depender de un agente adicional al arquitecto, al igual que ocurre con las cuestiones estructurales. Pero ¿quiere eso decir que no deben tenerse en cuenta durante el proceso de ideación?

No podemos olvidar, tal y como se expone en esta tesis, que las cuestiones del confort higrotérmico pueden tratarse desde múltiples perspectivas: históricas, físicas, fisiológicas, psicológicas, sociológicas, culturales…pero también desde la arquitectónica. ¿Cómo se percibe?, ¿Qué papel juega en la actividad de las personas?, ¿Qué belleza esconde?

No son preguntas de respuesta directa, y abordarlas requiere un conocimiento complejo y experimentado, que en cualquier caso no podemos dejar de lado. Arquitectos como Juhani Pallasmaa o Peter Zumthor lo han demostrado, desde la teoría el primero, desde la práctica el segundo. Por otro lado, Iñaki Abalos en la actualidad se encuentra desarrollando un universo teórico al respecto utilizando el concepto de "belleza termodinámica" que incluso, desde la perspectiva actual de escasez energética y de recursos planetarios, me atrevo a avanzar que debería adjetivarse quedando como "belleza sostenible termodinámica".

El arquitecto español propone en sus escritos y cursos en el *Harvard Graduate School of Design* que en base a estos parámetros de control energético y térmico debe surgir la nueva estética de la época que rija los cánones de belleza.[266]

La arquitectura es una disciplina compleja que debe incluir la variable del confort higrotérmico, de la termodinámica y de la eficiencia energética como uno más de sus pilares. Al igual que no se concibe una Arquitectura (con mayúsculas) construida, que no sea estáticamente estable (firmitas) o adecuada a su programática (utilitas) o estéticamente interesante (venustas), no debería olvidarse su componente energética. No solo por las connotaciones económicas, que pueden ser variables, sino por las perceptuales, básicas en la conformación de la idea de espacio. Ese espacio intangible (*espace indicible*) que definió Le Corbusier a mediados de los cuarenta o espacio háptico del que habla Juhani Pallasmaa o las atmósferas de Peter Zumthor.[267]

Podemos decir que la tarea del diseño arquitectónico es una resolución de problemas multivariable (*multiple-problem solving*). Es necesario enfrentarse simultáneamente a problemas topográficos, climáticos, psicológicos, fisiológicos, económicos, sociales, funcionales, operacionales, estéticos y estructurales sin perder de vista cuestiones como la comunicación y el planteamiento contextual del urbanismo general y regional. Además es imposible establecer un orden de prioridades. En este sentido, las primeras fases del diseño suponen la generación de una idea que no imposibilite la solución de ninguna de estas problemáticas y proponga resolver un buen número de ellas de un modo convincente.

En la fase inicial el arquitecto no se puede permitir delegar ninguno de estos problemas en especialistas ya que su rol es el de un malabarista que debe mantener un alto número de pelotas en el aire (Mahoney 1971:13). Su desempeño final suele ser evaluado desde un punto de visto global y por tanto no puede centrar la atención en uno sólo de los aspectos a expensas de descuidar los otros.

266. En la publicación *Thermodynamics Applied to Highrise and Mixed Use Prototypes* (Abalos et al. 2012) se recogen textos sobre la materia y trabajos de alumnos que utilizan el método del equilibrio energético entre actividades dentro de un edificio para alcanzar el balance cero de demanda energética que Abalos propone para alcanzar la estética de belleza termodinámica.

267. Perter Zumthor publicó en 2006 Atmósferas: entornos arquitectónicos – las cosas a mi alrededor, donde trata la temática de las variables no materiales que influyen en la definición y percepción del espacio.

Para posibilitar el diseño arquitectónico de edificios climáticamente correctos y confortables es necesario desarrollar un método que permita conjugar todas las variables en el tiempo disponible y desde las primeras fases del diseño. Ciertamente, es sabido que pocos arquitectos hacen uso de métodos establecidos de análisis climático en esta fase, pero según opina Mahoney, este error se debe más a los métodos que a los propios arquitectos (1971:13). Las herramientas disponibles, incluso en la actualidad son laboriosas y a veces requieren de una gran inversión de tiempo.

Las decisiones tales como orientación y forma (compacidad) del edificio, tamaño de estancias, método de construcción, espesor de cerramientos, tamaño de huecos y tratamiento superficial y materialidad exteriores, se realizan a menudo en función de cuestiones poco relacionadas con lo climático-higrotérmico y posteriormente, en base a las condiciones climáticas se realizan cálculos o simulaciones que esclarezcan el comportamiento del edificio. Si los resultados son insatisfactorios, debe volverse al punto inicial, o casi, para revisar las suposiciones realizadas y repetir el camino. Por el contrario, en el caso de que sean correctos, debe volverse al proceso de diseño y retomar todas aquellas cuestiones que se habían dejado apartadas o a la espera de las conclusiones del análisis climático.

Con la experiencia, este desarrollo puede devenir en una suerte de conocimiento intuitivo adquirido que hace que se repitan soluciones que han funcionado bien anteriormente. Pero en el contexto actual de internacionalización del trabajo, que puede enfrentarnos a situaciones siempre nuevas, y desde un punto de vista pedagógico, este saber hacer complejo en el que están involucrados conocimientos, pero también aptitudes y actitudes, puede y debe ser aprendido y transmitido.

F.3.2. Las herramientas de diseño higrotérmico[268]

Es conocido que una gran proporción del potencial higrotérmico y de ahorro energético de la edificación todavía permanece desconocido o infrautilizado por los arquitectos (Devin 2006:44). De acuerdo a los estudios realizados por la *International Energy Agency* (IEA 2009) las causas son varias:

- Factores económicos.
- Falta de conocimientos técnicos.
- Reticencia al uso de nuevas tecnologías.
- Factores arquitectónicos (estéticos).

Mientras que los factores económicos están fuera del alcance del propio arquitecto, los otros tres están relacionados directamente con la voluntad de abordarlos. Por un lado, un estudio sobre los métodos de diseño para edificios altamente sostenibles, subraya que siguen existiendo grandes lagunas en la educación arquitectónica en relación con las estrategias bioclimáticas; los estudiantes reciben gran cantidad de información técnica pero no son educados sobre los procedimientos y actitudes de trabajo que permiten integrarlas de manera natural dentro del proceso de ideación del edificio (Maciela et al, 2006:3768). Por el otro, una investigación sobre los métodos de diseño para edificios eficientes observa que las herramientas disponibles en las primeras fases del diseño (EDP, *Early Design Phase*) son inadecuadas para evaluar el impacto de las decisiones, tomadas durante esta etapa del proceso, sobre la eficiencia energética del edificio y su comportamiento higrotérmico (Larsson 2004). Y el inicio es básico, puesto que las opciones escogidas durante la EDP tienen un impacto enorme en la durabilidad y comportamiento energético de cualquier construcción. Aproximadamente el 80% de las decisiones que influyen en el comportamiento energético e higrotérmico de un edificio son tomadas por los arquitectos durante las primeras semanas del diseño del edificio (IEA 2010:6).

Las herramientas analizadas, debido a su carácter metodológico que parte de la experiencia previa, propia o de terceros, y que no tienen en cuenta el uso de

268. Como se habrá notado a lo largo de la lectura, se ha evitado de manera consciente la utilización del término bioclimáticas puesto que se trata de un concepto que surgió a principios de la década de los sesenta y por tanto sería incorrecto aplicarlo a la *Grille Climatique*. Si bien es cierto en las herramientas de Olgyay y Givoni, ya aparece incluido en su denominación.

cálculos numéricos complejos, serian aplicables en este momento decisivo que establecen los estudios. De hecho, los autores de todas ellas las idearon con esa finalidad y al final pertenecen a un procedimiento de orden superior en el que entran en juego como ordenadoras y clasificadoras de unas conclusiones ya adquiridas o aprendidas.

La tipificación y clasificación según su funcionamiento e interfaz eminentemente gráfica, conceptual o numérica se recoge en la siguiente tabla.

HERRAMIENTA	FECHA	AUTOR	CARACTERIZACIÓN			
			ANÁLISIS CLIMÁTICO	TEORÍA DE CONFORT	ESTRATEGIAS CORRECCIÓN	ARQUETIPOS-PROTOTIPOS
GRILLE CLIMATIQUE	1951	Le Corbusier Ianis Xenakis André Missenard	Sí Representación gráfica Diagramas de barras e iconos	Sí André Missenard Anotaciones numéricas sobre modificación de parámetros	No	Sí Soluciones concretas Desarrolladas solo para un proyecto (Maisons des Péons)
CLIMOGRAMA DE BIENESTAR	1963	Victor Olgyay colaborador: Aladar Olgyay	Sí Representación gráfica Tabla de gráficas y diagramas	Sí Temperatura operativa (Winslow, Herrington y Gagge) Temperatura efectiva (Houghton y Yaglou)	Sí Radiación solar Protección solar Temperatura radiante Ventilación Modificación de la humedad Enfriamiento evaporativo	No (pero estudia las estrategias en modelos reales)
CARTA BIOCLIMÁTICA	1969	Baruch Givoni	Sí Representación gráfica Ábaco psicrométrico	Sí Índice de Estrés Térmico Baruch Givoni	Sí Inercia térmica y mejoras en la envolvente (protección solar, dimensión huecos) Ventilación Modificación de la humedad Enfriamiento evaporativo Técnicas activas	No
MAHONEY TABLES	1971	Carl Mahoney Otto Koenigsberger John Martin Evans	Sí Representación numérica	Sí Basada en estudios de campo (previa a los modelos adaptativos) Diferencia confort diurno de nocturno	No	Sí Establece soluciones tipos, en planta y sección para diferentes tipos de clima y necesidades

Podemos concluir que la *Grille Climatique* fue la primera de todas herramientas que estableció un método con varias fases y que pese a su corta duración y utilización fue defendida por Le Corbusier siempre que tuvo ocasión. La consideraba al mismo nivel que otras herramientas que alcanzaron mayor desarrollo y difusión, ideadas a lo largo de su carrera con la ayuda de diferentes colaboradores. En una carta enviada a Jane Drew el 22 de julio de 1952 (FLC P2-1-6), Le Corbusier señala los elementos que pueden ser útiles para la comisión de planeamiento de Chandigarh (*Planning Commision*):

a) la Grille CIAM d'Urbanisme
b) la Grille Climatique…
c) la Règle des 7V…
[…]
f) le "Modulor"

No llega a nombrar la *Grille d'Arborissation*, que precisamente fue la más utilizada.

La *Grille Climatique*, a pesar de ser bastante anterior a las otras herramientas, tiene una estructura tan completa como la de las posteriores.[269] Puede sin duda considerarse una predecesora de las herramientas de Olgyay y Givoni, y situarse en uno de los puntos de origen de las *Mahoney Tables*.

No es difícil ver que recoge algunos planteamientos de radical actualidad en la época. El principal es la eliminación del ambiente interior del proceso, estableciendo el confort directamente en relación con el clima. Las *corrections à apporter* del *Titre B*, establecidas por Missenard, hacen referencia a correcciones sobre parámetros climáticos que debe realizar el objeto construido sin mencionar las condiciones interiores de la edificación. En definitiva, ya que cada arquitectura concreta mediará con el clima para generar un ambiente interior y tanto la envolvente como el ambiente son variables y *a priori* desconocidos, lo lógico es basarse en los datos conocidos como son los relativos a la climatología.

269. La *Grille Climatique* se presentó doce años antes que el libro *Design with Climate* (1963) en el que Olgyay propone su Climograma del bienestar, a pesar de esto, el autor llevaba realizando estudios y publicaciones desde 1952-1953.

A través del análisis podemos extraer que para poder tener en cuenta en el diseño las cuestiones tratadas es necesario un trabajo en cuatro niveles que van de lo general a lo particular y de lo extrínseco a lo intrínseco, y que deben ser previos a la ideación arquitectónica:

- El clima
- El confort
- Las estrategias de control higrotérmico (activas y pasivas)
- Los prototipos

El clima

Es necesario un conocimiento de las características globales de la climatología, pero también de las particularidades de cada zona concreta. Sería incluso deseable la realización de estudios topoclimáticos concretos de la zona de actuación y contar con un informe que resumiera y presentara los datos de manera rápidamente comprensible para así establecer los primeros condicionantes del diseño.

En este sentido el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) ha publicado recientemente la Guía de Condiciones Climáticas de la Comunitat Valenciana (2015), incluida dentro de su serie Guías de Sostenibilidad, en la que, en base a la información registrada por las estaciones meteorológicas de la Comunidad y al Climograma de Givoni, ofrece las estrategias que son deseables para cada localización, añadiendo el porcentaje y distribución de tiempo en el que esas estrategias son deseables.

Los autores de las cuatro herramientas estudiadas siempre acudieron a fuentes contrastadas para la obtención de los datos climáticos. En el caso de la *Grille Climatique* no fue posible obtener los datos meteorológicos exactos de Chandigarh puesto que no había estación meteorológica, aun así se solicitaron los datos de la Oficina Meteorológica India.

El confort

Es un tema complejo por la dispersión de estudios y teorías que todavía hoy se encuentran en desarrollo. Como mínimo el arquitecto debería manejar las normativas que existen al respecto: UNE-EN 15251 y UNE-EN ISO 7730, de aplicación en el territorio español y el Standard 55 ASHRAE, que no es de aplicación pero es norma de referencia.

Respecto al parámetro de confort, el RITE 2007 hace mención en el apartado de la Instrucción Técnica (Diseño y dimensionado) IT 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene. Es de aplicación en todos los usos excepto en el residencial privado (viviendas) en el que es de aplicación el Código Técnico de la Edificación que no hace referencia alguna sobre el confort térmico. En el RITE simplemente se reproducen las exigencias de la normativas europea (UNE-EN ISO 7730) e internacional (UNE-EN 15251) que incluyen, tal y como vimos en el apartado E.3, por un lado los métodos cuantitativos, Voto Medio Previsto (PMV), Porcentaje esperado de personas insatisfechas (PPD) y Temperatura efectiva estándar (SET); y por el otro el método adaptativo.

Las herramientas de Le Corbusier (de manera indirecta), Olgyay, Givoni y Mahoney utilizan diferentes métodos para el cálculo del confort, pero lo destacable es que este es una pieza fundamental del puzle ambiental.

Partiendo del planteamiento estadístico de los métodos adaptativos, que además tienen en cuenta variables culturales, psicológicas y socioeconómicas, sería interesante la introducción de procedimientos habituales en la sociología y que ya se están implementando en el urbanismo (como planes de participación pública) para la inclusión de las variables higrotérmicas en el diseño de edificios de cierta relevancia.

Las estrategias de control higrotérmico y los prototipos

Todo el conocimiento desarrollado de manera intuitiva, experimental o científica a lo largo de la historia de la arquitectura debe ser puesto a disposición del diseñador para evitar incurrir en errores del pasado. Los climas, las personas y las situaciones son tan diversos que cada combinación requerirá un estudio detallado de los elementos que son necesarios para una correcta consecución, pero las estrategias sí pueden resumirse en un número pequeño. Conjugando las indicaciones de Olgyay y los estudios de Givoni, así como los prototipos propuestos por Mahoney y las estrategias arquitectónicas que Le Corbusier esboza para las Maison de Péons en la *Grille Climatique*, se pueden enunciar a modo de guía:

- Orientación y disposición de la edificación.
- Esquemas básicos de geometría, compacidad y tipología de la edificación.
- Mejoras en la envolvente exterior:
    - Inercia térmica.
    - Dimensión, posición y protección de los huecos (calentamiento pasivo solar).
- Ventilación natural, con posibilidad de manipulación de la apertura y cierre de huecos por parte de los usuarios.
- Enfriamiento radiante.
- Enfriamiento evaporativo.
- Modificación de la humedad.
- Calentamiento activo.
- Enfriamiento activo.

Lo gráfico como herramienta

Introduciendo el clima mediante procesos gráficos en el quehacer arquitectónico, Le Corbusier equiparó aspectos pertenecientes a la esfera de lo ambiental y

perceptivo con los predominantes argumentos formales y estructurales, eliminando una división practicada por la historiografía de la arquitectura desde principios del siglo XX (Banham 1969:9). Sus trabajos tanto artísticos como arquitectónicos a partir de 1945 muestran la inclusión de variables intangibles que el arquitecto midió, dibujó y utilizó para proyectar. La *Grille Climatique* es una prueba de ello, pero también lo son los métodos gráficos de cálculos solares, los dibujos del movimiento del aire, del sol y del paisaje circundante. En el Modulor II (1955) recoge la carta que le había enviado un matemático el 13 de junio de 1954. El planteamiento no es sólo numérico sino que aúna la poética del espacio y su percepción y comprensión:

> *Tenemos dos medios de "situar" al mundo exterior.*
>
> *1. Los números. Por efecto de ellos, hay pluralidad de individuos: la simpatía, el orden, la armonía, la belleza, etc…, en una palabra, todo cuanto es espiritual.*
>
> *2. El espacio. Este nos ofrece los objetos "extensos" (sin más, ¡yacentes!)*
>
> *En el mundo espacial se proyectan imágenes del mundo numérico, en primer término por parte de la propia naturaleza, y luego por parte de los hombres, y sobre todo de los artistas. Puede decirse que nuestro deber en la tierra y durante nuestra vida consiste precisamente en esta proyección de formas surgidas de los números y que vosotros, los artistas realizáis en el sentido más elevado, en obras de alta moralidad. No solamente es posible hacer un llamado simultáneo a la geometría y a los números, sino que aquí se encuentra, a decir verdad, la verdadera meta de nuestra vida.* Andréas Speiser[270] en (Le Corbusier 1955:209)

El maestro suizo demostró una sensibilidad por los fenómenos ambientales en la arquitectura, utilizó procedimientos gráficos como vehículo de las aportaciones científicas de sus colaboradores y de sus planteamientos teóricos. Supo pensar, analizar, proyectar, comunicar y transmitir con el dibujo desarrollando un

270. Andréas Speiser (1885-1970) matemático y filósofo de la ciencia suizo. Trabajó, entre otros aspectos, sobre la teoría de números, de grupos y la de superficies de Riemann.

lenguaje propio, no solo arquitectónico sino gráfico, que buscaba gestionar y concretar de manera global los parámetros materiales y no materiales. La serie de herramientas que ideó[271] aportan tanto conocimiento de la arquitectura y el planeamiento como sus edificios.

El verdadero legado de Le Corbusier es su actitud verdaderamente moderna, ampliando los límites sin olvidar el pasado, y por tanto no el resultado sino el proceso. La obra construida no es más que un producto de este por lo que es necesario estudiarla desde otros puntos de vista menos materiales. Él mismo tardaría unos años en ser consciente de esta realidad a pesar de haberlo sido intuitivamente desde el principio.

No podemos obviar que encontramos herramientas de diseño, procedimientos, clasificaciones o intentos de clarificación en diversos aspectos de la obra de Le Corbusier. Empezando con los *cinq points pour une architecture nouvelle* con los que acotaba el abecedario de una gramática estilística, y llegando hasta la *Grille Climatique* con la que esclarecía el marco de trabajo de las condiciones del trabajo. El maestro, tal y como indicaba Taut, trabajaba como un artista pero esto no quiere decir que lo hiciera sólo por instinto (Rüeg 2006):59). Al contrario, Le Corbusier trabajaba siguiendo un estricto acercamiento metódico del pensamiento que conecta en un todo las diferentes actividades del arquitecto.

271. La *Grille Climatique* y también, la *Grille CIAM*, la *Grille des 7V,* la *Grille d'Arborissation*, el Modulor; vistos en el capítulo C.

In a nature that can be perceived only in detail and which therefore seems chaotic, the human being has created for himself, out of a certain strategic need for security, an understandable, explicable environment.[272]

Le Corbusier

F.3.3. Aprender de lo construido

Tal y como hemos comprobado, el estudio térmico y bioclimático de un edificio puede abordarse desde muchas perspectivas distintas, así como con técnicas complementarias.

Si las aplicamos, no solo al proyecto, sino también al conocimiento y estudio del patrimonio arquitectónico, podremos revisar la arquitectura de otros tiempos desde preceptos contemporáneos y por consiguiente generar una nueva valoración del legado arquitectónico.

El estudio demuestra, que los edificios tienen ciertos problemas de adaptación climática que generan un ligero nivel de malestar en los ocupantes. Si a este factor le sumamos el hecho de las diferentes nacionalidades, con las diferentes percepciones y preferencias, tal y como ocurre en los casos estudiados, es difícil pensar en un edificio que aune una respuesta óptima para todas las necesidades.

En términos estrictamente proyectuales, Le Corbusier demuestra tener problemas globales de comprensión de los efectos de la inercia térmica y el aislamiento. A ello se debe de añadir la complicada conjunción con la ventilación natural que se antoja básica para la consecución del confort.

Sin embargo, todos estos problemas no son muy distintos de los que tienen hoy en día muchos arquitectos y muchas de las construcciones que no pasarán a la historia.

272. Le Corbusier en (Rüeg 2006):59). Traducido por el autor: En una naturaleza que puede ser percibida solo en parte y que por tanto parece caótica, el ser humano ha creado para sí mismo, partiendo de una cierta y estratégica necesidad de seguridad, un entorno entendible, explicable.

La lectura transversal realizada en esta tesis sobre la obra de Le Corbusier, analizando aspectos y herramientas, algunas de las cuales no habían sido tratadas en profundidad todavía, permite reforzar los lazos interdisciplinares de la arquitectura con la ingeniería (ya conocidos), pero también con otras disciplinas menos habituales en nuestra investigación como la sociología, la fisiobiología, la ecología y las ciencias ambientales.

De la conjunción del trabajo en estos campos tiene que surgir la arquitectura del futuro y tiene que valorarse la del pasado. Además se debe perder de nuevo el miedo a un acercamiento racional, metódico, sistemático y científico de la labor de proyectar puesto que solo así la arquitectura será verdaderamente responsable, sostenible y podrá responder a todas los requerimientos, también ambientales, a las que hoy en día se ve abocada.

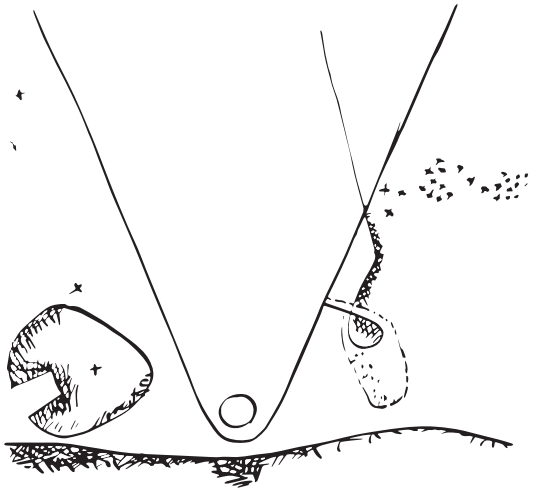
F.3.4. El legado de la Grille Climatique

Los autores de casi todas las herramientas revisadas, especifican en sus libros o escritos, que su génesis, ideación o aplicación surgen con el trabajo en zonas tropicales o subtropicales, es decir en zonas calurosas. Esta parece ser una constante en la creación de todas ellas, y en los planteamientos de diseño "adaptado al clima" que hicieron, incluida la *Grille Climatique*. Hasta que la nueva arquitectura y los procedimientos científicos del siglo XX no tuvieron que enfrentarse a estas situaciones de calor extremo, habitualmente emparejadas con zonas de desarrollo tecnológico y económico limitados, no buscaron soluciones eminentemente tectónicas. Este hecho debe entenderse desde un momento histórico en el que la escasez energética era un concepto prácticamente impensable; las teorías del confort, aunque desarrolladas, se centraban más en cuestiones cuantitativas y consumistas[273] y el concepto ecológico de la actividad humana, alteradora del equilibrio natural y por tanto de la permanencia, estaba muy lejos de pasar de la teoría a la realidad de la sociedad.

273. Mahoney dice en *Climate and House Design*: En el contexto de diseño climático, el término "confort" denota condiciones en las que un hombre puede trabajar eficientemente y dormir plácidamente para que su cuerpo se recupere completamente de la fatiga causada por los esfuerzos del día anterior. (1971:15)

Como materialización concreta y procedimental de la preocupación por cuestiones inmateriales, pero no espirituales, ámbito complejo donde los haya, la *Grille Climatique,* tal y como hemos visto, es la pionera de otras herramientas que llegaron después.

Indudablemente la obra de Le Corbusier ha marcado a generaciones de arquitectos con sus formas, sus materiales, sus geometrías, sus proporciones. También puede resultar un referente en lo procedimental.



F.3. Conclusiones

As with all our senses, there seems to be a simple pleasure that comes with just using our thermal sense, letting it provide us with bits of information about the world around, using it to explore and learn, or just to notice. (Heschong 1979):18)

F.3.1. Preliminar

Thermal sensations –warm, cool, wet, airy, cozy- are a very important part of our spatial experience. They have a big impact on the choice of what to do but also on the way in which we perceive the environment. There is a clear analogy with light as a design element, but light clearly belongs to the architectural tradition long ago. Many architects take into account the quality and attributes of light to achieve different targets through its manipulation. Thermal qualities could (should) also be included in the initial conceptions of architecture and so influence all design stages. But, environmental parameters related to temperature usually get standardized and play a secondary role in the way that mechanical

systems, out of the architect's hands, control them and therefore are unlinked to a whole design idea.

In fact, environmental control systems tend to be treated as the Cinderella of architecture, giving them the worst clothes to wear; relegated to a backroom and with the task to keeo the elegant aspect of their sisters: light, form, structure… (Heschong 1979):18)VII)

Undoubtedly, the proper definition and calculation of the thermal behavior of a building can depend on a person different from the architect, the same as happens with structural matters. But, does it mean that all this things can be forgotten during the designing process?

It can't be forgotten, as we have seen during this thesis, that higrothermal comfort matters can be analyzed from many perspectives: history, physics, physiology, psychology, sociology, cultural…but also from architecture. How is it perceived?, Which role does it play in people's activity, What beauty does it hide?

These questions don't have a direct answer. A complex and expertise knowledge is needed to cope with them, but in any case we can't put them aside. Architects such as Juhani Pallasmaa or Peter Zumthor have demonstrated this reality, from theory the first, from practice the second. At the moment, Iñaki Abalos is developing a theoretical universe using the concept of "thermodynamic beauty" that, from the nowadays situation of energetic and planet resources scarce, I dare that it should be called "sustainable thermodynamic beauty".

The Spanish architect brings forward in his writings and lectures in the *Harvard Graduate School of Design* that, as a result of all these parameters of energetic and thermal control it must arise the new aesthetics of the era that will lead the beauty standards.[274]

But architecture is a very complex discipline that has to include higrothermal comfort, thermodynamics and energetic efficiency as one of his main pillars. It is

265.In the publication Thermodynamics Applied to Highrise and Mixed Use Prototypes (Abalos et al. 2012) there are texts about this issue and works of sudents that use the method of the energetic balance between activities inside a building to achieve the zero energetic demand that Abalos proposes to get to the aesthetics of the thermodynamic beauty.

not possible to think in built Architecture that is not structurally stable or programmatically suited or aesthetically interesting, so the energetic component should not be forgotten. Not only because of the economical connotations, that can be variable, but because of the perceptual ones, basic in the construction of the idea of space. This intangible space (*espace indicible*) that Le Corbusier defined in the middle forties or this haptic space of which Juhani Pallasmaa talks or even Peter Zumthor's atmospheres.[266]

It can be stated that the task of architectural design is a multiple-problem solving. It is necessary to cope simultaneously with problems in different areas: topography, climatology, psychology, physiology, economics, social, functional, operational and structural affaires not losing sight of matters of communication and urbanistic and regional contexts. Furthermore it is impossible to establish an order of priority. In that sense, the early design stages must generate and idea that eases the solution f all of these problems and also proposes to resolve a good number of them in a convincing way.

In the first stage, the architect cannot delegate any of these problems in specialists because his/her role is the juggler one maintaining a high number of balls in the air. (Mahoney 1971):13. His final work is usually evaluated from a global point of view so it is no possible to focus attention in one of the aspects forgetting the others.

To allow a proper design of buildings environmentally friendly and with a high comfort standard there is the need to develop a method which combines all the variables in the given time and from the early stages of design. Actually, it is known that few architects use stablished methods<of climatic analysis in that stage, but as Mahoney thinks, this mistake it is more related to methods than to architects (1971:13). Tools available, even nowadays, are tedious and often require a large time investment.

266. Perter Zumthor publishes in 2006 *Atmospheres: architectural environments – things around me*, in which he faces matters of immaterial variables that influence in the definition and perception of space.

Decisions such as orientation and shape (compactness) of buildings, size of rooms, construction method, wall thickness, size of voids and windows, surface finishing or materiality, are taken over issues Little related to climatic-higrothermal matters; to later through simulation and calculation know how the building behaves. Unsatisfactory results oblige to turn to the beginning, or almost, to revise the hypothesis used and rethink everything. If by chance, results are satisfactory it is posible to continue with the design tasks that were waiting for the higrothermal results.

This work can, with practice, become into an intuitive knowledge that turns into the repetition of solutions that worked well in the past. But in nowadays context of internationalization, with new situations each time we start a design, and from a pedagogic pint of view, this complex know how in which aptitudes and attitudes take part, has to be learnt and taught.

F.3.2. Higrothermal design tools[267]

It is known that a great proportion of the higrothermal and energetic savings potential of building industry still remains unknown or disused by architects (Devin 2006:44). According to studies made by the *International Energy Agency* (IEA 2009) causes are several:

- Economical factors
- Lack of technical knowledge
- Reluctance in the use of new technologies
- Architectural factors (aesthetics)

Meanwhile econmical factors are out of reach of the architect, the others are directly related to the willingness to address them. On one side, the study of design methods for high sustainable buildings underlines that there are still big lacks in architectural education in relation to bioclimatic strategies; students

267. As can be deduced through reading it has been consciously avoided to use the term "bioclimatic" becaouse it is a concept that arose at the early sixties and so it would un proper to upply it to the Grille Climatique. In any case, in Olgyay and Givoni tools it is a term that appears in theri denomination.

receive big quantities of technical information but are not taught on the procedures and work attitudes that make a natural integration into the design process possible (Maciela et al, 2006:3768). On the other side, a research on the design methods for efficient buildings observes that available tools in the EDP (Early Design Phase) are inadequate to evaluate the impact of the decisions taken during this stage (Larsson 2004). And the beginning is very important, because the options chosen during the EDP have a great impact on the durability and energetic behavior of any construction. Approximately the 80% of the decisions that influence the energetic and higrothermal behavior of the building are taken by architects during the first weeks of the design (IEA 2010:6).

HERRAMIENTA	FECHA	AUTOR	CARACTERIZACIÓN			
			ANÁLISIS CLIMÁTICO	TEORÍA DE CONFORT	ESTRATEGIAS CORRECCIÓN	ARQUETIPOS-PROTOTIPOS
GRILLE CLIMATIQUE	1951	Le Corbusier Ianis Xenakis André Missenard	Sí Representación gráfica Diagramas de barras e iconos	Sí André Missenard Anotaciones numéricas sobre modificación de parámetros	No	Sí Soluciones concretas Desarrolladas solo para un proyecto (Maisons des Péons)
CLIMOGRAMA DE BIENESTAR	1963	Victor Olgyay colaborador: Aladar Olgyay	Sí Representación gráfica Tabla de gráficas y diagramas	Sí Temperatura operativa (Winslow, Herrington y Gagge) Temperatura efectiva (Houghton y Yaglou)	Sí Radiación solar Protección solar Temperatura radiante Ventilación Modificación de la humedad Enfriamiento evaporativo	No (pero estudia las estrategias en modelos reales)
CARTA BIOCLIMÁTICA	1969	Baruch Givoni	Sí Representación gráfica Ábaco psicrométrico	Sí Índice de Estrés Térmico Baruch Givoni	Sí Inercia térmica y mejoras en la envolvente (protección solar, dimensión huecos) Ventilación Modificación de la humedad Enfriamiento evaporativo Técnicas activas	No
MAHONEY TABLES	1971	Carl Mahoney Otto Koenigsberger John Martin Evans	Sí Representación numérica	Sí Basada en estudios de campo (previa a los modelos adaptativos) Diferencia confort diurno de nocturno	No	Sí Establece soluciones tipos, en planta y sección para diferentes tipos de clima y necesidades

Tools analyzed, due to their methodological character which is based on previous experience, own or third party, and which do not use complex numeric calculations, would suitable in this decisive moment pointed out by research. In fact, the authors of all of them tried this aim and finally the tools belong to a higher level procedure in which they take part as classification or arrangement of conclusions already learnt and applied.

Tipification and calsification according to their operation and interface mainly graphic, conceptual or numerical is shown in the table of the previous page.

We can state that *Grille Climatique* was the very first of all the tools which stablished a method separated in several phases and although his short duration and use it was always supported by Le Corbusier any time he had the option. He considered it at the same level as other tools that got higher development and diffusion, devised through his career with the help of different collaborators. In a letter sent to Jane Drew 22nd July 1952 (FLC P2-1-6), Le Corbusier points out the elements that can be useful to the planning commission of Chandigarh:

> *a) la Grille CIAM d'Urbanisme*
>
> *b) la Grille Climatique…*
>
> *c) la Règle des 7V…*
>
> *[…]*
>
> *f) le "Modulor"*

He does not mention the *Grille d'Arborissation*, which was really the most used.

Grille Climatique, even having been design much earlier than the others, has a structure as complete as the rest.[268] It can be, with no doubt, considered as a predecessor of tools designd by Olgyay and Givoni, and be placed in the origin of the Mahoney Tables.

268. The *Grille Climatique* was presented twelve years before the book *Design with Climate* (1963) in which Olgyay proposes his Climatic Chart of Wellness, although the author had been doing research and publications since 1952-1953.

It is not difficult to see that contains nowadays mainstream ideas. The most important is to take out of the process the indoor ambient relating it directly to the outdoor climate. The *corrections à apporter* del *Titre B,* established by Missenard, make reference to corrections on climatic parameters that must do the building without mentioning indoor conditions. Definitely, as each architecture will cope with climate to create an indoor ambient and the building envelope the same as the ambient are variable and unknown, is logical to base on known data as the climatic ones are.

The result of the analysis is that to take into account in the design process all overcome issues it is necessary to work in four different levels previous to architectural ideation:

- Climate
- Comfort
- Higrothermal strategies (active and passive)
- Prototypes

Climate

It needed knowledge of global climatic characteristics, but also of peculiarities of each zone. It would desirable to make topoclimatic specific studies of the area and to have a report that summarizes and represents all data in a way that can be understood at a glance to establish the first design constraints.

In this sense the Valencian Institute of Building (IVE) has recently published *Guía de Condiciones Climáticas de la Comunitat Valenciana* (2015), included in the series of Sustainability Guides. In the book, with the meteorological information registered by the stations of the Comunitat and the Givoni Climatic Chart, desirable strategies can be found for each location, adding the percentage and distribution of time in which these strategies are desirable.

The authors of the four tools studied always used contrasted sources to obtain climatic data. In the case of the Grille Climatique it was not possible to get the exact climatic data of Chandigarh because there was no station in the area.

Comfort

It is a very complex area due to the dispersion of research and different theories that even today are in development. At least the architect should use the codes related: UNE-EN 15251 y UNE-EN ISO 7730, applicable in Spain and the Standard 55 ASHRAE, as reference code.

In reference to confort parameter, RITE 2007 mentions in the *Instrucción Técnica (Diseño y dimensionado) IT 1.1.4 Caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene*. It should be applied in every use except in dwellings in which *Codigo Técnico de la Edificación* should be used. In the RITE there is a reproduction of European codes (UNE-EN ISO 7730) and international codes (UNE-EN 15251) which include, as we saw in E.3, on one side quantitative methods Mean Predicted Vote (MPV), Percentage of Dissatisfied People (PDP) and Standard Effective Temperature (SET); and on the other side the adaptive method.

Tools of Le Corbusier (in an indirect way), Olgyay, Givoni and Mahoney, use different methods to calculate confort, but what is remarkable is that it is the key matter.

Starting from the statistic approach of the adaptive methods, that also take into account cultural, psychological and socioeconomic variables, it would be interesting to bring usual procedures in sociology that are already being implemented in urbanism (like plan of public participation) to include higrothermal variables in the design of buildings of some relevance.

Higrothermal strategies and prototypes

All knowledge developed intuitively, experimentally or scientifically through history of architecture must be made available to designers to avoid making the same mistakes of the past. Climates, people and situations are so diverse that each combination will require a detailed study of the necessary elements to get a proper solution, but strategies can be reduced to a few. Joining Olgyay indications, Givoni studies, prototypes proposed by Mahoney and architectural strategies sketched uo by Le Corbusier in the *Maisons des Péons* in the *Grille Climatique*, we can summarize as a guide:

- Orientation and lay out of the building
- Geometric basic schemes, compactness and typology of buildings
- Improvements in the envelope
    - Thermal mass
    - Size, position and protection of voids (passive solar heating)
- Natural ventilation, with the possibility to manipulate the opening and closing of windows
- Radiant cooling
- Evaporative cooling
- Humidity modification
- Active heating
- Active cooling

Graphics as a tool

Bringing in climate through graphic procedures in the architectural task, Le Corbusier equated aspects belonging to environmental and perceptual spheres to the predominant formal and structural arguments, erasing a boundary that had been usual in architectural historiography since the beginning of the XX century (Banham 1969:9). His artistic and architectural works since 1945 show the inclusion of intangible variables that the architect measured, draw and used to design. Grille Climatique is a good example of that, but also are the graphic

methods of solar calculations, the drawings of air and sun movements and of the surrounding landscape. In Modulor II (1955) can be found the letter that a mathematic had sent him 13th July 1954. The approach is not only numeric but it joins space poetry to perception and understanding:

> *We have two ways to "locate" outer world.*
>
> *1. Numbers. By their effect, ther is plurality of perople: kindness, order, harmony, beauty, etc…, in a Word, all that is spiritual.*
>
> *2. Space. It offers "vaste" objects (That's all, lying!)*
>
> *In the spatial world images of the number world are projected, in first term by nature itself, and then by men, and specially artists. It can be said thou our duty on earth an during our life consists exactly on this projection of shapes coming from numbers and that you, the artists, make in the highest sense, in high morality artworks. Not only is possible to make a simultaneous call to geometry and numbers, but also here lies, in fact, the truth aim of our life.* Andréas Speiser[269] in (Le Corbusier 1955:209)

The Swiss master, demonstrated sensibility to environmental phenomena in architecture, used graphic procedures as a vehicle of the scientific contributions of his colleagues and of their theoretical approaches. He knew how to think, analyze, design, communicate and transmit with images, developing an own unique language, not only architectonic but also graphic, that tried to manage and focus globally material and non-material parameters. The series of tools he designed[270] give as much knowledge of architecture and planning as his buildings.

The real legacy of Le Corbusier is his really modern attitude, amplifying boundaries without forgetting the past; and so not that much the result but the process. His built work is not more than a product of that process and that is why it is necessary to study it from other points of view less material. He himself

269. Andréas Speiser (1885-1970) swiss mathematic and science philosopher. Worked, among other aspects, on number, group and Riemann's surfaces theories.

270. The *Grille Climatique* and also, the *Grille CIAM*, the *Grille des 7V*, the *Grille d'Arborissation*, the *Modulor*; senn in chapter C.

needed some years to be fully conscious of this reality though he had already been from the beginning in an intuitive way.

We cannot forget that we find design tools, procedures, classifications or tries of clarification in several aspects of Le Corbusier's work. Starting with the *cinq points pour une architecture nouvelle* with which established the alphabet of an stylistic grammar and arriving to the Grille Climatique with which he stated the framework of work conditions. The master, as Taut said, worked as an artist but that does not mean he only did it by insctint (Rüeg 2006:59). On the contraty, Le Corbusier worked following and strict methodological approach of thinking that connects in a whole all different activities of the architect.

In a nature that can be perceived only in detail and which therefore seems chaotic, the human being has created for himself, out of a certain strategic need for security, an understandable, explicable environment.[271]

Le Corbusier

F.3.3. Learning from the built

As has been demonstrated, termal and bioclimatic study of a building can be approached from several perspectives, and with different and complementary techniques.

If we apply them, not only to the project, but also to knowledge and study of architectural patrimony, we will be able to revise other time architecture from contemporary precepts and therefor create a new appreciation of the architectural legacy.

The research developed, shows that the buildings studied have certain problems of climatic adaption that result in a slight discomfort of the users. If we add the fact that different nationalities live together, with different perceptions and preferences, it is difficult to think that a building can solve all necessities.

In strictly design terms, Le Corbusier demonstrates to have overall problems of understanding of the effect of thermal mass and isolation. Additionally, the complexity of natural ventilation does not ease the task to design a building that achieves full comfort.

271. Le Corbusier in (Rüeg 2006:59).

However, all these problems are not very different to all those that many architects and buildings that will not make history have.

The transversal look done in this thesis about Le Corbusier's work, analyzing aspects and tools, some of them not treated profoundly yet, allows us to reinforce the interdisciplinary connections that architecture has with engineering (already known), but also with other disciplines les usual in our field of research such as sociology, physiobiology, ecology and environmental science.

From the conjunction of the work in all these areas must come up the architecture of the future and has to be appreciated the one from the past. Also ther has to be no fear to a rational, methodic, systematic and scientific approach to the task of designing because only like that architecture will be truly responsible, sustainable and will be able to put up all necessities, also environmental, of today's world.

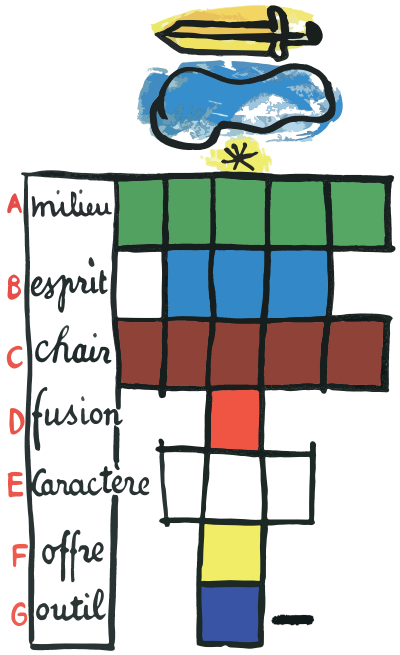
F.3.4. Grille Climatique's legacy

Authors of all tools studied specify in their books and writings in some way, that its genesis, ideation or application come up with the work in tropical or subtropical areas, which means hot areas. That seems to be a constant in the creation of the tools, and in the approaches of the "climatic adaptive" design that they made, including the *Grille Climatique*. Until the new architecture and scientific procedures of the XX century did not have to face situations of extreme hotness, usually coupled with areas of limited technological and economic development, they did not look for solutions eminently tectonic. This fact must be understood from an historic moment in which, first energetic scarcity was a concept unimaginable; second, comfort theories, although developed, were focused in quantitative and trading matters[272] and, third, the ecological concept of human activity, as an disruptor of natural equilibrium, was very far from passing from theory to social reality.

272. Mahoney says in *Climate and House Design*: In the context of climatic design, ther term "comfort" denotes conditions in which a man can work eficiently and sleep pleasurely so his body recovers fully from the fatigue caused from the efforts of the previous day. (1971:15)

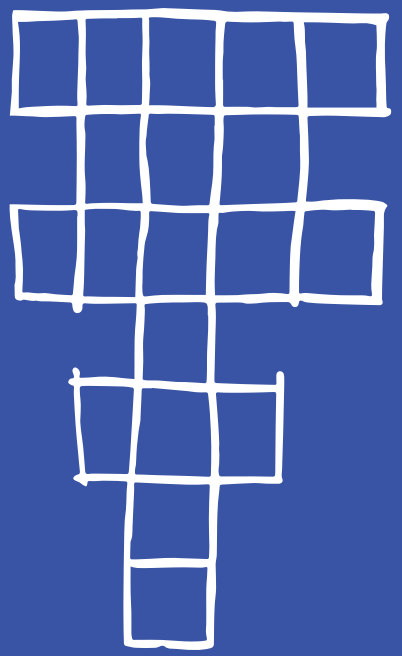
As a definite and procedural materialization of the worrying for immaterial matters, but not spiritual, very complex area, the Grille Climatique, as it has been seen, is the pioneer of other tools that arrived later.

Undoubtedly Le Corbusier's work has influenced generations of architects with his shapes, his materials, his geometry, his proportions. He can also be a referent in procedural matters.

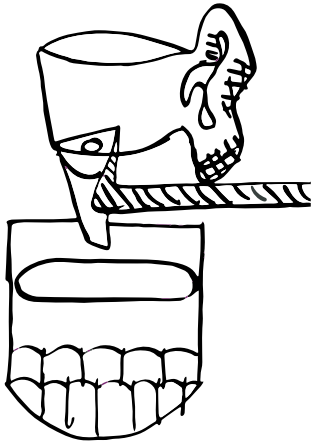


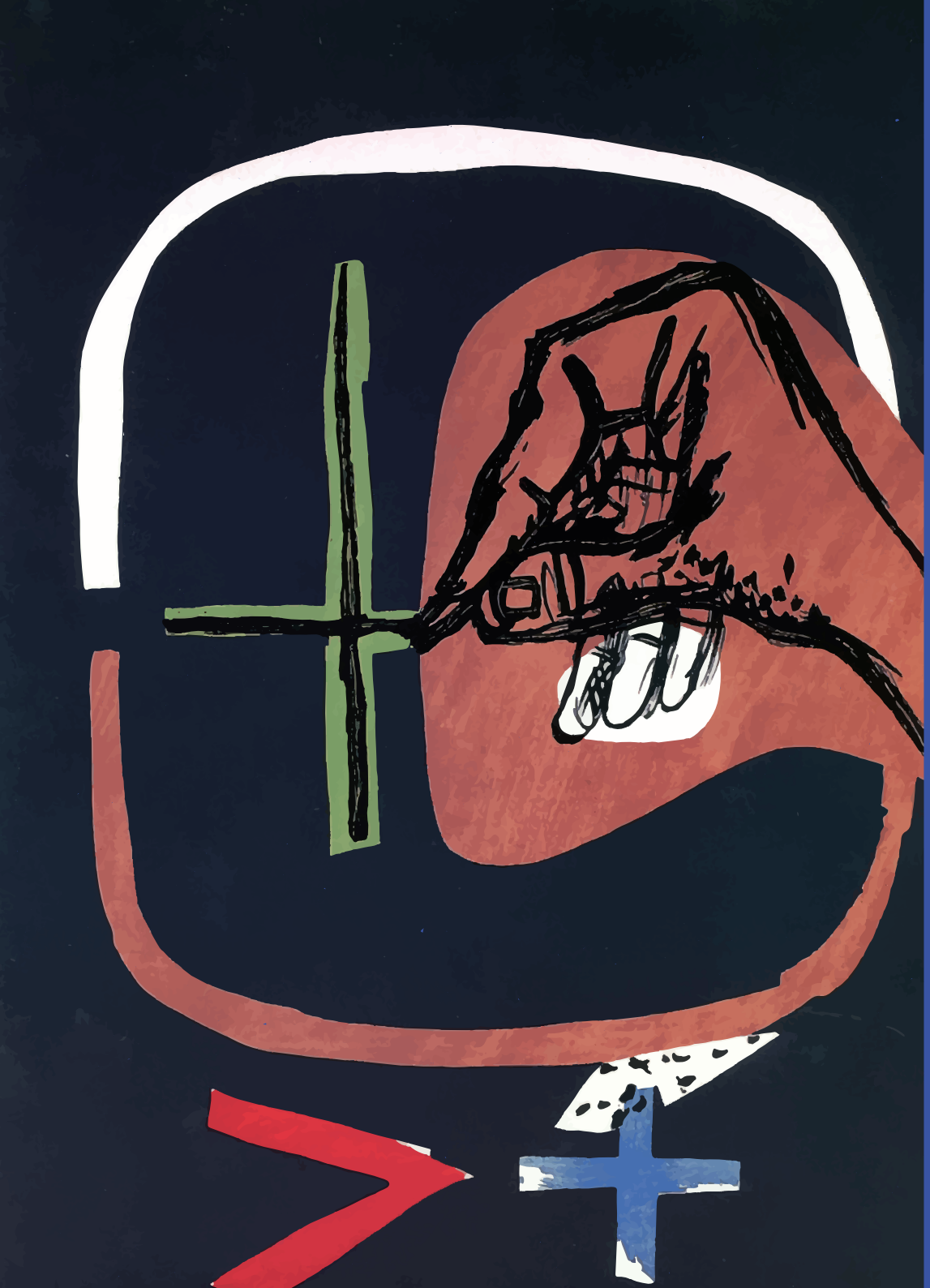
Cap.G

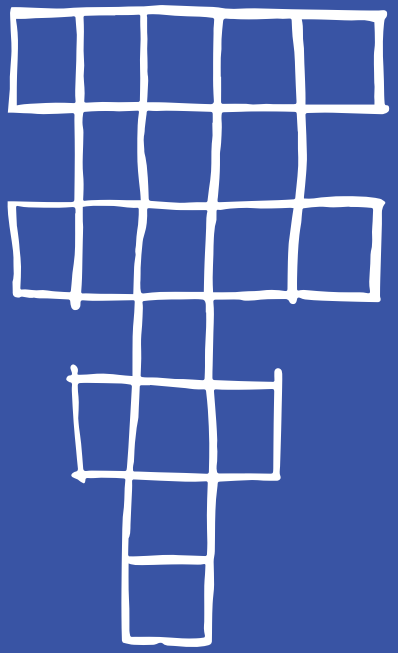
CAPÍTULO G.
BILIOGRAFÍA Y ANEXOS



G.3
outil







G.3.1. Bibliografía

La herramienta básica para la realización de esta tesis ha sido la bibliografía a la que se ha tenido acceso. Hubiera deseado incluir en esta tesis muchas cosas que he leido y que finalmente se han quedado en el tintero. Tal y como decía Aldo Rossi:

> *Siempre he pensado que en la vida, como en la arquitectura, si buscamos algo no es eso lo único que encontramos; por ello, en toda investigación existe un grado de imprevisibilidad que se convierte, al acabarla, en sensación de fastidio.* (Rossi [1984] 1998:30)

ABALOS, I., 2012. *Thermodynamics Applied to Highrise and Mixed use Prototypes*. I. ABALOS and D. IBÁÑEZ eds., Boston: Harvard GSD ISBN 0615715060, 9780615715063.

ABALOS, I., 2008. *La Belleza Termodinámica*. Madrid: CIRCO M.R.T.

ABALOS, I., 2007. *Alejandro De La Sota. Seis Testimonios*. Barcelona ed. Barcelona: Col-legi d'Arquitectes de Catalunya, 3 de marzo de 2007,.

ALDRETE-HAAS, J.A., 2007. *Introducción*. J.A. ALDRETE-HAAS ed., Universidad Iberoamericana - México ed. México: Universidad Iberoamericana, 2005, ISBN 978-968-859-630-2.

ALMI, S., 2002. *Urbanisme Et Colonisation: Présence Française En Algérie*. Bruselas: Éditions Mardaga ISBN 287009812X, 9782870098127.

ANKER, P., 2010. *From Bauhaus to Ecohouse. A History of Ecological Design*. Louisiana: Louisiana State University Press ISBN 978-0-8071-3551-8.

ASCORAL (Le Corbusier)., 1948. *Grille CIAM d'Urbanisme: Mise En Pratique De La Charte d'Athènes*. L'architecture d'aujourd'hui et Techniques et architecture ed., .

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, ATECYR., 2007. *Comentarios RITE-2007*. Madrid: IDAE, Noviembre 2007, IDAE.

Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, ATECYR., 1998. *Comentarios RITE-1998*. Madrid: IDAE IDAE.

ATKINSON, W., 1912. *the Orientation of Buildings Or Planning for Sunlight*. John Wiley & Sons ed., Chapman & Hall Limited.

AULICIEMS, A., SZOKOLAY, S., 1997. *Thermal Comfort. Notes of Passive and Low Energy Architecture International*. Brisbane, núm. 3, PLEA-University of Queensland. ISBN 0 86776 729 4

AULICIEMS, A., 1997. *Human Bioclimatology*. Springer Berlin Heidelberg ISBN 9783540630579.

AYMONINO, C., [1971] 1973. *La Vivienda Racional: Ponencias De Los Congresos CIAM 1929-1930*. Barcelona: Gustavo GIli ISBN 842520755X, 9788425207556.

BAKER, B., DIAZ, H., HARGROVE, W. and HOFFMAN, F., 2010. Use of the Köppen–Trewartha Climate Classification to Evaluate Climatic Refugia in Statistically Derived Ecoregions for the People's Republic of China. *Climatic Change*, 29 Julio 2009, Enero 2010, vol. 98, no. 1, pp. 113-131 ISSN 98:113-131. DOI 10.1007/s10584-009-9622-2.

BANHAM, R., 1969. *Ther Architecture of the Well-Tempered Environment*. Chicago: The University of Chicago Press ISBN 0-226-03696-0.

BANHAM, R., 1966. Le Corbusier: A Critique of His Work. *The Architectural Review*, vol. 834, no. octubre, pp. 97-108.

BANKS, M., 2010. *Los Datos Visuales En Inestigación Cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata ISBN 978-84-7112-670-2.

BAUER, C., 1934. *Modern Housing*. Boston, Nueva york: Houghton Mifflin Company.

BAWEJA, V., 2011. Otto Koenigsberger and the Tropicalization of British Architectural Culture. In: D. LU ed., Third World Modernism. Architecture, Development and IdentityOxon, Nueva york: Routledge. *Otto Koenigsberger and the Tropicalization of British Architectural Culture*, pp. 236-254 ISBN 0-203-84099-2.

BELDA, M., HOLTANOVÁ, E., HALENKA, T. and KALVOVÁ, J., 2014. Climate Classification Revisited: From Köppen to Trewartha. *Climate Research*, Febrero 2014, vol. 59, pp. 1-13 DOI 10.3354/cr01204.

BENEVOLO, L., 1974. *Histroria De La Arquitectura Moderna*. 8ª ed. Barcelona: Gustavo Gili.

BENEVOLO, L., MELOGRANI, C. and MELOGRANI, L., 1978. *La Proyectación De La Ciudad Moderna*. Barcelona: Gustavo Gili.

BENEYTO VIDAL, J., RIECHMANN, J. and FOLCH I GUILLEN, R., 2003. La Sostenibilidad, Un Nuevo Pensmaiento. *Cuadernos De Sostenibilidad y Patrimonio Cultural*, vol. 3, no. El nuevo horizonte de la sostenibilidad, pp. 95-122.

BENTON, T., 2007. *Le Corbusier Conférencier*. París: Éditions du Moniteur ISBN 978-2-281-19250-6.

BENTON, T., 1987. La Ville Baizeau Et Le Brise-Soleil. *Le Corbusier Et La Mediterranée*. Editions Parenthèses, Marsella ed., pp. 125-129.

BERLEANT, A., 2012. *Environmental Sensibility*. J. THIBAUD and D. SIRET eds., Montreal Canada ed. International Ambiances Network, 19-22 Septiembre 2012, ISBN 978-2-9520948-3-2.

BERMEJO FERNÁNDEZ, V., 1981. *Fenómenos Perceptivos Normales y Deformantes. La Constancia y Las Ilusiones*. Barcelona: UAB.

BLISTÈNE, B., 2015. Préface. In: F. MIGAYROU and O. CINQUALBRE eds., Le Corbusier. Mesures de l'hommeParis: Éditions du Centre Pompidou. *Préface*, pp. 10-11.

BOESIGUER, W. and GIRSBERGER, H., 1971. *Le Corbusier 1910-165*. Barcelona: Gustavo Gili.

BONILLO, J., 2006. La Modernité En Héritage. *Rives Nord-Méditerranées*, no. 24, pp. 89-99.

BRAGER, G.S., PALIAGA, G., DE DEAR, R.J., 2004. *UOperable wondows, personal control and occupant comfort*. ASHRAE Transactions 110 (2), pp. 510-526.

BRAVO FARRÉ, L., 1988. *Dibujo-Aprendizaje-Arquitectura Moderna*. Barcelona: Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona.

BRUNDTLAND, G.H., 1987. *Informe Brundtland: Our Common Future (Informe De La Comisión Mundial Sobre El Medio Ambiente y El Desarrollo, Nuestro Futuro Común)*. Nueva York: ONU.

BUCHANAN, P., 2012. A Pivotal Point on the Edge of History. *Architectural Design*, Julio 2012, vol. 82, no. 6, pp. 136-139 DOI DOI: 10.1002/ad.1508.

BUCK, R., 1985. Prime Theory: An Integrated View of Motivation and Emotion. *Psychological Review*, Julio 1985, vol. 92, no. 3, pp. 389-413 DOI http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.92.3.389.

BURETTE, M., 1783. Primera Disertación. Sobre los Atletas. In: Don Antonio de Sacha ed., Disertaciones de la Academia Real de las inscripciones y buenas letras de París. Tomo II.Madrid: Librería Aduana Vieja. *Primera Disertación. Sobre Los Atletas*, pp. 23-50.

BUSCH, J.F., 1995. *Thermal Comfort in Thai Air-Conditioned and Nautrally Ventilated Offices*. F. NICOL, M. HUMPHREYS, O. SYKES and S. ROAF eds., School of Architecture in Oxford Brookes University ed. Londres: Chapman & Hall, 26-28 Agosto 1994,.

BUSTAMANTE, C., JANS, M. and HIGUERAS, E., 2014. EL Comportamiento Del Viento En La Morfología Urbana y Su Incidencia En El Uso Estancial Del Espacio Público, Punta ARenas, Chile. *AUS (Valdivia)*, vol. 15, pp. 28-33 ISSN 0718-7262.

CAIVANO, J.L., 2007. La Compleja Relación Con El Color De Uno De Los Maestros De La Arquitectura Moderna: Nueva Edición De La Policromía Arquiectónica De Le Corbusier. *Luminotécnia*, no. 84, pp. 58-61.

CANDELA SUÁREZ, M., 2009. *Las Villas Meyer y Hutheesing-Shodan De Le Corbusier*. Barcelona: UPC, junio 2009,.

CARPINTERO, Ó. and RIECHMANN, J., 2013. Pensar La Transición: Enseñanzas y Esrategias Económica-Ecológicas. *Revista De Economía Crítica*, segundo semestre 2013, vol. 16, no. segundo semestre, pp. 45-107 ISSN 2013-5254.

CARRIÓN, J.C. and SANCHO, F., 1988. Consideraciones Sobre Balances Energéticos En Edificación. *Montajes e Instalaciones*, vol. 203, pp. 117-124.

CASTAÑARES, W., 2007. Cultura Visual y Crisis De La Experiencia. *Cuadernos De Información y Comunicación*, 28 junio 2007, vol. 12, pp. 29-48 ISSN 1135-7991.

COLLYMORE, P., 1983. *Raplh Erskine*. Barcelona: Gustavo Gili ISBN 8425211514.

COOPER, G., 1998. *Air-Conditioning America; Engineers and the Controlled Environment, 1900-1960*. Baltimore: The John Hopkins University Press ISBN 0-8018-7113-1.

CROSSET, P., 1987. Eyes which See. *Casabella*, vol. 531-532.

CUCHÍ, A. and SWEATMAN, P., 2013. *Informe GTR 2014. Estrategia Para La Rehabilitación. Claves Para Transformar El Sector De La Edificación En España*. Madrid: European Climate Foundation, CCEIM, diciembre 2013,.

CUCHÍ, A. and SWEATMAN, P., 2011. *Una Visión-País Para El Sector De La Edficación En España. Hoja De Ruta Para Un Nuevo Sector De La Vivienda*. Madrid: European Climate Foundation, CCEIM, noviembre 2011,.

DE CASTRO, M., GALLARDO, C., JYLHA, K. and TUOMENVIRTA, H., 2007. The use of a Climate-Type Classification for Assessing Climate Change Effects in Europe from an Ensemble of Nine Regional Climate Models, Mayo 2007, vol. 81, no. 1, pp. 329-341 ISSN - 0165-0009. DOI - 10.1007/s10584-006-9224-1.

DE SMET, C., 2005. *Le Corbusier: Un Architecte Et Ses Livres*. Springer Science & Business Media, 8 abril.

DE SMET, C., 2002. Livres d'architecte, livres d'artiste? In: J. LENIAUD and B. BOUVIER eds., Le livre d'architecture. XV-XX siècle, édition, représentations et bibliothèquesParís/Ginebra: Études et rencontres de l'École des Chartes. *Livres d'Architecte, Livres d'Artiste?*, pp. 157-170 ISBN 978-2-900791-53-0.

DEBORD, G.E., 1988. *Comentarios Sobre La Sociedad Del Espectáculo*. 2ª ed. Madrid: Anagrama, 1988 inicial, anagrama lo edita en 1990 y reedita en 2003 ISBN 978-84-339-1343-2.

DEL POZO BARAJAS, A., 2011. Carlo Aymonino (Ed): La Vivienda Racional: Ponencias De Los Congresos CIAM 1929-1930. *Progreso, Proyecto, Arquitectura*, Noviembre 2001, vol. 5 Vivienda Colectiva: Sentido de lo público, pp. 130-131 ISSN 2171-6897.

DEMERS, M., 2014. *Theoria: Travel as Paraphor*. 1 junio 2014, Available from: http://www.archodos.com/.

DENZER, A., 2015. *Solar House History*. Available from: http://solarhousehistory.com/blog/2013/11/5/zeilenbau-orientation.

DENZER, A., 2013. *Le Corbusier and the Sun*. 28 Octubre 2013, Available from: http://solarhousehistory.com/blog/2013/10/28/le-corbusier-and-the-sun.

DEVIN, B., 2006. Développement, Énergie, Environement: Changer De Paradigme. *Les Cahiers De Global Chance*, no. 21, pp. 44.

DUMONT, M., 1991. *Le Logment Social à Paris 1850-1930: Les Habitation à Bon Marché*. Lieja: Pierre Mardaga ISBN 2870093497, 9782870093498.

EBACH, M.C., 2015. *Origins of Biogeography: The Role of Biological Classification in Early Plant and Animal Geography*. New York: Springer, 3 julio ISBN 2211-1948/978-94-017-9998-0.

ELÍAS CASTILLO, F. and RUÍZ BELTRÁN, L., 1973. *Clasificación Agroclimática De España : Basada En La Clasificación Ecológica De Papadakis*. 1ª ed. Madrid: Ministerio del Aire, Servicio Meteorológico Nacional Catálogo Genral de Monografías de MAGRAMA. ISBN 84-500-6187-3.

EVANS, J.M., 2007. *The Comfort Triangles: A New Tool for Bioclimatic Design (Tesis Doctoral)*. Technische Universiteit Delf, septiembre 2007.

EVANS, J.M., 2003. Evaluating Comfrot with Varying Temperatures: A Graphic Design Tool. *Energy and Buildings*. Elsevier ed., no. 35, pp. 87-93 ISSN 0378-7788/03.

EVANS, J.M., 2001. *Las Tablas De Mahoney y Los Triangulos De Confort*. Maracaibo ed. Maracaibo: COTEDI.

EVANS, J.M., 1980. *Housing. Climate and Comfort*. Londres: The Architectural Press ISBN 0851391028, 9780851391021.

FATHY, H., 1969. *Gourna; a Tale of Two Villages*. El Cairo: Ministry of Culture.

FERNÁNDEZ ABASCAL, E., 1999. El estrés: Aspectos básicos y de intervención. In: E. FERNÁNDEZ ABASCAL and F. PALMERO eds., Emociones y saludBarcelona: Ariel S.A. *El Estrés: Aspectos Básicos y De Intervención*, ISBN 8434408813.

FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, L., SOLER MONRABAL, C., 2011. *El General Panel System De Konrad Wachsmann y Walter Gropius, 1941*. S. HUERTA, I. GIL CRESPO, S. GARCÍA and M. TAIN eds., Madrid: Instituto Juan de Herrera, 26-29 octubre 2001.

FOUNTAIN, M., BRAGER, G., DE DEAR, R., 1996. *Expectations of Indoor Climate Control*. Energy and Buildings, Vol. 24, pp. 179-82

FRAEDRICH, K., F.GERSTENGARBE, W. and WERNER, P.C., 2001. Climate Shift during the Last Century. *Climatic Change*, vol. 50, pp. 405-417.

FRAMPTON, K., 2001. *Le Corbusier*. Londres: Thames & Hudson.

FRANCO TABOADA, J.M., 2006. El Modulor De Le Corbusier (1943-1954). *Rev-Baetsa*, vol. 20, pp. 20-30 ISSN 0213-3474.

FRIBERG, C., 2012. *Hermeneutics of ambiance*. J. THIBAUD and D. SIRET eds., Montreal ed. Montreal: International Ambiances Network, Sep 2012,.

GARCÍA GÓMEZ-HERAS, J.M., 2005. Ética y Medio Ambiente. La Descomposición y Recomposición De La Razón Práctica. *Isegoría*. Velayos, Carmen ed., vol. 32, no. Ecología y moralidad, pp. 63-94 DOI 10.3989.

GARGIANI, R., 2015. Genèse et représentation de l'espace indicible. In: F. MIGAYROU and O. CINQUALBRE eds., Le Corbusier. Mesures de l´hommeÉditions du Centre Pmpidou. *Genèse Et Représentation De l'Espace Indicible*, pp. 162-171 ISBN 9782844266996.

GEIGER, R., 1950. *The Climate Near the Ground*. Cambirdge, Massachusetts: Harvard university Press.

GIMENO, J.R., RICO, M. and VICENTE, J., 1986. *La Educación De Los Sentidos: Teoría Ejercitaciones, Aplicaciones y Juegos*. Madrid: Santillana ISBN 9788429425161.

GIVONI, B., [1969] 1976. *Man, Climate and Architecture*. 2ª ed. London: Applied Science Publishers LTD ISBN 0-85334-678-X.

GOLDSTEIN, B.E., 2006. *Sensación y Percepción*. 6ª edición ed. Madrid: Thomson, D.L. ISBN 8497323882.

GÓMEZ AZPEITIA, G., BOJÓRQUEZ MORALES, G. and RUIZ TORRES, R.P., 2007. El Confort Térmico: Dos Enfoques Teóricos Enfrentados. *Palapa, Revista De Investigación Científica En Arquitectura*, vol. 2, no. 1, pp. 45-57 ISSN 1870-7483.

GÓMEZ SIERRA, C.M., 2002. Le Corbusier y La Casa Curruchet. *Área Digital*, vol. 2.

GÓMEZ, N., MONTIEL, L. and HIGUERAS, E., 2011. Herramientas De Evaluación y Diseño Del Microespacio Urbano Entre Edificaciones (Venezuela). *Civil Engineering Journal*, vol. 40 ISSN 0873-1152.

GONZÁLEZ CÁRDENAS, M.M., 2005. Auguste Perret (1874-1954) Patrimonio En Concreto Para La Humanidad. *Revista Bitácora Urbano Territoria*, vol. 1, no. 9, pp. 112-121.

GRIFFITHS, J.F., 1977. A Chronology of Items of Meteorological Interest. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Octubre 1977, vol. 58, no. Issue 10, pp. 1058-1068 DOI http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1977)058<1058:ACOIOM>2.0.CO;2.

GRIFFITHS, J.F.,., 1985. *ClimatologÍa Aplicada*. Mexico: Publicaciones Cultural /z-wcorg/. ISBN 9684392494 : 9789684392496.

GROAT, L. and WANG, D., 2002. *Architectural Research Methods*. Nueva york: John Wiley & sons ISBN 0-471-33365-4.

GROBER, H., 1974. Darwin's "Tree of Nature" and Other images of Wide Scope. In: J. WECHSLER ed., On Aesthetics in ScienceCambridge: MIT Press. *Darwin's "Tree of Nature" and Other Images of Wide Scope*, pp. 121-142.

GROPIUS, W., 1956. *Architektur*. Francfurt/Hamburgo: Fischer Verlag.

GUIRAO, M., 1980. *Los Sentidos, Bases De La Percepción*. Barcelona: Alhambra Universidad ISBN 8420507326.

GUTIÉRREZ GUIRADOT, R., 1997. *Provocaciones*. Bogotá: Editorial Ariel ISBN 9586145611, 9789586145619.

HALL, E., [1966] 2003. *La Dimensión Oculta*. México: Siglo veintiuno editores S.A. ISBN 968-23-2574-3.

HARZALLAH, A., SIRET, D., MONIN, A.and BOUYER, J., 2005. *Controverses Autour De l'axe Héliothermique : L'apport De La Simulation Physique à l'analyse Des Théories Urbaines*. París ed. París: INHA.

HAWKES, D., 2012. *Session 3: Style - Dean Hawkes: Technics and Poetics of the Architectural Environment*.

HERREROS GUERRA, J. and ÁBALOS VÁZQUEZ, I., 1987. De La Ventana Corrida Al Brise-Soleil. Los Lñimites De Una Idea. *Av Monografías*, vol. 10, pp. 70-73 ISSN 0213-487X.

HESCHONG, L., 1979. *Thermal Delight in Architecture*. Primera ed. Chicago: The Massachusetts Institute of Technology, 1 enero 1979 ISBN 0-262-58039-X.

HIGÓN CALVET, J.L., 2003. *Contribuciones Al Estudio Del Asoleo Geométrico. Procedimientos Para El Cálculo Del Factor De Obstrucción Solar. Aplicaciones*. Valencia: Universitat Politècnica de València, octubre 2003,.

HIGUERAS GARCÍA, E., 2013. *Urbanismo Aerodinámico: Innovacion Metodológica En La Investigación Sobre El Viento Urbano. V Jornadas Internacionales Sobre Investigación En Arquitectura Y Urbanismo*. Las Palmas de Gran Canaria, España ed. , 23/10/2013 - 25/10/2013,.

HILBERSEIMER, L., 1944. *The New City: Principles of Planning*. P. THEOBALD ed., Chicago: .

HOCKNEY, D., 2012. *El Gran Mensaje. Conversaciones Con Martin Gayford*. Madrid: Editorial Paraninfo.

HUMPHREYS, M.A., 1981. The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor climates. Bioingeeniering. Thermal Physiology and Comfort. CENA K., CLARK, J.A. Eds. Amsterdam: Elsevier, pp. 229-250.

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F., 1998. *Understanding the Adaptative Approach to Thermal Comfort*. ASHRAE Transactions 104 (1), pp. 991-1004.

HUMPHREYS, M.A., NICOL, J.F., 2001. *The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*. Actas de Windsor conference on Moving Thermal Comfort Standards into the 21st century. Oxford Brookes University.

IDAE., 2014. *Guías 007. Frecuencias Horarios De Repetición En Temperatura. Intervalo 24 Horas*. Madrid: IDAE, Noviembre 2014.

IDAE., 2010. *Guía Técnica 012. Condiciones Climáticas Exteriores De Proyecto*. Madrid: IDAE.

IDAE., 2007. *Comentarios RITE 2007*. Madrid: IDAE, Noviembre 2007.

IDAE., 1998. ITE 03 Cálculo. In: IDAE ed., Comentarios al RITE 1998IDAE ed. Madrid: . *ITE 03 Cálculo*, pp. 1-12.

IEA., 2008. *Informe IEA World Energy Outllok 2008*. París: IEA Publications.

IEA., 2008. *Task 41: Solar Energy and Architecture. Annex Plan December 2008*.

iPHA., 2015. *International Passive House Association*. 2015/05/09, Available from: http://passipedia.passiv.de/ppediaen/basics.

JENDRITZKY, G., MAAROUF, A.and STAIGER, H., 2001. *Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications*. Windsor, UK ed. , 5-8 abril 2001,.

KEIM, D.A., 2002. Information Visualization and Visual Data Mining. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, enero-marzo 2002, vol. 8, no. 1, pp. 1-8 ISSN 1077-2626. DOI 10.1109/2945.981847.

KOENIGSBERGER, O., INGERSOLL, T.G., MAYHEW, A. and SZOKOLAY, S.V., 1974. *Manual of Tropical Housing and Building. Climatic Design*. Chennai, India: Orient Longman Private Ltd. ISBN 978-81-250-1107-1.

KÖPPEN, W., 1931. *Grundis Der Kilmakunde*. Berlín: Walter de Gruyter.

KÖPPEN, W., 1923. *Der Klimate Der Erde. Grundiss Der Klimakunde*. Berlín: Walter de Gruyter.

KÖPPEN, W., 1884 (1991). Die Wärmezonen Der Erde, Nach Der Dauer Der Heissen, Gemässigten Und Kalten Zeit und nach Der Wirkung Der Wärme Auf Die Organische Welt Betrachtet (the Thermal Zones of the Earth According to the Duration of Hot, Moderate and Cold Periods and to the Impact of Heat on the Organic World). *Meteorologische Zeitschrift*, Junio 2011, vol. 1, pp. 215-226 ISSN 0941-2948/2011/105. DOI 10.1127/0941-2948/2011/105.

KOTTEK, M., GRIESGER, J., BECK, C. and RUDOLF, B., 2006. World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated. *Meteorologische Zeitschrift*. Gebrüder Borntraeger ed., Junio 2006, vol. 15, no. nº 3, pp. 259-263.

LARSSON, N., 2004. *Le Processus De Conception Intégrée*. Otawa: .

LAURENT, C., 2006. *Lecture Parallèle De Deux Méthodes d'Approche Des Ambiances Dans Le Projet Architectural. La Grille Climatique De Le Corbusier Et La Demarche De Haute Qualite Environnementale*. Nantes: École Nationale Supérieure d'ARchitecture de Nantes - CERMA.

LE CORBUSIER., 2010. *Le Corbusier En Bogotá: 1947-1951. Segunda Conferencia*. Bogotá: Compilación de artículos analíticos sobre la presencia de Le Corbusier en Bogotá y de sus conferencias.

LE CORBUSIER., 1997. Polychromie Architecturale. In: Polychromie architecturale. Le Corbusier's Color Keyboards from 1931 and 1959Basilea: Birkhäuser. *Polychromie Architecturale*, pp. 94-143.

LE CORBUSIER., 1958. *Oeuvre Complète 1952-1957*. W. BOESIGER ed., Zurich: Les Éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER, 1953. Building an Entire New City in India, Chandigarh. *Architectural Forum*, septiembre 1953, vol. 99, pp. 142-149.

LE CORBUSIER., 1953. *Oeuvre Complète 1946-1952*. W. BOESIGER ed., Zurich: Les Éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER., 1943. *Entretien Avec Les Étudiantes Des Écoles d'Architecture*. Paris: Éditions de Minuit, Reedición de 1993 ISBN 2707304271.

LE CORBUSIER., 1933. *La Ville Radieuse*. Vincent Fréal ed., .

LE CORBUSIER., 1930. *Précision Sur Un État De l'Architecture Et De l'Urbanisme*. París: Éditions G. Crès & Cie.

LE CORBUSIER, 1927. Théorie Du Toit-Jardin. *L'Architecture Vivante*, vol. otoño-invierno, pp. 13-18.

LE CORBUSIER., [1955]1962. *Modulor II*. Buenos Aires: Poseidón.

LE CORBUSIER., [1955] 2006. *Poéme De l'Angle Droit*. Círculo de Bellas Artes ISBN 84-86418-67-4.

LE CORBUSIER., [1948]1961. *El Modulor*. Buenos Aires: Poseidón.

LE CORBUSIER., [1937] 1958. *Cuando Las Catedrales Eran Blancas*. Buenos Aires: Editorial Poseidón.

LE CORBUSIER., [1922] 1977. *Hacia Una Arquitectura*. 1ª ed. Barcelona: Ediciones Apóstrofe ISBN b-47370-2006.

LE CORBUSIER and GIRAUDOUX, J., 1975. *Principios De Urbanismo: La Carta De Atenas*. 1ª, 5ª ed. Barcelona: Ariel, 1975-1989 ISBN 8434407051.

LE CORBUSIER and JEANERET, P., 1950. *Oeuvre Complète 1938-1946*. W. BOESIGER ed., Zurich: Les Éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER and JEANERET, P., 1938. *Oeuvre Complète 1934-1938*. M. BILL ed., Zurich: Les Éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER and JEANERET, P., 1937. *Oeuvre Complète 1910-1929*. W. BOESIGER and O. STONOROV eds., Zurich: Les éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER and JEANERET, P., 1934. *Oeuvre Complète 1929-1934*. W. BOESIGER ed., Zurich: Les Éditions d'Architecture.

LE CORBUSIER and PIERREFEU, F.d., 1942. *La Maison Des Hommes*. Paris: Éditions Plon.

LEVIN, D.M., 1994. *Modernity and the Hegemony of Vision*. D.M. LEVIN ed., Berkeley y Los Angeles: University of California Press.

LÓPEZ COTELO, B., 2012. *Sverre Fehn Desde El Dibujo*. A Coruña: Universidade da Coruña, noviembre 2012,.

MACIELA, A., FORD, B. and LAMBERTSA, R. Main Influences on the Design Philosophy and Knoledge Bases to Bioclimatic Integration into Architectural Design - the Example of Best Practices. *Building and Environment*. Elsevier ed., vol. 42, no. 10, pp. 3762-3773.

MAGRAMA, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente., 2010. *Servicio WMS (Web Map Service) Caracterización Agroclimática*. 01-03-2010, Available from: http://www.magrama.gob.es/ide/metadatos/srv/es/metadata.show?uuid=b72a61da-ebba-4892-9883-17f0cd76026b.

MAHONEY, C., 1971. *Climate and House Design*. J.M. EVANS and O. KOENIGSBERGER eds., Design of Low-cost Housing and Community Facilities. Volume I ed. New york: United Nations.

MAKUK SIERRALTA, M., 2010. La Noción De Significado En Frege, Russel y Wittgensttein: Aproximación Filosófica Comunicativa Del Lenguaje. *Logos: Revista De Lingüística, Filosofía y Literatura*, vol. 20, no. 2, pp. 42-55.

MARTÍN FUENTES, D., 2015. *Maisons Jaoul, Confort Higrotérmico y Su Percepción En La Arquitectura De Tipología Unifamiliar De Le Corbusier*. Ponencia para congreso LC 50 ed. Valencia: , 21-22 noviembre 2015,.

MARTÍNEZ SANTA-MARÍA, L., 2004. *Intersecciones*. Madrid: Rueda ISBN 8472071731/9788472071735.

MENIN, S. and SAMUEL, F., 2003. *Nature and Space. Aalto and Le Corbusier*. Londres: Route Ledge.

MIGAYROU, F., 2015. Les yeux dans les yeux. In: F. MIGAYROU and O. CINQUALBRE eds., Le Corbusier. Mesures de l'hommeÉditions du Centre Pmpidou. *Les Yeux Dans Les Yeux*, pp. 14-25 ISBN 9782844266996.

MIGAYROU, F. and CINQUALBRE, O., 2015. *Les Mesures De l'Homme*. Paris: Éditions du Centre Pompidou. Available from: https://www.centrepompidou.fr/cpv/resource/coy8gny/rzyodRb.

Ministerio de Fomento., 2015. *Documento Descriptivo Climas De Referencia*. Madrid: Ministerio de Fomento, Julio 2015,.

Ministerio de Fomento., 2013. *Código Técnico De La Edificación. Documento Básico HE (Ahorro De Energía)*. Documento básico ed. Madrid: España, Septiembre 2013, ISBN RD 314/2006 - Orden FOM/163/2013.

Ministerio de Fomento., 2009. *Código Técnico De La Edificación. Documento Básico HE (Ahorro De Energía)*. Documento básico ed. Madrid: España, Abril 2009, ISBN RD 314/2006.

Ministerio de Industria, Energía y Fomento., 2013. *Reglamenteo De Instalaciones Térmicas En Los Edificios - RITE Versión Consolidada 2013*. Madrid: España, Septiembre 2013, ISBN RD 1027/2007.

MOHOLY-NAGY, L., 1925. *Malerei, Fotographie, Film*. Munich: Albert Languen.

MORENO MANSILLA, L., 2002. *Apuntes De Viaje Al Interior Del Tiempo*. Fundación Caja de Arquitectos ISBN 8493138886, 9788493138882.

MOTTA, G., 1999. Lineamenti di una ricerca sul progetto di architettura. In: Il progetto di Architettura - Idee, scuole, tendenze all'alba del nuovo millennioRoma: Newton & Compton. *Lineamenti Di Una Ricerca Sul Progetto Di Architettura*, pp. 461-472 ISBN 9788882892944.

MUÑOZ COSME, A., 2008. *El Proyecto De Arquitectura: Concepto, Proceso y Representación*. Barcelona: Editorial Reverté ISBN 978-84-291-2116-2.

NEILA GONZÁLEZ, F.J., 2004. *Arquitectura Bioclimática En Un Entorno Sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.

NEILA GONZÁLEZ, F.J., 1997. *Técnicas Arquitectónicas y Constructivas De Acondicionamiento Ambiental*. Madrid: Munilla-Lería.

NICOL, F., 1993. *Thermal Comfort. A Handbook for Field Studies Toward an Adaptive Model*. London: University of East London.

NIETZSCHE, F., [1901] 2009. *La Voluntad De Poder*. 17ª ed. Madrid: EDAF ISBN 978-84-7166-654-3.

OLGYAY, A. and OLGYAY, V., 1957. *Solar Control and Shading Devices*. New Jersey: Princeton University Press.

OLGYAY, V., 1963. *Design with Climate*. New Jersey: Princeton University Press.

OLGYAY, V., 1968. *Clima y Arquitectura En Colombia*. Cali: Universidad del Valle, Facultad de Arqutectura.

ONG, B.L., 2012. *Ecology and the Aesthetics of Heat.* J. THIBAUD and D. SIRET eds., Montreal Canada ed. International Ambiances Network, 19-22 Septiembre 2012, ISBN 978-2-9520948-3-2.

PAGE, A., et al., 2011. *Nuevas Técnicas Para El Desarrollo De Productos Innovadores Orientados Al Ususario*. Asociación de Diseñadores de la Comunidad Valenciana ed., Valencia: IBV.

PALLASMAA, J., 2011. *Materia, Hapticidad y Tiempo, Imaginación Material y La Voz De La Materia*. ISBN 0212-5633.

PALLASMAA, J., 2009. *The Thinking Hand: Existential and Embodied Wisdom in Architecture*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd ISBN 0470779292, 9780470779293.

PALLASMAA, J., 2007. *Tocando El Mundo: Arquitectura, Hapticidad y La Emancipación De La Vista En Arquitectura y Hapticidad*. J.A. ALDRETE-HAAS ed., Universidad Iberoamericana - México ed. México: Universidad Iberoamericana, 2005, ISBN 978-968-859-630-2.

PALLASMAA, J., [1996] 2005. *The Eyes of the Skin: Architecture and the Senses*. London: John Wiley & Sons LTD. ISBN 978-0-470-01578-0.

PAULY, D., 2006. *Le Corbusier: Le Dessin Comme Outil*. Fage ed., Nancy: Musée des beaux-arts de Nancy.

PEEL, M.C., FINLAYSON, B.L. and MCMAHON, T.A., 2007. Updated World Map of the Koppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 octubre 2007, vol. 11, pp. 1633-1644 DOI 10.5194/hess-11-1633-2007.

PÉREZ TAMAYO, R., 1988. *Un problema actual de la filosofía de la ciencia".* Ciencia y Desarrollo. Consejo Nacional de Ciencia y TEcnología, 60, año XIV, myo-junio, pp.113.

PERLIN, J., 2013. *Let it Shine: The 6,000-Year Story of Solar Energy*. Novato, CA: New World Library ISBN 1608681327, 9781608681327.

PLUTCHNIK, R., 1985. On Emotion: The Chiken-and-Egg Problem Revisited. *Motivation and Emotion*. Kluwer Academic Publishers-Plenum Publishers ed., Junio 1985, vol. 9, no. 2, pp. 197-200 ISSN 1573-6644. DOI 10.1007/BF00991576.

REQUENA RUÍZ, I., 2013. *Informe De Investigación Realizada En La Fondation Le Corbusier*. Reporte de investigación ed. París: Fondation Le Corbusier.

REQUENA RUÍZ, I., 2012septiembre 2012. Medio Ambiente y Modernidad En La Obra De Le Corbusier a Través Del Dibujo. *EGA. Revista De Expresión Gráfica Arquitectónica*, no. 20, pp. 246-255 ISSN 2254-6103. DOI http://dx.doi.org/10.4995/ega.2012.1446.

REQUENA RUÍZ, I., 2012. *ANDRÉ MISSENARD: "L'homme Et Le Climat" (1937) y "A La Recherche De l'Homme " (1954)*. Mise au point: Le Corbusier: 2012/06/11, Available from: https://lecorbusierinpar.wordpress.com/2012/06/11/andre-missenard-lhomme-et-le-climat-1937-y-a-la-recherche-de-lhomme-1954/.

REQUENA RUÍZ, I., 2011. *Arquitectura Adaptada Al Clima En El Movimiento Moderno: Le Corbusier (1930-1960)*. Alicante: Universidad de Alicante, junio 2011,.

REQUENA, I., 2015. *Ambiance: Traduction En Espagnol*.

RIECHMANN, J., 2005. ¿Cómo Cambiar Hacia Sociedades Sostenibles? Reflexiones Sobre La Biomímesis y La Autolimitación. *Isegoría*. Velayos, Carmen ed., vol. 32, no. Ecología y moralidad, pp. 95-118 DOI 10.3989.

RIECHMANN, J. *Sostenibilidad: Algunas Reflexiones Básicas*. Madrid: ISTAS y Departamento Confederal de Medio Ambiente de C.C.O.O.

RUBEL, F. and KOTTEK, M., 2011. Comments on: "The Thermal Zones of the Earth" by Wladimir Koppen (1884). *Meteorologische Zeitschrift*, Junio 2011, vol. 20, no. 3, pp. 361-365 ISSN 0941-2948/2011/0258. DOI 10.1127/0941-2948/2011/0258.

RUBEL, F. and KOTTEK, M., 2010. Observed and Projected Climate Shifts 1901-2100 Depicted by World Maps of the Köppen-Geiger Climate Clasification. *Meteorologische Zeitschrift*, 1 Abril 2010, vol. 19, no. 2, pp. 135-141 DOI 10.1127/0941-2948/2010/0430.

RUDLOFF, W., 1988. *World Climates: With Tables of Climatic Data*. Taylor & Francis, 29 febrero 1988 Universidad de Michigan. ISBN 380470509X, 9783804705098.

RUDOFSKY, B., 1976. *Arquitectura Sin Arquitectos*. 2ª ed. Buenos Aires: Ed. Universitaria de Buenos Aires.

RÜEG, A., 2006. *Polychromie Architecturale. Le Corbusier's Color Keyboards from 1931 and 1959*. Birkhäuser - Publishers for ARchitecture ISBN 3764374756, 9783764374754.

RUSKIN, J., 1857. *The Elements of Drawing*. Smith, Elder, and Co. 65 ed., Cornhill: .

RUSSEL, J.A. and WOUDZIA, L., 1986. Affective Judgements, Common Sense and Zajnoc's Thesis of Independence. *Motivation and Emorion*, Junio 1986, vol. 10, no. 2, pp. 169-183 ISSN 1573-6644. DOI 10.1007/BF00992254.

RYBCZYNSKI, W., 1989. *Home, a Short History of an Idea (Le Confort)*. Quebec:

Éditions Roseau ISBN 2-920083-40-6.

SAINZ, J., 1990. *El Dibujo De Arquitectura: Teoría e Historia De Un Lenguaje Gráfico*. 2ª - 2005 ed. Madrid: Editorial Reverté ISBN 84-291-2106-4.

SAINZ, J. and VALDERRAMA, F., 1992. *Infografía y Arquitectura: Dibujo y Proyecto Asistidos Por Ordenador*. Madrid: Nerea.

SCHIAVON, S., HOYT, T. and PICCIOLI, A., 2014. Web Application for Thermal Comfort Visualization and Calculation According to ASHRAE Standard 55. *Building Simulation*, agosto 2014, vol. 7, no. 4, pp. 321-334 DOI http://dx.doi.org/10.1007/s12273-013-0162-3.

SCHIFFMAN, H.R., 1981. *La Percepción Sensorial*. México: Limusa ISBN 9681812859.

SERRA FLORENSA, R., 1999. *Arquitectura y Climas*. Barcelona: Gustavo Gili.

SERRA FLORENSA, R. and COCH ROURA, H., 1995. *Arquitectura y Energía Natural*. Primera ed. Barcelona: Edicions UPC, Septiembre de 1995 ISBN 84-7653-505-8.

SERRA, J., LLOPIS, J., TORRES, A. and GIMÉNEZ, M., 2015. Color Combination Criteria in Le Corbusier's Purist Architecture Based on Salubra Claviers from 1931. *Color Research and Application*. Carter, Ellen C. ed., 28 enero ISSN 1520-6378. DOI 10.1002/col.21940.

SERT, J.L., 1965. Témignages Pour Le Corbusier. *L'Architecture d'Aujourd'Hui*, vol. 121, pp. V-VI.

SHNEIDERMAN, B., 1996. The Eye have it: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations. *Visual Languages*, septiembre 1996, vol. 96, pp. 1-8.

SHODHAN BASU, M., 2008. *Le Corbusier's Villa Shodhan*. Copenhague: The Royal Danish Academy of Fine Arts. School of Architecture Publishers.

SIRET, D., 2006. 1950 - Grille Climatique (Chandigarh). In: Le Corbusier - Plans DVD n° 11Echelle-I C7o Codex Images International,Febrero 2006. *1950 - Grille Climatique (Chandigarh)*.

SIRET, D., 2004. Généalogie Du Brise-Soleil Dans l'Oeuvre De Le Corbusier: Carthage, Marseille, Chandigarh. *Collectif, Filliation(s)*. EAL/Jean-Michel Place, ed., vol. Cahiers Thématiques n° 4.

SIRET, D., 2002. L'Illusion Du Brise-Soleil Par Le Corbusier. *Colloques Langages Scientifiques Et Pensée Critique: Modélisation, Environnement, Décision Publique*. Cerisy, Francia ed., junio 2002.

SIRET, D. and HARZALLAH, A., 2006. *Architecture Et Contrôle De l'Ensoleillement*. Saint-Pierre de la Réunion ed. Saint-Pierre de la Réunion: , 2006,.

SMITHSON, A. and SMITHSON, P., 1960. The Function of ARchitecture in Cultures-in-Change. *Architectural Design*, abril 1960, vol. 30, no. 4, pp. 149-150.

SÖMMER, R., 1974. *Tight Spaces: Hard ARchitecture and how to Humanize it*. New Jersey: Prentice Hall ISBN 9780139213465.

SÖMMER, R., 1969. *Personal Space: The Behavioural Basis of Design*. New Jersey: Prentice Hall.

SONTAG, s., 1973. *On Photography*. Nueva York: Penguin Books.

STERKEN, S., 2004. *Ianis Xenakis. Ingénieur Et Architecte. Une Analyse Thématique De l'Oeuvre, Suivie d'Une Inventaire Critique De La Collaboration Avec Le Corbusier, Des Projets Architecturaux Et Des Installations Réalisées Dans Le Domaine Multimedia*. Gent: Universiteit Gent, Department of Architecture and Urban Planning.

STEVENSON, J.J., 1880.Londres: Macmillan and Co.

STIRLING, J., [1955] 1995. Le Corbusier Como Arquitecto Doméstico En 1927 y 1953. *Anales De Arquitectura - the Architectural Review*, vol. 1933-1944, no. 5, pp. 209-213.

TESTUT, L. and LATARJET, A., 2004. *Compendio De Anatomía Descriptiva*. A. LATARJET ed., Madrid: Elsevier España ISBN 8445805525, 9788445805527.

THIBAUD, J. and SIRET, D., 2012. *Embedding Ambiance in Action*. J. THIBAUD and D. SIRET eds., Montreal Canada ed. International Ambiances Network, 19-22 Septiembre 2012, ISBN 978-2-9520948-3-2.

TORRES CUECO, J., 2004. *Le Corbuiser: Visiones De La Técnica En Cinco Tiempos*. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos ISBN 8493370118, 9788493370114.

TREWARTHA, G.T. and HORN, L.H., 1980. *Introduction to Climate*. 5ª edición ed. New York: Mc Graw Hill.

TUFTE, E., [1987] 2001. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphic Press ISBN 1930824130, 9781930824133.

UBBELOHDE, S., 2003. The Dance of a Summer Day: Le Corbusier' Sarabhai House in Ahmedabad, India. *Journal of the Internacional Associatión for the Study of Tradicional Enviroments*. UC Berkeley ed., primavera 2003, vol. XIV, no. 2, pp. 65-80.

ULMER, G.L., 1994. *Heuretics: The Logic of Invention*. John Hopkins University Press, 1

marzo 1994 ISBN 0801847176, 9780801847172.

URBANO-LÓPEZ DE MENESES, B., 2013. Naturación Urbana, Un Desafío a La Urbanización. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*. Universidad Autónoma de Chapingo ed., vol. 19, no. 2, mayo-agosto, pp. 225-235 ISSN 2007-3828.

Varios., 2010. *IEA SHC, Task 41 - Solar Energy and Architecture. Subtask B - Methods and Tools for Solar Design. Report T.41.B.1*. M. DUBOIS and M. HORVAT eds., International Energy Agency.

VELAYOS-CASTELO, C., 2015. *El Cambio Climático y Los Límites Del Individualismo*. Barcelona: Horsori edoitorial, julio 2015 ISBN 978-84-15212-6.

WAGENFELD, M.J., 2013. *Aesthetics of Air.* RMIT University, Agosto 2013,.

WINTER, P., 1938. Le Corbusier, Biologiste, sociologue. In: M. BILL ed., Oeuvre complète 1934-1938Zurich: Les Éditions d'Architecture. *Le Corbusier, Biologiste, Sociologue*, pp. 13-15.

WOGENSKY, A., 1967. Le Corbusier Et La Forme Habitable. *L'Architecture d'Aujourd'Hui*, vol. 130, no. febrero-marzo, pp. 2.

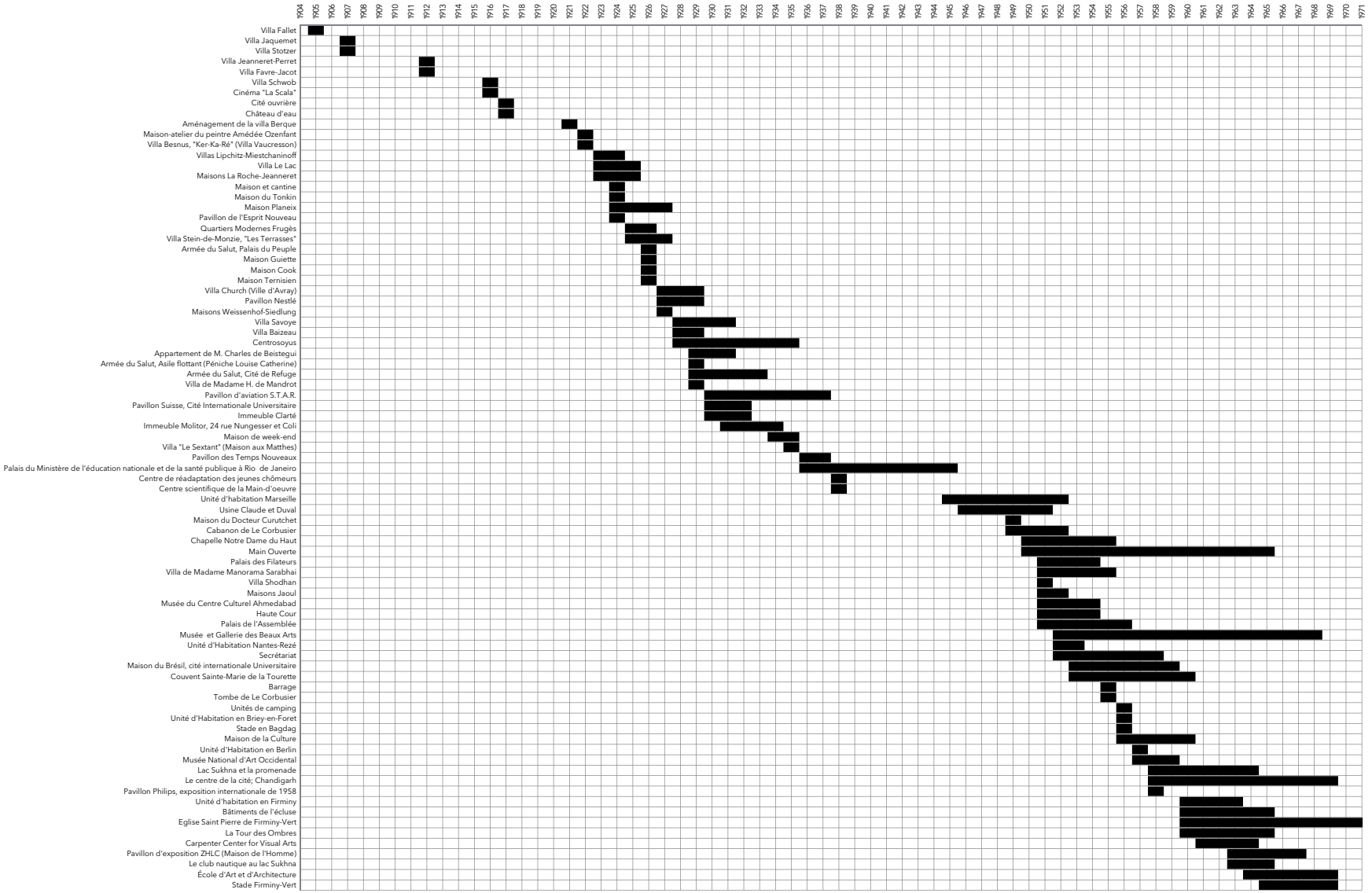
WRIGHT, H.N. and NELSON, G., 1945. *Tomorrow's House: How to Plan Your Postwar House Now.* Nueva York: Simon and Schuste.

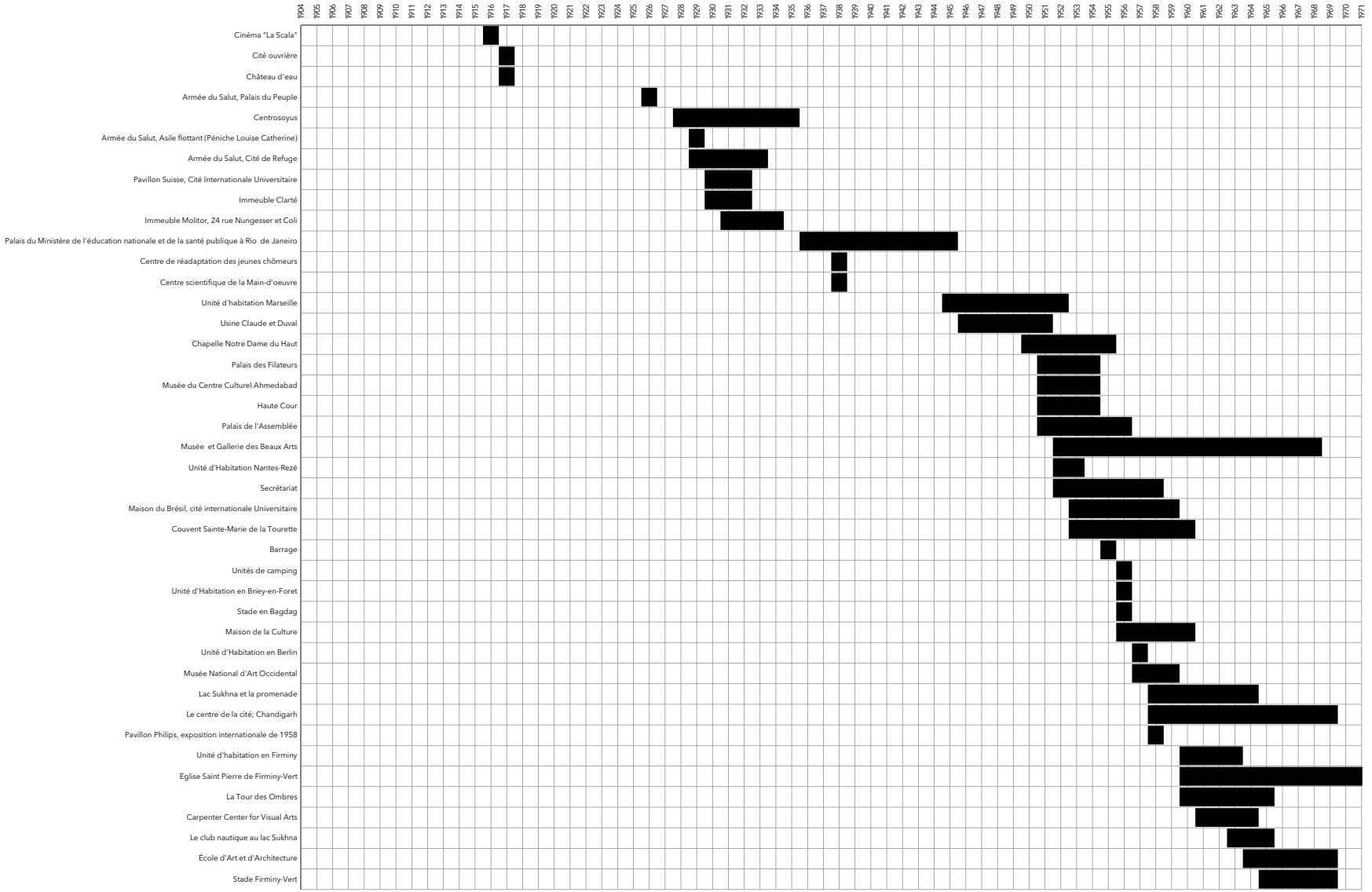
YÁÑEZ PARAREDA, G., 2008. *Arquitectura Solar e Iluminación Natural. Conceptos, Métodos y Ejemplos*. Madrid: Munilla-Laría ISBN 978-84-89150-81-2.

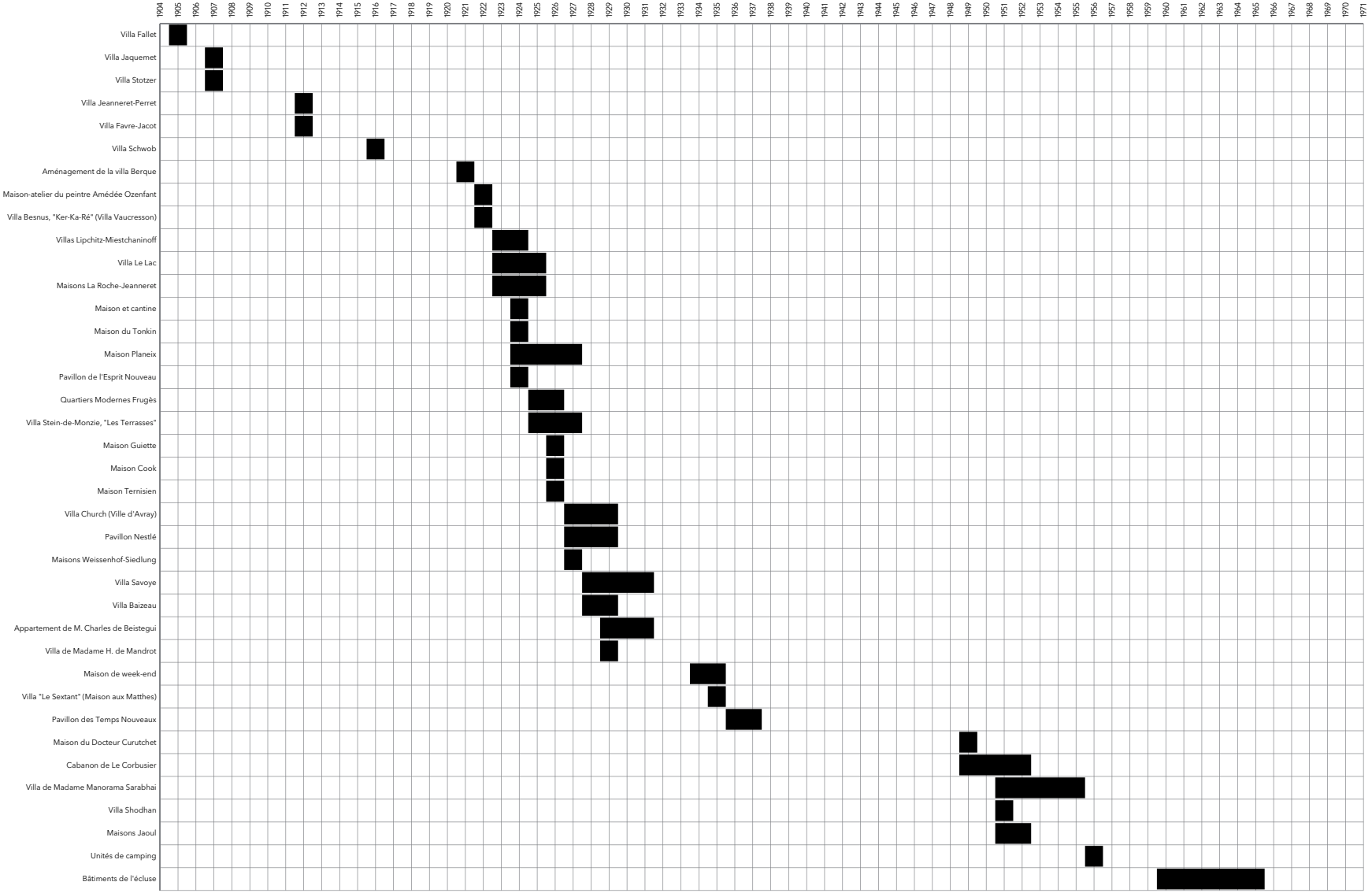
ZAKNIC, I., 2004. *Le Corbusier. Pavillon Suisse. the Biography of a Building*. Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser - Publishers for Architecture ISBN 3-7643-0009-4.

ZUMTHOR, P., 2006. *Atmósferas: Entornos Arquitectónicos - Las Cosas a Mi Alrededor*. Barcelona: Gustavo Gili ISBN 842522117X, 9788425221170.

G.3.2. Anexo I. Diagramas cronológicos




1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971
Cinéma "La Scala"
Cité ouvrière
Château d'eau
Armée du Salut, Palais du Peuple
Centrosoyus
Armée du Salut, Asile flottant (Péniche Louise Catherine)
Armée du Salut, Cité de Refuge
Pavillon Suisse, Cité Internationale Universitaire
Immeuble Clarté
Immeuble Molitor, 24 rue Nungesser et Coli
Palais du Ministère de l'éducation nationale et de la santé publique à Rio de Janeiro
Centre de réadaptation des jeunes chômeurs
Centre scientifique de la Main-d'oeuvre
Unité d'habitation Marseille
Usine Claude et Duval
Chapelle Notre Dame du Haut
Palais des Filateurs
Musée du Centre Culturel Ahmedabad
Haute Cour
Palais de l'Assemblée
Musée et Gallerie des Beaux Arts
Unité d'Habitation Nantes-Rezé
Secrétariat
Maison du Brésil, cité internationale Universitaire
Couvent Sainte-Marie de la Tourette
Barrage
Unités de camping
Unité d'Habitation en Briey-en-Foret
Stade en Bagdag
Maison de la Culture
Unité d'Habitation en Berlin
Musée National d'Art Occidental
Lac Sukhna et la promenade
Le centre de la cité; Chandigarh
Pavillon Philips, exposition internationale de 1958
Unité d'habitation en Firminy
Eglise Saint Pierre de Firminy-Vert
La Tour des Ombres
Carpenter Center for Visual Arts
Le club nautique au lac Sukhna
École d'Art et d'Architecture
Stade Firminy-Vert


1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971
Villa Fallet
Villa Jaquemet
Villa Stotzer
Villa Jeanneret-Perret
Villa Favre-Jacot
Villa Schwob
Aménagement de la villa Berque
Maison-atelier du peintre Amédée Ozenfant
Villa Besnus, "Ker-Ka-Ré" (Villa Vaucresson)
Villas Lipchitz-Miestchaninoff
Villa Le Lac
Maisons La Roche-Jeanneret
Maison et cantine
Maison du Tonkin
Maison Planeix
Pavillon de l'Esprit Nouveau
Quartiers Modernes Frugès
Villa Stein-de-Monzie, "Les Terrasses"
Maison Guiette
Maison Cook
Maison Ternisien
Villa Church (Ville d'Avray)
Pavillon Nestlé
Maisons Weissenhof-Siedlung
Villa Savoye
Villa Baizeau
Appartement de M. Charles de Beistegui
Villa de Madame H. de Mandrot
Maison de week-end
Villa "Le Sextant" (Maison aux Matthes)
Pavillon des Temps Nouveaux
Maison du Docteur Curutchet
Cabanon de Le Corbusier
Villa de Madame Manorama Sarabhai
Villa Shodhan
Maisons Jaoul
Unités de camping
Bâtiments de l'écluse

G.3.3. Anexo II. Tablas de datos de monitorización y simulación

			VESTIBULOS MONITORIZACION INVIERNO								VESTÍBULOS SIMULADO INVIERNO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HALL FS Tª Aire	M HALL FS Hr	M HALL FS Tª Rad	M HALL FS Tª op	MHALL MdB Tª Aire	M HALL MdB Hr	M HALL MdB Tª Rad	M HALL MdB Tª op	S HALL FS Tª Aire	S HALL FS Tª Rad	S HALL FS Tª op	S HALL MdB Tª Aire	S HALL MdB Tª Rad	S HALL MdB Tª op
1	12/01/2015	14:30	20,5	46,5	20,0	20,3	18,5	44,2	18,6	18,6	13,7	10,5	12,1	11,7	11,9	11,8
2	12/01/2015	15:00	20,7	46,8	20,1	20,4	18,4	44,6	18,5	18,5	14,0	10,3	12,1	11,7	11,9	11,8
3	12/01/2015	15:30	20,6	46,1	19,9	20,3	18,4	44,8	18,6	18,5	13,8	10,5	12,2	11,6	11,8	11,8
4	12/01/2015	16:00	20,6	46,2	20,0	20,3	18,3	44,8	18,4	18,4	13,9	10,2	12,0	11,6	11,8	11,8
5	12/01/2015	16:30	20,7	46,0	19,8	20,3	18,3	44,7	18,3	18,3	13,9	10,2	12,1	11,5	11,7	11,7
6	12/01/2015	17:00	20,6	46,3	19,8	20,2	18,2	44,9	18,4	18,3	13,8	10,2	12,0	11,4	11,6	11,7
7	12/01/2015	17:30	20,5	47,3	19,9	20,2	18,3	45,7	18,3	18,3	13,6	10,0	11,8	11,4	11,6	11,6
8	12/01/2015	18:00	20,4	49,7	20,0	20,2	18,2	46,3	18,6	18,4	13,5	10,1	11,8	11,3	11,5	11,5
9	12/01/2015	18:30	20,0	50,3	19,8	19,9	18,2	46,3	18,4	18,3	13,0	10,1	11,5	11,2	11,5	11,5
10	12/01/2015	19:00	19,8	51,1	19,7	19,8	18,2	46,3	18,2	18,2	12,7	9,9	11,3	11,1	11,4	11,4
11	12/01/2015	19:30	19,8	51,0	19,8	19,8	18,3	46,9	18,2	18,3	12,6	9,8	11,2	11,1	11,4	11,3
12	12/01/2015	20:00	20,0	51,8	19,9	20,0	18,2	47,2	18,2	18,2	12,8	9,7	11,2	11,0	11,4	11,3
13	12/01/2015	20:30	19,9	52,8	19,8	19,9	18,3	47,0	18,4	18,4	12,6	10,0	11,3	11,0	11,4	11,2
14	12/01/2015	21:00	19,9	57,4	19,7	19,8	18,2	46,6	18,4	18,3	12,6	10,0	11,3	10,9	11,3	11,2
15	12/01/2015	21:30	20,0	55,9	19,7	19,9	18,2	46,3	18,3	18,3	12,7	9,9	11,3	10,9	11,3	11,2
16	12/01/2015	22:00	20,0	54,1	19,7	19,9	18,2	46,5	18,3	18,3	12,7	9,9	11,3	10,9	11,3	11,1
17	12/01/2015	22:30	20,3	49,8	20,0	20,2	18,2	46,3	18,3	18,3	13,0	9,6	11,3	10,9	11,3	11,1
18	12/01/2015	23:00	20,2	50,1	19,7	20,0	18,2	46,8	18,3	18,3	12,9	9,9	11,4	10,9	11,3	11,1
19	12/01/2015	23:30	20,3	49,1	19,7	20,0	18,2	47,2	18,2	18,2	12,9	9,7	11,3	10,8	11,2	11,1
20	13/01/2015	0:00	20,2	48,8	19,6	19,9	18,1	47,2	18,0	18,1	12,9	9,6	11,3	10,8	11,2	11,1
21	13/01/2015	0:30	20,2	48,3	19,6	19,9	18,0	47,2	18,0	18,0	13,0	9,6	11,3	10,8	11,2	11,0
22	13/01/2015	1:00	20,0	49,2	19,3	19,7	18,0	47,3	17,8	17,9	12,8	9,7	11,2	10,8	11,2	11,0
23	13/01/2015	1:30	19,9	49,8	19,2	19,6	18,0	47,4	18,0	18,0	12,6	9,9	11,3	10,7	11,1	11,0
24	13/01/2015	2:00	19,8	50,2	19,0	19,4	18,0	47,6	18,0	18,0	12,5	10,1	11,3	10,7	11,1	11,0
25	13/01/2015	2:30	19,7	50,5	18,9	19,3	18,0	47,9	18,1	18,1	12,3	10,3	11,3	10,6	11,1	10,9
26	13/01/2015	3:00	19,7	50,2	18,9	19,3	18,0	48,1	18,0	18,0	12,3	10,2	11,2	10,6	11,1	10,9
27	13/01/2015	3:30	19,6	50,3	18,9	19,3	17,9	48,4	17,9	17,9	12,3	10,0	11,1	10,6	11,0	10,9
28	13/01/2015	4:00	19,5	50,5	18,8	19,2	18,0	48,6	18,3	18,2	12,0	10,5	11,3	10,5	11,0	10,8
29	13/01/2015	4:30	19,5	50,2	18,9	19,2	17,8	47,6	17,9	17,9	12,2	10,0	11,1	10,5	11,0	10,8
30	13/01/2015	5:00	19,4	50,4	18,7	19,1	17,8	46,4	17,7	17,8	12,1	9,9	11,0	10,5	10,9	10,8
31	13/01/2015	5:30	19,3	50,3	18,6	19,0	17,8	45,7	17,5	17,7	12,0	9,8	10,9	10,5	10,9	10,7
32	13/01/2015	6:00	19,3	50,1	18,5	18,9	17,9	45,1	17,7	17,8	11,9	10,1	11,0	10,5	10,9	10,7
33	13/01/2015	6:30	19,2	49,7	18,4	18,8	17,9	44,3	17,2	17,6	11,8	9,7	10,7	10,5	10,9	10,7
34	13/01/2015	7:00	19,1	49,4	18,1	18,6	17,9	43,6	17,2	17,6	11,7	10,0	10,8	10,5	10,9	10,7
35	13/01/2015	7:30	19,1	49,0	18,0	18,6	17,9	43,0	17,0	17,5	11,6	9,9	10,8	10,4	10,9	10,7
36	13/01/2015	8:00	19,0	48,7	17,9	18,5	17,9	42,7	17,1	17,5	11,5	10,1	10,8	10,4	10,9	10,7
37	13/01/2015	8:30	19,0	48,3	17,8	18,4	18,0	43,5	17,0	17,5	11,4	10,0	10,7	10,4	10,8	10,7
38	13/01/2015	9:00	18,9	48,3	17,8	18,4	18,1	43,6	16,8	17,5	11,1	9,8	10,5	10,3	10,8	10,6
39	13/01/2015	9:30	18,8	46,8	17,9	18,4	18,1	42,8	17,0	17,6	11,0	9,9	10,4	10,3	10,8	10,6
40	13/01/2015	10:00	18,9	46,9	18,0	18,5	18,2	42,3	17,0	17,6	11,0	9,8	10,4	10,3	10,8	10,6
41	13/01/2015	10:30	18,8	46,6	17,9	18,4	18,2	42,1	16,7	17,5	10,9	9,6	10,2	10,3	10,8	10,5
42	13/01/2015	11:00	18,8	46,2	17,9	18,4	18,3	42,3	16,6	17,5	10,8	9,5	10,2	10,3	10,8	10,5
43	13/01/2015	11:30	18,8	46,2	17,9	18,4	18,4	42,7	16,5	17,5	10,8	9,4	10,1	10,4	10,8	10,5
44	13/01/2015	12:00	18,8	46,2	17,9	18,4	18,3	43,2	16,2	17,3	10,9	9,2	10,0	10,4	10,9	10,6
45	13/01/2015	12:30	19,0	46,5	17,8	18,4	18,3	44,6	16,2	17,3	11,1	9,3	10,2	10,4	10,9	10,6
46	13/01/2015	13:00	19,1	48,6	17,9	18,5	18,4	45,7	16,2	17,3	11,2	9,2	10,2	10,5	10,9	10,6
47	13/01/2015	13:30	19,5	47,8	18,4	19,0	18,4	46,8	16,1	17,3	11,6	8,7	10,2	10,5	11,0	10,7
48	13/01/2015	14:00	19,9	47,5	18,8	19,4	18,4	47,3	16,5	17,5	12,1	8,7	10,4	10,6	11,0	10,7
49	13/01/2015	14:30	20,1	46,5	18,8	19,5	18,4	48,1	17,1	17,8	12,4	9,4	10,9	10,7	11,1	10,8
50	13/01/2015	15:00	20,3	45,8	19,2	19,8	18,4	48,2	17,4	17,9	12,6	9,3	11,0	10,7	11,1	10,8
51	13/01/2015	15:30	20,3	46,1	19,2	19,8	18,4	50,4	17,7	18,1	12,7	9,6	11,1	10,8	11,1	10,9
52	13/01/2015	16:00	20,5	46,0	19,5	20,0	18,4	51,7	17,9	18,2	12,9	9,5	11,2	10,8	11,1	10,9
53	13/01/2015	16:30	20,5	46,3	19,5	20,0	18,4	51,4	18,2	18,3	12,9	9,8	11,3	10,8	11,1	10,9
54	13/01/2015	17:00	20,5	46,9	19,7	20,1	17,8	47,6	17,7	17,8	13,5	9,0	11,3	10,8	11,0	11,0
55	13/01/2015	17:30	20,4	49,7	19,8	20,1	17,8	46,4	17,7	17,8	13,3	8,9	11,1	10,7	11,0	10,9
56	13/01/2015	18:00	20,3	49,0	19,9	20,1	17,8	45,7	17,9	17,9	13,2	8,9	11,1	10,7	10,9	10,9
57	13/01/2015	18:30	20,3	48,9	20,1	20,2	17,9	45,1	17,6	17,8	13,0	8,4	10,7	10,6	10,9	10,9
58	13/01/2015	19:00	20,3	49,6	20,2	20,3	17,9	44,3	17,8	17,9	13,0	8,5	10,7	10,6	10,9	10,8
59	13/01/2015	19:30	20,2	49,4	20,2	20,2	17,9	43,6	17,9	17,9	12,8	8,6	10,7	10,5	10,9	10,8
60	13/01/2015	20:00	20,2	49,4	20,1	20,2	17,9	43,0	17,8	17,9	12,8	8,5	10,6	10,5	10,8	10,7
61	13/01/2015	20:30	20,3	49,2	20,0	20,2	17,9	42,7	17,8	17,9	12,7	8,6	10,7	10,3	10,8	10,7
62	13/01/2015	21:00	20,3	49,6	19,9	20,1	18,0	43,5	18,0	18,0	12,5	8,8	10,7	10,2	10,7	10,7
63	13/01/2015	21:30	20,3	49,7	19,9	20,1	18,1	43,6	18,1	18,1	12,3	8,9	10,6	10,1	10,7	10,6
64	13/01/2015	22:00	20,2	49,8	19,8	20,0	18,1	42,8	18,1	18,1	12,1	8,9	10,5	10,0	10,6	10,5
65	13/01/2015	22:30	20,3	49,5	20,0	20,2	18,2	42,3	18,3	18,3	12,1	8,9	10,5	10,0	10,6	10,4
66	13/01/2015	23:00	20,2	50,1	19,8	20,0	18,2	42,1	18,2	18,2	12,0	9,0	10,5	10,0	10,6	10,3
67	13/01/2015	23:30	20,2	50,6	19,8	20,0	18,3	42,3	18,4	18,4	11,9	9,2	10,5	10,0	10,6	10,3
68	14/01/2015	0:00	20,1	50,4	19,5	19,8	18,4	42,7	18,6	18,5	11,7	9,6	10,7	10,0	10,5	10,3
69	14/01/2015	0:30	20,2	49,6	19,5	19,9	18,3	43,2	18,5	18,4	11,8	9,5	10,7	9,9	10,5	10,3
70	14/01/2015	1:00	20,1	50,5	19,4	19,8	18,3	44,6	18,5	18,4	11,7	9,6	10,6	9,9	10,5	10,3
71	14/01/2015	1:30	20,0	50,9	19,2	19,6	18,4	45,7	18,5	18,5	11,4	9,7	10,6	9,8	10,4	10,2
72	14/01/2015	2:00	19,8	50,9	19,1	19,5	18,4	46,8	18,5	18,5	11,2	9,8	10,5	9,8	10,4	10,2
73	14/01/2015	2:30	19,8	50,9	19,0	19,4	18,4	47,3	18,7	18,6	11,2	10,1	10,6	9,8	10,4	10,1
74	14/01/2015	3:00	19,6	50,9	18,8	19,2	18,4	48,1	18,7	18,6	11,0	10,3	10,6	9,8	10,4	10,1

			VESTIBULOS MONITORIZACION INVIERNO								VESTÍBULOS SIMULADO INVIERNO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HALL FS Tª Aire	M HALL FS Hr	M HALL FS Tª Rad	M HALL FS Tª op	MHALL MdB Tª Aire	M HALL MdB Hr	M HALL MdB Tª Rad	M HALL MdB Tª op	S HALL FS Tª Aire	S HALL FS Tª Rad	S HALL FS Tª op	S HALL MdB Tª Aire	S HALL MdB Tª Rad	S HALL MdB Tª op
75	14/01/2015	3:30	19,6	50,8	18,9	19,3	18,4	48,2	18,8	18,6	11,0	10,2	10,6	9,8	10,3	10,1
76	14/01/2015	4:00	19,5	50,7	18,8	19,2	18,4	50,4	18,7	18,6	10,8	10,2	10,5	9,7	10,3	10,1
77	14/01/2015	4:30	19,5	50,5	19,0	19,3	18,4	51,7	18,3	18,4	10,8	9,6	10,2	9,7	10,3	10,0
78	14/01/2015	5:00	19,4	50,3	18,7	19,1	18,4	51,4	18,5	18,5	10,6	10,0	10,3	9,6	10,2	10,0
79	14/01/2015	5:30	19,4	50,4	18,8	19,1	17,7	46,3	17,4	17,6	11,3	8,8	10,0	9,6	10,2	10,0
80	14/01/2015	6:00	19,3	50,2	18,5	18,9	17,7	46,5	17,3	17,5	11,1	8,9	10,0	9,5	10,1	9,9
81	14/01/2015	6:30	19,3	50,2	18,4	18,9	17,7	46,7	17,2	17,5	11,1	8,9	10,0	9,5	10,1	9,9
82	14/01/2015	7:00	19,2	50,0	18,2	18,7	17,8	46,8	16,9	17,4	10,9	8,8	9,8	9,5	10,1	9,8
83	14/01/2015	7:30	19,2	49,8	18,1	18,7	17,7	46,7	16,5	17,1	11,0	8,4	9,7	9,5	10,0	9,8
84	14/01/2015	8:00	19,1	50,0	17,8	18,5	17,7	46,4	16,5	17,1	10,8	8,7	9,8	9,4	10,0	9,8
85	14/01/2015	8:30	19,1	50,8	17,9	18,5	17,9	46,4	16,6	17,3	10,7	8,7	9,7	9,5	10,0	9,7
86	14/01/2015	9:00	18,7	44,6	17,7	18,2	17,9	46,8	16,6	17,3	10,3	8,9	9,6	9,5	10,0	9,7
87	14/01/2015	9:30	18,8	45,3	17,9	18,4	17,9	45,8	16,6	17,3	10,9	9,0	10,0	10,0	10,3	9,7
88	14/01/2015	10:00	18,9	48,1	18,1	18,5	18,0	44,8	16,6	17,3	11,4	9,1	10,3	10,5	10,6	9,7
89	14/01/2015	10:30	19,0	50,7	18,2	18,6	17,9	44,4	16,3	17,1	12,3	9,4	10,9	11,2	11,3	10,2
90	14/01/2015	11:00	18,9	49,5	18,0	18,5	18,0	44,0	16,1	17,1	12,8	10,0	11,4	11,9	11,9	10,6
91	14/01/2015	11:30	18,9	49,5	18,0	18,5	18,1	44,1	16,1	17,1	13,5	10,7	12,1	12,7	12,6	11,3
92	14/01/2015	12:00	19,0	49,1	18,1	18,6	18,2	44,0	16,1	17,2	14,3	11,3	12,8	13,5	13,3	11,9
93	14/01/2015	12:30	19,0	49,3	17,8	18,4	18,2	43,7	16,1	17,2	14,9	12,1	13,5	14,1	13,8	12,7
94	14/01/2015	13:00	19,0	49,3	17,7	18,4	18,3	43,2	16,4	17,4	15,3	13,0	14,2	14,6	14,3	13,4
95	14/01/2015	13:30	19,0	49,4	17,9	18,5	18,4	46,8	16,6	17,5	15,6	13,3	14,5	15,0	14,6	13,9
96	14/01/2015	14:00	19,1	53,2	17,9	18,5	18,4	47,3	16,6	17,5	16,1	13,7	14,9	15,4	15,0	14,5
97	14/01/2015	14:30	19,1	52,1	18,1	18,6	18,4	48,1	17,1	17,8	16,2	14,1	15,2	15,5	15,1	14,8
98	14/01/2015	15:00	19,1	52,1	18,0	18,6	18,4	48,2	17,3	17,9	16,4	14,6	15,5	15,7	15,3	15,2
99	14/01/2015	15:30	19,1	51,1	18,0	18,6	18,4	50,4	17,6	18,0	16,4	14,9	15,7	15,7	15,3	15,3
100	14/01/2015	16:00	19,4	50,1	18,4	18,9	18,4	51,7	17,9	18,2	16,8	14,7	15,8	15,8	15,2	15,5
101	14/01/2015	16:30	19,5	49,7	18,5	19,0	18,4	51,4	18,1	18,3	16,5	14,4	15,5	15,4	14,8	15,5
102	14/01/2015	17:00	19,6	49,9	18,8	19,2	18,9	41,5	18,6	18,8	15,8	14,2	15,0	15,1	14,4	15,5
103	14/01/2015	17:30	19,7	50,0	19,1	19,4	18,7	41,2	18,5	18,6	15,2	13,3	14,3	14,2	13,9	15,1
104	14/01/2015	18:00	19,6	50,7	19,2	19,4	18,6	41,3	18,4	18,5	14,4	12,6	13,5	13,4	13,4	14,8
105	14/01/2015	18:30	19,5	51,8	19,3	19,4	18,5	41,4	18,3	18,4	14,0	12,2	13,1	13,0	13,2	14,1
106	14/01/2015	19:00	19,4	52,0	19,3	19,4	18,4	41,3	18,3	18,4	13,7	12,0	12,8	12,7	13,0	13,4
107	14/01/2015	19:30	19,3	52,2	19,3	19,3	18,3	41,3	18,2	18,3	13,5	11,8	12,6	12,5	12,9	13,1
108	14/01/2015	20:00	19,4	52,1	19,3	19,4	18,3	41,6	18,4	18,4	13,4	11,8	12,6	12,3	12,7	12,8
109	14/01/2015	20:30	19,4	52,2	19,1	19,3	18,3	42,0	18,4	18,4	13,3	12,0	12,6	12,2	12,7	12,7
110	14/01/2015	21:00	19,5	52,3	19,1	19,3	18,2	42,3	18,5	18,4	13,4	12,0	12,7	12,1	12,6	12,5
111	14/01/2015	21:30	19,5	56,8	19,1	19,3	18,2	42,8	18,5	18,4	13,3	11,9	12,6	12,0	12,5	12,4
112	14/01/2015	22:00	19,6	53,7	19,2	19,4	18,2	43,3	18,6	18,4	13,3	11,8	12,6	11,9	12,4	12,3
113	14/01/2015	22:30	19,6	53,6	19,2	19,4	18,2	43,7	18,5	18,4	13,3	11,7	12,5	11,9	12,4	12,3
114	14/01/2015	23:00	19,6	53,2	19,0	19,3	18,2	44,3	18,3	18,3	13,2	11,6	12,4	11,8	12,3	12,2
115	14/01/2015	23:30	19,7	52,8	19,3	19,5	18,0	45,1	18,2	18,1	13,4	11,2	12,3	11,7	12,3	12,1
116	15/01/2015	0:00	19,7	51,8	19,4	19,6	17,9	46,0	18,2	18,1	13,4	11,0	12,2	11,6	12,2	12,0
117	15/01/2015	0:30	19,7	51,4	19,6	19,7	17,9	46,9	18,2	18,1	13,3	10,7	12,0	11,5	12,1	12,0
118	15/01/2015	1:00	19,6	50,7	18,8	19,2	17,9	47,5	18,3	18,1	13,1	11,6	12,3	11,4	12,1	11,9
119	15/01/2015	1:30	19,4	51,0	18,7	19,1	17,9	48,3	18,3	18,1	12,8	11,6	12,2	11,3	12,0	11,8
120	15/01/2015	2:00	19,4	51,7	18,6	19,0	17,9	48,6	18,2	18,1	12,7	11,5	12,1	11,2	11,9	11,7
121	15/01/2015	2:30	19,3	51,4	18,5	18,9	17,9	49,1	18,0	18,0	12,6	11,4	12,0	11,2	11,9	11,7
122	15/01/2015	3:00	19,3	51,2	18,5	18,9	17,9	49,2	18,1	18,0	12,5	11,4	11,9	11,1	11,8	11,6
123	15/01/2015	3:30	19,3	51,0	18,6	19,0	17,9	48,9	18,0	18,0	12,4	11,1	11,8	11,0	11,7	11,5
124	15/01/2015	4:00	19,2	51,2	18,6	18,9	17,9	48,5	17,9	17,9	12,2	11,0	11,6	10,9	11,7	11,4
125	15/01/2015	4:30	19,1	51,1	18,6	18,9	17,8	47,6	17,7	17,8	12,1	10,7	11,4	10,8	11,6	11,4
126	15/01/2015	5:00	19,1	51,1	18,4	18,8	17,8	46,4	17,7	17,8	12,0	10,8	11,4	10,7	11,5	11,3
127	15/01/2015	5:30	19,1	51,3	18,5	18,8	17,8	45,7	17,5	17,7	11,9	10,4	11,2	10,6	11,4	11,2
128	15/01/2015	6:00	19,0	51,2	18,2	18,6	17,9	45,1	17,3	17,6	11,6	10,5	11,0	10,5	11,4	11,1
129	15/01/2015	6:30	19,0	51,0	18,1	18,6	17,9	44,3	17,6	17,8	11,5	10,8	11,1	10,4	11,3	11,0
130	15/01/2015	7:00	18,9	50,7	17,9	18,4	17,9	43,6	17,5	17,7	11,3	10,8	11,0	10,3	11,2	10,9
131	15/01/2015	7:30	18,8	50,5	17,8	18,3	17,9	43,0	17,5	17,7	11,1	10,8	11,0	10,2	11,1	10,8
132	15/01/2015	8:00	18,9	50,4	17,7	18,3	17,9	42,7	17,2	17,6	11,1	10,6	10,8	10,1	11,1	10,7
133	15/01/2015	8:30	18,7	47,4	17,5	18,1	18,0	43,5	17,3	17,7	10,8	10,8	10,8	10,1	11,0	10,6
134	15/01/2015	9:00	18,7	46,6	17,7	18,2	18,1	43,6	17,2	17,7	10,7	10,5	10,6	10,1	11,0	10,6
135	15/01/2015	9:30	18,7	46,7	17,8	18,3	18,1	42,8	17,1	17,6	11,1	10,5	10,8	10,5	11,2	10,5
136	15/01/2015	10:00	18,6	46,5	17,8	18,2	18,2	42,3	17,2	17,7	11,3	10,9	11,1	10,9	11,5	10,5
137	15/01/2015	10:30	18,6	46,7	17,7	18,2	18,2	42,1	17,2	17,7	11,9	11,6	11,8	11,5	12,1	10,9
138	15/01/2015	11:00	18,6	46,8	17,7	18,2	18,3	42,3	17,3	17,8	12,5	12,3	12,4	12,2	12,7	11,2
139	15/01/2015	11:30	18,7	47,4	17,8	18,3	18,4	42,7	17,4	17,9	13,2	12,8	13,0	12,9	13,2	11,8
140	15/01/2015	12:00	18,8	49,0	17,9	18,4	18,3	43,2	17,2	17,8	14,1	13,1	13,6	13,6	13,8	12,4
141	15/01/2015	12:30	18,7	50,8	17,5	18,1	18,3	44,6	17,2	17,8	14,5	13,9	14,2	14,1	14,2	13,1
142	15/01/2015	13:00	18,8	51,5	17,5	18,2	18,4	45,7	17,3	17,9	15,0	14,3	14,6	14,6	14,5	13,7
143	15/01/2015	13:30	18,8	50,5	17,7	18,3	18,4	46,8	17,2	17,8	15,3	14,3	14,8	14,9	14,8	14,1
144	15/01/2015	14:00	18,8	52,6	17,7	18,3	18,4	47,3	17,3	17,9	15,6	14,6	15,1	15,2	15,0	14,6
		MEDIA	19,5		18,8	19,2	18,1		17,7	17,9	12,6	10,5	11,6	11,24	11,63	11,39
		MAX	20,7		20,2	20,4	18,9		18,8	18,8	16,8	14,9	15,8	15,77	15,31	15,51
		MIN	18,6		17,5	18,1	17,7		16,1	17,1	10,3	8,4	9,6	9,44	9,98	9,72
		MIN 1	18,8		17,8	18,4	17,8		16,1	17,3	10,8	8,7	10,0	9,44	10,76	10,52
		MAX 1	20,7		20,1	20,4	18,5		18,6	18,6	14,0	10,5	12,2	15,77	11,90	11,78
		MIN 2	18,7		17,7	18,2	17,7		16,1	17,1	10,3	8,4	9,6	11,24	9,98	9,72
		MAX 2	20,5		20,2	20,3	18,4		18,8	18,6	16,1	13,7	14,9	15,19	14,95	14,47
		MIN 3	18,6		17,5	18,1	17,8		17,1	17,6	10,7	10,4	10,6	10,06	10,96	10,51
		MAX 3	19,7		19,6	19,7	18,9		18,6	18,8	16,8	14,9	15,8	15,77	15,31	15,51

			HABITACIONES MONITORIZACION INVIERNO								HABITACIONES SIMULADO INVIERNO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HAB FS Tª Aire	M HAB FS Hr	M HAB FS Tª Rad	M HAB FS Tª op	M HAB MdB Tª Aire	M HAB MdB Hr	M HAB MdB Tª Rad	M HAB MdB Tª op	S HAB FS Tª Aire	S HAB FS Tª Rad	S HAB FS Tª op	S HAB MdB Tª Aire	S HAB MdB Tª Rad	S HAB MdB Tª op
1	12/01/2015	14:30	21,4	32,0	20,9	21,2	21,0	39,4	21,7	21,4	11,2	11,7	11,4	10,8	10,9	10,8
2	12/01/2015	15:00	21,5	34,0	20,9	21,2	20,9	39,3	21,6	21,3	11,4	11,6	11,5	10,8	10,9	10,8
3	12/01/2015	15:30	21,7	33,9	21,0	21,4	20,8	39,6	21,6	21,2	11,6	11,5	11,5	10,7	10,9	10,8
4	12/01/2015	16:00	21,4	34,5	20,8	21,1	20,5	39,3	21,2	20,9	11,6	11,2	11,4	10,7	10,8	10,8
5	12/01/2015	16:30	21,3	34,9	20,4	20,9	20,5	39,4	21,1	20,8	11,5	11,5	11,5	10,7	10,8	10,7
6	12/01/2015	17:00	20,4	35,3	19,6	20,0	20,6	39,6	21,4	21,0	10,4	12,6	11,5	10,6	10,8	10,7
7	12/01/2015	17:30	19,9	35,9	19,3	19,6	20,5	39,7	21,1	20,8	9,9	12,6	11,2	10,5	10,8	10,6
8	12/01/2015	18:00	19,5	36,3	19,1	19,3	20,5	39,9	21,5	21,0	9,5	13,1	11,3	10,5	10,7	10,6
9	12/01/2015	18:30	20,0	37,0	19,8	19,9	20,4	40,0	21,2	20,8	10,0	12,1	11,0	10,4	10,7	10,5
10	12/01/2015	19:00	20,1	35,1	20,0	20,1	20,4	40,1	21,0	20,7	10,1	11,7	10,9	10,4	10,7	10,5
11	12/01/2015	19:30	20,0	34,8	20,0	20,0	20,4	40,3	20,9	20,7	10,0	11,5	10,8	10,4	10,6	10,5
12	12/01/2015	20:00	20,2	34,2	20,1	20,2	20,4	40,3	21,0	20,7	10,1	11,5	10,8	10,3	10,6	10,5
13	12/01/2015	20:30	20,1	33,5	20,0	20,1	20,4	40,2	21,1	20,8	10,0	11,7	10,8	10,3	10,6	10,4
14	12/01/2015	21:00	20,0	32,7	19,8	19,9	20,4	40,1	21,2	20,8	10,2	12,0	11,1	10,6	10,6	10,6
15	12/01/2015	21:30	19,9	33,0	19,6	19,8	20,4	40,2	21,1	20,8	10,5	12,1	11,3	11,0	10,6	10,8
16	12/01/2015	22:00	19,8	33,3	19,5	19,7	20,3	40,2	21,0	20,7	10,8	12,1	11,5	11,3	10,6	11,0
17	12/01/2015	22:30	20,0	32,8	19,7	19,9	20,3	40,3	21,0	20,7	11,3	12,0	11,6	11,6	10,7	11,1
18	12/01/2015	23:00	19,9	32,6	19,4	19,7	20,3	40,5	21,0	20,7	11,1	12,3	11,7	11,5	10,7	11,1
19	12/01/2015	23:30	19,8	33,1	19,2	19,5	20,4	42,1	21,0	20,7	10,9	12,5	11,7	11,5	10,7	11,1
20	13/01/2015	0:00	19,9	33,4	19,3	19,6	20,3	41,7	20,8	20,6	11,0	12,2	11,6	11,4	10,7	11,0
21	13/01/2015	0:30	20,0	34,0	19,4	19,7	20,3	41,5	20,9	20,6	11,1	12,1	11,6	11,4	10,6	11,0
22	13/01/2015	1:00	19,8	34,8	19,1	19,5	20,3	41,4	20,7	20,5	10,9	12,2	11,6	11,4	10,6	11,0
23	13/01/2015	1:30	19,7	35,5	19,0	19,4	20,3	41,3	20,9	20,6	10,8	12,5	11,7	11,4	10,6	11,0
24	13/01/2015	2:00	19,9	36,8	19,1	19,5	20,3	41,3	20,9	20,6	11,0	12,4	11,7	11,4	10,6	11,0
25	13/01/2015	2:30	19,6	37,9	18,8	19,2	20,3	41,4	21,0	20,7	10,6	12,8	11,7	11,3	10,6	11,0
26	13/01/2015	3:00	19,9	38,6	19,1	19,5	20,3	41,5	20,9	20,6	10,9	12,4	11,7	11,3	10,6	11,0
27	13/01/2015	3:30	20,1	39,9	19,4	19,8	20,2	41,6	20,8	20,5	11,2	12,0	11,6	11,3	10,6	10,9
28	13/01/2015	4:00	19,8	41,0	19,1	19,5	20,3	41,7	21,2	20,8	10,8	12,7	11,7	11,3	10,6	10,9
29	13/01/2015	4:30	20,2	40,4	19,6	19,9	20,2	41,7	20,9	20,6	11,3	11,9	11,6	11,3	10,6	10,9
30	13/01/2015	5:00	20,2	40,0	19,5	19,9	20,3	41,8	20,8	20,6	11,2	11,9	11,5	11,3	10,6	10,9
31	13/01/2015	5:30	20,2	40,3	19,5	19,9	20,3	41,8	20,6	20,5	11,2	11,7	11,4	11,3	10,6	10,9
32	13/01/2015	6:00	20,2	41,3	19,4	19,8	20,2	41,8	20,6	20,4	11,3	11,8	11,5	11,3	10,6	10,9
33	13/01/2015	6:30	20,3	42,3	19,5	19,9	20,2	41,7	20,1	20,2	11,4	11,2	11,3	11,3	10,6	10,9
34	13/01/2015	7:00	20,6	43,8	19,6	20,1	20,2	41,6	20,1	20,2	11,9	11,1	11,5	11,5	10,6	11,0
35	13/01/2015	7:30	20,7	43,9	19,6	20,2	20,2	41,4	19,9	20,1	12,1	10,9	11,5	11,6	10,6	11,1
36	13/01/2015	8:00	20,5	43,9	19,4	20,0	20,2	41,1	20,0	20,1	11,8	11,2	11,5	11,5	10,6	11,0
37	13/01/2015	8:30	20,2	44,2	19,0	19,6	20,2	40,9	19,8	20,0	11,3	11,4	11,3	11,3	10,6	10,9
38	13/01/2015	9:00	20,1	43,3	19,0	19,6	20,2	40,6	19,5	19,9	10,8	11,0	10,9	10,9	10,5	10,7
39	13/01/2015	9:30	20,0	43,3	19,1	19,6	20,3	40,3	19,8	20,1	10,2	11,1	10,7	10,5	10,4	10,5
40	13/01/2015	10:00	20,1	42,6	19,2	19,7	20,4	40,3	19,8	20,1	9,9	10,9	10,4	10,2	10,3	10,3
41	13/01/2015	10:30	20,1	42,1	19,2	19,7	20,3	40,4	19,4	19,9	9,7	10,5	10,1	9,9	10,3	10,1
42	13/01/2015	11:00	20,2	41,5	19,3	19,8	20,2	40,6	19,1	19,7	9,9	10,1	10,0	9,9	10,3	10,1
43	13/01/2015	11:30	20,3	41,4	19,4	19,9	20,3	40,7	19,0	19,7	9,9	9,9	9,9	9,9	10,3	10,1
44	13/01/2015	12:00	20,3	40,9	19,4	19,9	20,3	40,8	18,8	19,6	9,9	9,7	9,8	9,9	10,3	10,1
45	13/01/2015	12:30	20,2	40,0	19,0	19,6	20,2	41,1	18,7	19,5	9,9	10,0	10,0	9,9	10,3	10,1
46	13/01/2015	13:00	20,5	39,2	19,3	19,9	20,3	41,2	18,7	19,5	10,1	9,7	9,9	9,9	10,3	10,1
47	13/01/2015	13:30	20,6	38,4	19,5	20,1	20,3	41,5	18,6	19,5	10,3	9,4	9,8	10,0	10,3	10,1
48	13/01/2015	14:00	20,9	37,9	19,8	20,4	20,5	42,8	19,2	19,9	10,4	9,7	10,0	10,0	10,3	10,1
49	13/01/2015	14:30	21,1	37,3	19,8	20,5	20,6	43,2	19,9	20,3	10,5	10,4	10,5	10,0	10,3	10,2
50	13/01/2015	15:00	21,5	36,9	20,4	21,0	20,6	43,2	20,2	20,4	10,9	10,1	10,5	10,0	10,3	10,2
51	13/01/2015	15:30	21,7	36,6	20,6	21,2	20,6	43,1	20,5	20,6	11,2	10,2	10,7	10,1	10,3	10,2
52	13/01/2015	16:00	21,4	36,5	20,4	20,9	20,6	43,2	20,7	20,7	10,9	10,6	10,8	10,1	10,3	10,2
53	13/01/2015	16:30	21,1	36,3	20,1	20,6	20,5	43,3	20,9	20,7	10,7	11,1	10,9	10,1	10,3	10,2
54	13/01/2015	17:00	20,8	36,2	20,0	20,4	20,4	43,2	20,9	20,7	10,5	11,2	10,9	10,1	10,3	10,2
55	13/01/2015	17:30	20,4	36,0	19,8	20,1	20,4	43,2	20,9	20,7	10,1	11,4	10,7	10,1	10,3	10,2
56	13/01/2015	18:00	20,3	37,3	19,9	20,1	20,4	43,2	21,1	20,8	9,9	11,5	10,7	10,0	10,3	10,2
57	13/01/2015	18:30	20,0	37,0	19,8	19,9	20,4	43,1	20,7	20,6	9,6	11,2	10,4	10,0	10,3	10,1
58	13/01/2015	19:00	20,0	35,1	19,9	20,0	20,4	43,0	20,9	20,7	9,6	11,2	10,4	10,0	10,2	10,1
59	13/01/2015	19:30	20,0	34,6	20,0	20,0	20,4	43,0	21,0	20,7	9,5	11,2	10,4	9,9	10,2	10,1
60	13/01/2015	20:00	19,9	33,9	19,8	19,9	20,3	43,0	20,8	20,6	9,4	11,2	10,3	9,8	10,2	10,0
61	13/01/2015	20:30	19,8	33,0	19,5	19,7	20,3	43,1	20,8	20,6	9,2	11,4	10,3	9,7	10,1	9,9
62	13/01/2015	21:00	19,7	32,5	19,3	19,5	20,3	43,1	20,9	20,6	9,3	11,7	10,5	9,9	10,1	10,0
63	13/01/2015	21:30	19,9	31,8	19,5	19,7	20,3	43,2	20,9	20,6	9,7	11,5	10,6	10,1	10,1	10,1
64	13/01/2015	22:00	19,9	30,9	19,5	19,7	20,3	43,2	20,9	20,6	10,0	11,5	10,7	10,4	10,1	10,2
65	13/01/2015	22:30	19,9	30,5	19,6	19,8	20,3	43,2	21,0	20,7	10,3	11,5	10,9	10,7	10,1	10,4
66	13/01/2015	23:00	19,8	30,3	19,4	19,6	20,3	43,1	20,9	20,6	10,2	11,6	10,9	10,7	10,1	10,4
67	13/01/2015	23:30	19,9	30,6	19,5	19,7	20,3	43,0	21,0	20,7	10,3	11,5	10,9	10,7	10,0	10,4
68	14/01/2015	0:00	19,7	31,0	19,1	19,4	20,3	42,9	21,1	20,7	10,1	12,0	11,0	10,7	10,0	10,3
69	14/01/2015	0:30	20,0	31,3	19,3	19,7	20,3	42,8	21,1	20,7	10,3	11,8	11,1	10,6	10,0	10,3
70	14/01/2015	1:00	19,8	33,1	19,1	19,5	20,3	42,7	21,1	20,7	10,1	12,0	11,0	10,6	10,0	10,3
71	14/01/2015	1:30	19,9	33,0	19,1	19,5	20,3	42,7	21,0	20,7	10,2	11,9	11,0	10,6	10,0	10,3
72	14/01/2015	2:00	20,0	32,5	19,3	19,7	20,3	42,6	21,0	20,7	10,3	11,6	11,0	10,6	9,9	10,3
73	14/01/2015	2:30	20,1	32,0	19,3	19,7	20,3	42,4	21,2	20,8	10,4	11,8	11,1	10,6	9,9	10,3
74	14/01/2015	3:00	19,9	31,8	19,1	19,5	20,3	42,2	21,2	20,8	10,2	12,0	11,1	10,6	9,9	10,2

			HABITACIONES MONITORIZACION INVIERNO								HABITACIONES SIMULADO INVIERNO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HAB FS Tª Aire	M HAB FS Hr	M HAB FS Tª Rad	M HAB FS Tª op	M HAB MdB Tª Aire	M HAB MdB Hr	M HAB MdB Tª Rad	M HAB MdB Tª op	S HAB FS Tª Aire	S HAB FS Tª Rad	S HAB FS Tª op	S HAB MdB Tª Aire	S HAB MdB Tª Rad	S HAB MdB Tª op
75	14/01/2015	3:30	19,8	31,9	19,1	19,5	20,3	41,9	21,3	20,8	10,0	12,1	11,1	10,5	9,9	10,2
76	14/01/2015	4:00	19,7	32,3	19,0	19,4	20,3	41,7	21,2	20,8	9,9	12,1	11,0	10,5	9,9	10,2
77	14/01/2015	4:30	19,7	32,7	19,2	19,5	20,3	41,4	20,8	20,6	9,9	11,5	10,7	10,5	9,9	10,2
78	14/01/2015	5:00	19,8	33,1	19,1	19,5	20,3	41,3	21,0	20,7	9,9	11,7	10,8	10,4	9,8	10,1
79	14/01/2015	5:30	19,8	33,7	19,2	19,5	20,3	41,1	20,6	20,5	9,9	11,2	10,6	10,4	9,8	10,1
80	14/01/2015	6:00	19,6	34,2	18,8	19,2	20,3	40,9	20,5	20,4	9,7	11,5	10,6	10,4	9,8	10,1
81	14/01/2015	6:30	19,8	35,0	18,9	19,4	20,3	40,7	20,4	20,4	9,9	11,3	10,6	10,4	9,8	10,1
82	14/01/2015	7:00	19,9	35,9	18,9	19,4	20,3	40,6	20,0	20,2	10,1	10,9	10,5	10,5	9,8	10,1
83	14/01/2015	7:30	20,0	36,7	18,9	19,5	20,3	40,5	19,7	20,0	10,4	10,6	10,5	10,7	9,8	10,2
84	14/01/2015	8:00	19,9	37,8	18,6	19,3	20,3	40,4	19,7	20,0	10,2	10,9	10,5	10,6	9,8	10,2
85	14/01/2015	8:30	19,7	38,5	18,5	19,1	20,3	40,4	19,6	20,0	9,9	10,9	10,4	10,5	9,8	10,1
86	14/01/2015	9:00	19,6	39,4	18,6	19,1	20,3	40,3	19,6	20,0	9,5	10,8	10,1	10,2	9,8	10,0
87	14/01/2015	9:30	19,4	40,0	18,5	19,0	20,3	40,3	19,6	20,0	9,0	10,8	9,9	9,9	9,7	9,8
88	14/01/2015	10:00	19,5	40,8	18,7	19,1	20,3	40,1	19,5	19,9	8,9	10,5	9,7	9,7	9,7	9,7
89	14/01/2015	10:30	19,8	41,3	19,0	19,4	20,3	40,0	19,3	19,8	9,0	10,1	9,5	9,5	9,8	9,6
90	14/01/2015	11:00	19,8	41,5	18,9	19,4	20,4	39,7	19,1	19,8	9,1	10,1	9,6	9,7	9,9	9,8
91	14/01/2015	11:30	19,8	41,4	18,9	19,4	21,4	38,0	20,0	20,7	8,3	11,1	9,7	9,9	10,0	9,9
92	14/01/2015	12:00	20,0	40,9	19,1	19,6	21,8	36,2	20,3	21,1	8,4	11,3	9,8	10,2	10,1	10,1
93	14/01/2015	12:30	20,0	40,0	18,8	19,4	20,9	36,1	19,4	20,2	9,5	10,8	10,2	10,4	10,2	10,3
94	14/01/2015	13:00	20,2	39,2	18,9	19,6	20,8	36,8	19,5	20,2	10,0	11,0	10,5	10,6	10,4	10,5
95	14/01/2015	13:30	20,5	38,4	19,4	20,0	20,8	37,3	19,6	20,2	10,5	10,7	10,6	10,8	10,5	10,6
96	14/01/2015	14:00	20,6	37,9	19,4	20,0	21,0	37,1	19,8	20,4	10,5	11,0	10,7	10,9	10,6	10,7
97	14/01/2015	14:30	20,8	37,3	19,8	20,3	20,9	37,4	20,2	20,6	10,9	11,0	11,0	11,0	10,6	10,8
98	14/01/2015	15:00	21,0	36,9	19,9	20,5	20,8	37,9	20,3	20,6	11,2	11,1	11,2	11,0	10,7	10,9
99	14/01/2015	15:30	21,3	36,6	20,2	20,8	20,7	38,2	20,5	20,6	11,7	11,0	11,4	11,1	10,7	10,9
100	14/01/2015	16:00	21,3	36,5	20,3	20,8	20,6	38,3	20,7	20,7	11,8	11,2	11,5	11,1	10,8	10,9
101	14/01/2015	16:30	20,9	36,3	19,9	20,4	20,4	38,5	20,7	20,6	11,6	11,6	11,6	11,1	10,8	10,9
102	14/01/2015	17:00	20,6	36,2	19,8	20,2	20,4	38,7	20,7	20,6	11,2	11,7	11,4	11,0	10,8	10,9
103	14/01/2015	17:30	20,3	36,0	19,7	20,0	20,3	38,8	20,7	20,5	10,9	11,7	11,3	10,9	10,7	10,8
104	14/01/2015	18:00	20,1	35,7	19,7	19,9	20,3	38,8	20,7	20,5	10,6	11,7	11,1	10,8	10,7	10,7
105	14/01/2015	18:30	20,0	35,4	19,8	19,9	20,2	38,9	20,6	20,4	10,4	11,4	10,9	10,6	10,6	10,6
106	14/01/2015	19:00	19,9	35,3	19,8	19,9	20,2	38,9	20,7	20,5	10,3	11,5	10,9	10,6	10,6	10,6
107	14/01/2015	19:30	19,7	35,6	19,7	19,7	20,2	39,0	20,7	20,5	10,0	11,5	10,8	10,5	10,5	10,5
108	14/01/2015	20:00	19,8	34,9	19,7	19,8	20,2	39,0	20,9	20,6	10,0	11,7	10,9	10,4	10,5	10,5
109	14/01/2015	20:30	19,9	34,7	19,6	19,8	20,2	39,1	20,9	20,6	10,1	11,8	10,9	10,4	10,5	10,4
110	14/01/2015	21:00	19,9	33,1	19,5	19,7	20,2	39,1	21,1	20,7	10,4	12,1	11,3	10,7	10,5	10,6
111	14/01/2015	21:30	19,9	32,6	19,5	19,7	20,2	39,3	21,1	20,7	10,7	12,2	11,4	11,0	10,6	10,8
112	14/01/2015	22:00	19,9	32,4	19,5	19,7	20,2	39,5	21,2	20,7	11,0	12,3	11,6	11,3	10,6	10,9
113	14/01/2015	22:30	19,9	31,3	19,5	19,7	20,2	39,6	21,1	20,7	11,2	12,2	11,7	11,5	10,6	11,1
114	14/01/2015	23:00	20,0	31,4	19,4	19,7	20,2	39,8	20,9	20,6	11,2	12,1	11,7	11,4	10,6	11,0
115	14/01/2015	23:30	20,0	31,1	19,6	19,8	20,2	40,1	21,0	20,6	11,2	12,0	11,6	11,4	10,6	11,0
116	15/01/2015	0:00	20,1	32,0	19,8	20,0	20,0	40,4	20,9	20,5	11,4	11,7	11,6	11,3	10,6	11,0
117	15/01/2015	0:30	20,0	32,7	19,9	20,0	20,2	40,5	21,1	20,7	11,1	11,8	11,4	11,3	10,6	10,9
118	15/01/2015	1:00	20,2	33,1	19,4	19,8	20,2	40,8	21,2	20,7	11,2	12,4	11,8	11,2	10,6	10,9
119	15/01/2015	1:30	20,1	33,0	19,4	19,8	20,2	41,1	21,2	20,7	11,1	12,4	11,7	11,2	10,6	10,9
120	15/01/2015	2:00	20,0	32,5	19,2	19,6	20,2	41,2	21,1	20,7	11,0	12,4	11,7	11,2	10,5	10,9
121	15/01/2015	2:30	20,2	32,0	19,4	19,8	20,2	41,6	20,9	20,6	11,1	12,0	11,6	11,1	10,5	10,8
122	15/01/2015	3:00	19,9	31,8	19,1	19,5	20,1	41,7	20,9	20,5	10,9	12,3	11,6	11,1	10,5	10,8
123	15/01/2015	3:30	19,9	31,9	19,2	19,6	20,1	41,8	20,8	20,5	10,9	12,1	11,5	11,1	10,5	10,8
124	15/01/2015	4:00	20,0	32,3	19,4	19,7	20,1	41,9	20,7	20,4	10,9	11,8	11,3	11,0	10,5	10,7
125	15/01/2015	4:30	19,8	32,7	19,3	19,6	20,1	41,9	20,6	20,4	10,6	11,7	11,2	10,9	10,4	10,7
126	15/01/2015	5:00	19,9	33,1	19,2	19,6	20,1	41,8	20,6	20,4	10,7	11,8	11,2	10,9	10,4	10,6
127	15/01/2015	5:30	19,9	33,7	19,3	19,6	20,1	41,5	20,4	20,3	10,6	11,5	11,0	10,8	10,4	10,6
128	15/01/2015	6:00	20,0	34,2	19,2	19,6	20,1	41,4	20,1	20,1	10,6	11,2	10,9	10,7	10,3	10,5
129	15/01/2015	6:30	20,1	35,0	19,2	19,7	20,1	41,3	20,4	20,3	10,6	11,5	11,1	10,6	10,3	10,5
130	15/01/2015	7:00	20,0	35,9	19,0	19,5	20,1	40,9	20,3	20,2	10,7	11,6	11,1	10,8	10,3	10,5
131	15/01/2015	7:30	19,7	36,7	18,7	19,2	20,1	40,8	20,3	20,2	10,5	11,9	11,2	10,9	10,3	10,6
132	15/01/2015	8:00	19,8	37,8	18,6	19,2	20,1	40,8	20,0	20,1	10,5	11,6	11,1	10,8	10,2	10,5
133	15/01/2015	8:30	19,9	38,5	18,7	19,3	20,0	40,7	19,9	20,0	10,5	11,4	11,0	10,6	10,2	10,4
134	15/01/2015	9:00	20,0	39,4	19,0	19,5	20,1	40,6	19,8	20,0	10,2	11,0	10,6	10,3	10,2	10,3
135	15/01/2015	9:30	20,2	40,0	19,3	19,8	20,1	40,5	19,7	19,9	10,2	10,6	10,4	10,1	10,2	10,1
136	15/01/2015	10:00	20,1	40,8	19,3	19,7	20,1	40,5	19,7	19,9	9,9	10,6	10,3	9,9	10,2	10,1
137	15/01/2015	10:30	20,2	41,3	19,3	19,8	20,2	40,4	19,8	20,0	9,8	10,8	10,3	9,8	10,3	10,0
138	15/01/2015	11:00	20,3	41,5	19,4	19,9	20,2	40,3	19,8	20,0	10,1	10,8	10,4	10,0	10,4	10,2
139	15/01/2015	11:30	20,1	41,4	19,2	19,7	20,3	41,1	19,9	20,1	9,9	11,2	10,6	10,1	10,5	10,3
140	15/01/2015	12:00	20,2	40,9	19,3	19,8	20,3	41,0	19,8	20,1	10,3	11,1	10,7	10,4	10,6	10,5
141	15/01/2015	12:30	20,4	40,0	19,2	19,8	20,3	40,8	19,8	20,1	10,8	11,4	11,1	10,7	10,8	10,7
142	15/01/2015	13:00	20,3	39,2	19,0	19,7	20,4	40,7	19,9	20,2	10,8	11,8	11,3	10,9	10,9	10,9
143	15/01/2015	13:30	20,4	38,4	19,3	19,9	20,4	40,7	19,8	20,1	11,1	11,5	11,3	11,1	11,0	11,1
144	15/01/2015	14:00	20,5	37,9	19,4	20,0	20,4	40,8	19,9	20,2	11,4	11,6	11,5	11,3	11,1	11,2
		MEDIA	20,2	36,3	19,4	19,8	20,3	40,8	20,5	20,4	10,5	11,4	11,0	10,65	10,39	10,52
		MAX	21,7	44,2	21,0	21,4	21,8	43,3	21,7	21,4	12,1	13,1	11,8	11,64	11,10	11,18
		MIN	19,4	30,3	18,5	19,0	20,0	36,1	18,6	19,5	8,3	9,4	9,5	9,50	9,72	9,63
		MIN 1	19,5	32,0	18,8	19,2	20,2	39,3	18,6	19,5	9,5	9,4	9,8	9,91	10,30	10,11
		MAX 1	21,7	44,2	21,0	21,4	21,0	42,8	21,7	21,4	12,1	13,1	11,7	11,64	10,88	11,11
		MIN 2	19,4	30,3	18,5	19,0	20,3	36,1	19,1	19,8	8,3	10,1	9,5	9,50	9,72	9,63
		MAX 2	21,7	41,5	20,6	21,2	21,8	43,3	21,3	21,1	11,2	12,1	11,1	10,87	10,56	10,72
		MIN 3	19,7	31,1	18,6	19,2	20,0	37,4	19,7	19,9	9,8	10,6	10,3	9,82	10,18	10,05
		MAX 3	21,3	41,5	20,3	20,8	20,9	41,9	21,2	20,7	11,8	12,4	11,8	11,50	11,10	11,18

			EXT REGISTRO INVIERNO		EXT MEDIAS INVIERNO	
	FECHA	HORA	Hrext	Tª ext	media Hrext	Tª ext media
1	12/01/2015	14:30	71,0	9,5	82,5	10,1
2	12/01/2015	15:00	72,0	9,4	83,0	10,0
3	12/01/2015	15:30	74,0	9,3	84,0	9,8
4	12/01/2015	16:00	76,0	9,2	85,0	9,5
5	12/01/2015	16:30	75,0	9,2	86,5	9,3
6	12/01/2015	17:00	75,0	9,3	88,0	9,0
7	12/01/2015	17:30	76,0	9,1	89,5	8,8
8	12/01/2015	18:00	77,0	9,0	91,0	8,5
9	12/01/2015	18:30	78,0	9,0	92,0	8,3
10	12/01/2015	19:00	77,0	8,7	93,0	8,0
11	12/01/2015	19:30	76,0	8,8	93,0	8,0
12	12/01/2015	20:00	77,0	8,5	93,0	8,0
13	12/01/2015	20:30	78,0	8,4	93,0	8,0
14	12/01/2015	21:00	79,0	8,2	93,0	8,0
15	12/01/2015	21:30	81,0	8,0	93,0	8,0
16	12/01/2015	22:00	82,0	8,0	93,0	7,9
17	12/01/2015	22:30	83,0	8,0	92,5	7,9
18	12/01/2015	23:00	84,0	8,2	92,0	7,8
19	12/01/2015	23:30	85,0	8,4	91,5	7,8
20	13/01/2015	0:00	85,0	8,6	91,0	7,7
21	13/01/2015	0:30	86,0	8,6	91,5	7,6
22	13/01/2015	1:00	87,0	8,8	92,0	7,5
23	13/01/2015	1:30	86,0	9,0	93,0	7,4
24	13/01/2015	2:00	84,0	9,0	94,0	7,2
25	13/01/2015	2:30	83,0	8,9	94,5	7,1
26	13/01/2015	3:00	82,0	8,7	95,0	7,0
27	13/01/2015	3:30	83,0	8,6	95,5	7,1
28	13/01/2015	4:00	82,0	8,5	96,0	7,2
29	13/01/2015	4:30	81,0	8,3	96,5	7,3
30	13/01/2015	5:00	81,0	8,2	97,0	7,3
31	13/01/2015	5:30	81,0	8,1	97,0	7,4
32	13/01/2015	6:00	80,0	8,0	97,0	7,5
33	13/01/2015	6:30	79,0	7,9	98,0	7,4
34	13/01/2015	7:00	78,0	7,6	99,0	7,2
35	13/01/2015	7:30	76,0	7,3	99,5	7,1
36	13/01/2015	8:00	76,0	7,0	100,0	7,0
37	13/01/2015	8:30	75,0	7,5	99,5	7,0
38	13/01/2015	9:00	74,0	7,9	99,0	7,0
39	13/01/2015	9:30	72,0	8,0	98,5	7,1
40	13/01/2015	10:00	71,0	8,6	98,0	7,2
41	13/01/2015	10:30	73,0	9,0	97,5	7,3
42	13/01/2015	11:00	75,0	9,4	97,0	7,3
43	13/01/2015	11:30	78,0	9,5	96,5	7,4
44	13/01/2015	12:00	77,0	9,6	96,0	7,5
45	13/01/2015	12:30	78,0	9,8	95,0	7,7
46	13/01/2015	13:00	80,0	10,0	94,0	7,9
47	13/01/2015	13:30	82,0	10,0	93,5	8,1
48	13/01/2015	14:00	83,0	10,0	93,0	8,2
49	13/01/2015	14:30	84,0	10,0	92,0	8,4
50	13/01/2015	15:00	85,0	9,8	91,0	8,6
51	13/01/2015	15:30	87,0	9,7	89,0	8,8
52	13/01/2015	16:00	88,0	9,7	87,0	9,0
53	13/01/2015	16:30	90,0	9,6	90,0	8,5
54	13/01/2015	17:00	87,0	9,6	93,0	8,0
55	13/01/2015	17:30	86,0	9,4	92,5	8,1
56	13/01/2015	18:00	86,0	9,5	92,0	8,2
57	13/01/2015	18:30	87,0	9,3	94,0	7,7
58	13/01/2015	19:00	88,0	9,1	96,0	7,1
59	13/01/2015	19:30	88,0	9,0	98,0	6,6
60	13/01/2015	20:00	89,0	8,8	100,0	6,0
61	13/01/2015	20:30	90,0	8,5	99,0	5,8
62	13/01/2015	21:00	91,0	8,3	98,0	5,6
63	13/01/2015	21:30	91,0	8,0	98,5	5,7
64	13/01/2015	22:00	90,0	7,9	99,0	5,8
65	13/01/2015	22:30	88,0	7,6	99,5	5,9
66	13/01/2015	23:00	87,0	7,2	100,0	6,0
67	13/01/2015	23:30	86,0	7,5	99,5	5,6
68	14/01/2015	0:00	85,0	7,9	99,0	5,2
69	14/01/2015	0:30	86,0	8,0	99,5	5,6
70	14/01/2015	1:00	87,0	7,8	100,0	6,0
71	14/01/2015	1:30	88,0	7,6	100,0	5,9
72	14/01/2015	2:00	86,0	7,3	100,0	5,7
73	14/01/2015	2:30	85,0	6,5	99,5	5,6
74	14/01/2015	3:00	85,0	6,2	99,0	5,4
75	14/01/2015	3:30	86,0	6,0	99,0	5,4
76	14/01/2015	4:00	86,0	5,7	99,0	5,3
77	14/01/2015	4:30	87,0	5,5	99,0	5,3
78	14/01/2015	5:00	87,0	5,2	99,0	5,3
79	14/01/2015	5:30	87,0	5,1	99,0	5,3
80	14/01/2015	6:00	88,0	5,0	99,0	5,2
81	14/01/2015	6:30	87,0	5,3	98,5	5,4
82	14/01/2015	7:00	86,0	5,7	98,0	5,6
83	14/01/2015	7:30	85,0	5,9	97,0	5,8
84	14/01/2015	8:00	84,0	6,0	96,0	6,0
85	14/01/2015	8:30	82,0	6,4	96,0	6,2
86	14/01/2015	9:00	80,0	6,9	96,0	6,4
87	14/01/2015	9:30	79,0	6,8	91,5	7,7
88	14/01/2015	10:00	78,0	6,4	87,0	9,0
89	14/01/2015	10:30	84,0	6,2	83,5	9,8
90	14/01/2015	11:00	88,0	6,8	80,0	10,5
91	14/01/2015	11:30	86,0	6,9	77,0	11,3
92	14/01/2015	12:00	85,0	7,0	74,0	12,1
93	14/01/2015	12:30	84,0	7,5	73,5	12,4
94	14/01/2015	13:00	84,0	8,0	73,0	12,6
95	14/01/2015	13:30	84,0	8,2	72,5	12,8
96	14/01/2015	14:00	83,0	8,5	72,0	13,0
97	14/01/2015	14:30	82,0	8,0	71,5	13,3
98	14/01/2015	15:00	80,0	7,6	71,0	13,5
99	14/01/2015	15:30	78,0	7,2	74,0	12,8
100	14/01/2015	16:00	77,0	7,0	77,0	12,1
101	14/01/2015	16:30	76,0	7,0	79,5	11,5
102	14/01/2015	17:00	79,0	6,8	82,0	10,8
103	14/01/2015	17:30	80,0	6,6	85,0	10,1
104	14/01/2015	18:00	81,0	6,8	88,0	9,4
105	14/01/2015	18:30	82,0	6,9	88,5	9,2
106	14/01/2015	19:00	83,0	7,0	89,0	9,0
107	14/01/2015	19:30	82,0	7,2	89,5	8,9
108	14/01/2015	20:00	80,0	7,4	90,0	8,7
109	14/01/2015	20:30	78,0	7,7	90,5	8,5
110	14/01/2015	21:00	80,0	7,9	91,0	8,3
111	14/01/2015	21:30	81,0	8,0	89,0	8,2
112	14/01/2015	22:00	83,0	8,2	87,0	8,0
113	14/01/2015	22:30	85,0	8,3	89,0	7,7
114	14/01/2015	23:00	86,0	8,6	91,0	7,4
115	14/01/2015	23:30	84,0	8,4	92,5	7,1
116	15/01/2015	0:00	84,0	8,4	94,0	6,8
117	15/01/2015	0:30	85,0	8,5	94,0	6,7
118	15/01/2015	1:00	86,0	8,8	94,0	6,5
119	15/01/2015	1:30	86,0	8,6	94,0	6,3
120	15/01/2015	2:00	86,0	8,4	94,0	6,1
121	15/01/2015	2:30	85,0	8,5	94,0	6,0
122	15/01/2015	3:00	84,0	8,2	94,0	5,8
123	15/01/2015	3:30	82,0	8,0	97,0	5,4
124	15/01/2015	4:00	81,0	8,1	100,0	5,0
125	15/01/2015	4:30	80,0	8,1	99,5	4,8
126	15/01/2015	5:00	78,0	8,0	99,0	4,5
127	15/01/2015	5:30	72,0	8,5	98,5	4,3
128	15/01/2015	6:00	70,0	8,7	98,0	4,1
129	15/01/2015	6:30	69,0	9,0	99,0	4,1
130	15/01/2015	7:00	71,0	9,4	100,0	4,0
131	15/01/2015	7:30	70,0	9,9	99,5	4,4
132	15/01/2015	8:00	69,0	10,0	99,0	4,8
133	15/01/2015	8:30	68,0	10,0	98,5	5,3
134	15/01/2015	9:00	66,0	10,2	98,0	5,7
135	15/01/2015	9:30	65,0	10,1	94,0	6,6
136	15/01/2015	10:00	64,0	10,4	90,0	7,5
137	15/01/2015	10:30	63,0	10,6	86,0	8,5
138	15/01/2015	11:00	62,0	10,9	82,0	9,4
139	15/01/2015	11:30	65,0	11,0	78,5	10,3
140	15/01/2015	12:00	68,0	10,9	75,0	11,2
141	15/01/2015	12:30	71,0	10,7	73,0	11,6
142	15/01/2015	13:00	74,0	10,6	71,0	12,0
143	15/01/2015	13:30	76,0	10,5	72,5	12,0
144	15/01/2015	14:00	77,0	10,8	74,0	12,0
		MEDIA	80,6	8,3	91,75	7,74
		MAX	91,0	11,0	100,00	13,50
		MIN	62,0	5,0	71,00	4,00
		MIN 1	71,0	7,0	82,50	7,00
		MAX 1	87,0	10,0	100,00	10,10
		MIN 2	78,0	5,0	72,00	5,20
		MAX 2	91,0	10,0	100,00	13,00
		MIN 3	62,0	6,6	71,00	4,00
		MAX 3	86,0	11,0	100,00	13,50

			VESTIBULOS MONITORIZACION VERANO								VESTÍBULOS SIMULADO VERANO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HALL FS Tª Aire	M FS HALL Hr	M HALL FS Tª Rad	M HALL FS Tª op	M HALL MdB Tª Aire	M HALL MdB Hr	M HALL MdB Tª Rad	M HALL MdB Tª op	S HALL FS Tª Aire	S HALL FS Tª Rad	S HALL FS Tª op	S HALL MdB Tª Aire	S HALL MdB Tª Rad	S HALL MdB Tª op
1	31/07/2015	14:30	21,7	36,9	20,8	21,3	23,3	32,7	22,0	22,7	23,9	27,2	25,6	25,5	26,0	25,8
2	31/07/2015	15:00	21,7	36,6	20,8	21,3	23,8	32,6	22,3	23,1	23,4	27,5	25,5	25,5	26,0	25,8
3	31/07/2015	15:30	21,8	35,0	20,9	21,4	24,2	30,2	22,5	23,4	23,1	27,6	25,3	25,5	26,0	25,7
4	31/07/2015	16:00	21,8	33,4	20,6	21,2	24,5	29,2	22,8	23,7	22,7	28,1	25,4	25,4	25,9	25,7
5	31/07/2015	16:30	21,9	33,4	20,7	21,3	24,8	30,2	23,0	23,9	22,4	28,1	25,3	25,3	25,8	25,6
6	31/07/2015	17:00	21,9	33,5	20,8	21,4	25,1	29,5	23,2	24,2	22,0	28,1	25,1	25,2	25,7	25,5
7	31/07/2015	17:30	22,0	33,2	20,9	21,5	25,0	29,2	23,5	24,3	22,1	28,2	25,2	25,1	25,6	25,4
8	31/07/2015	18:00	22,1	34,1	20,8	21,5	24,7	30,8	23,8	24,3	22,4	28,5	25,4	25,0	25,5	25,2
9	31/07/2015	18:30	22,1	33,9	21,0	21,6	24,5	29,7	23,9	24,2	22,4	28,3	25,4	24,8	25,4	25,1
10	31/07/2015	19:00	22,2	33,6	21,1	21,7	24,3	31,3	24,0	24,2	22,6	28,1	25,4	24,7	25,2	25,0
11	31/07/2015	19:30	22,2	33,9	21,2	21,7	24,2	30,8	24,1	24,2	22,6	28,0	25,3	24,6	25,1	24,8
12	31/07/2015	20:00	22,3	34,8	21,3	21,8	24,1	30,8	24,3	24,2	22,7	27,9	25,3	24,5	24,9	24,7
13	31/07/2015	20:30	22,2	35,0	21,4	21,8	24,0	31,5	24,3	24,2	22,5	27,7	25,1	24,3	24,8	24,5
14	31/07/2015	21:00	22,2	35,3	21,6	21,9	23,9	32,3	24,2	24,1	22,4	27,2	24,8	24,1	24,6	24,4
15	31/07/2015	21:30	22,1	35,8	21,7	21,9	23,8	32,7	24,3	24,1	22,2	27,1	24,6	23,9	24,5	24,2
16	31/07/2015	22:00	22,1	36,4	21,9	22,0	24,0	35,4	24,1	24,1	21,8	26,6	24,2	23,7	24,4	24,1
17	31/07/2015	22:30	22,1	37,2	22,0	22,1	23,9	35,6	24,2	24,1	21,7	26,5	24,1	23,5	24,3	23,9
18	31/07/2015	23:00	22,1	37,6	22,1	22,1	23,8	35,5	24,2	24,0	21,7	26,3	24,0	23,4	24,2	23,8
19	31/07/2015	23:30	22,1	38,1	22,0	22,1	23,8	35,9	24,1	24,0	21,5	26,1	23,8	23,2	24,0	23,6
20	01/08/2015	0:00	22,1	38,6	21,8	22,0	23,7	36,8	24,0	23,9	21,4	26,1	23,7	23,0	23,9	23,4
21	01/08/2015	0:30	22,1	39,3	21,7	21,9	23,5	36,7	23,9	23,7	21,4	26,0	23,7	22,8	23,8	23,3
22	01/08/2015	1:00	22,0	39,8	21,6	21,8	23,5	38,1	23,9	23,7	21,0	26,0	23,5	22,5	23,7	23,1
23	01/08/2015	1:30	22,0	40,5	21,6	21,8	23,4	38,9	23,8	23,6	20,9	25,8	23,3	22,3	23,6	22,9
24	01/08/2015	2:00	22,0	41,1	21,7	21,9	23,3	38,4	23,8	23,6	20,8	25,5	23,2	22,1	23,4	22,8
25	01/08/2015	2:30	22,0	41,5	21,6	21,8	23,3	38,9	23,7	23,5	20,6	25,4	23,0	21,9	23,3	22,6
26	01/08/2015	3:00	21,9	42,1	21,5	21,7	23,2	40,3	23,7	23,5	20,4	25,3	22,9	21,7	23,1	22,4
27	01/08/2015	3:30	21,9	42,1	21,3	21,6	23,0	39,4	23,6	23,3	20,4	25,3	22,9	21,5	23,0	22,3
28	01/08/2015	4:00	21,9	42,1	21,2	21,6	22,9	39,5	23,5	23,2	20,4	25,2	22,8	21,4	22,9	22,1
29	01/08/2015	4:30	21,8	42,2	21,1	21,5	22,8	39,8	23,4	23,1	20,2	25,1	22,6	21,2	22,8	22,0
30	01/08/2015	5:00	21,8	42,2	21,0	21,4	22,8	40,2	23,3	23,1	20,1	24,9	22,5	21,1	22,6	21,8
31	01/08/2015	5:30	21,7	42,8	21,0	21,4	22,7	40,7	23,2	23,0	19,9	24,7	22,3	20,9	22,5	21,7
32	01/08/2015	6:00	21,7	43,1	20,9	21,3	22,4	41,4	23,1	22,8	20,1	24,6	22,3	20,8	22,4	21,6
33	01/08/2015	6:30	21,6	43,3	20,8	21,2	22,3	41,5	23,0	22,7	20,0	24,5	22,2	20,7	22,3	21,5
34	01/08/2015	7:00	21,6	43,6	20,9	21,3	22,1	42,2	22,9	22,5	20,1	24,2	22,2	20,6	22,2	21,4
35	01/08/2015	7:30	21,5	43,6	20,8	21,2	22,1	42,3	22,8	22,5	19,9	24,2	22,0	20,5	22,2	21,3
36	01/08/2015	8:00	21,5	43,4	21,0	21,3	22,3	42,1	22,6	22,5	19,8	23,8	21,8	20,6	22,2	21,4
37	01/08/2015	8:30	21,6	43,2	20,9	21,3	22,0	42,2	22,5	22,3	20,3	23,8	22,1	20,7	22,2	21,5
38	01/08/2015	9:00	21,6	42,7	21,0	21,3	22,3	41,4	22,4	22,4	20,2	23,8	22,0	20,9	22,4	21,6
39	01/08/2015	9:30	21,8	42,1	21,0	21,4	22,3	40,9	22,3	22,3	20,6	23,8	22,2	21,1	22,5	21,8
40	01/08/2015	10:00	22,1	41,5	21,2	21,7	22,4	40,9	22,3	22,4	21,0	23,8	22,4	21,3	22,7	22,0
41	01/08/2015	10:30	22,3	41,0	21,3	21,8	22,8	39,2	22,3	22,6	21,1	23,8	22,5	21,6	22,8	22,2
42	01/08/2015	11:00	22,5	40,2	21,4	22,0	23,0	38,0	22,2	22,6	21,3	23,8	22,5	21,8	23,0	22,4
43	01/08/2015	11:30	22,8	37,5	21,5	22,2	23,1	35,5	22,3	22,7	21,7	24,0	22,8	22,0	23,2	22,6
44	01/08/2015	12:00	22,8	35,3	21,6	22,2	23,3	34,6	22,4	22,9	21,7	24,2	23,0	22,2	23,4	22,8
45	01/08/2015	12:30	22,8	35,7	21,8	22,3	23,4	34,9	22,5	23,0	21,9	24,2	23,1	22,5	23,5	23,0
46	01/08/2015	13:00	22,8	36,6	21,9	22,4	23,5	34,5	22,6	23,1	22,1	24,5	23,3	22,8	23,8	23,3
47	01/08/2015	13:30	22,8	36,3	22,0	22,4	23,7	34,7	22,7	23,2	22,3	24,7	23,5	23,2	24,0	23,6
48	01/08/2015	14:00	22,9	34,7	22,1	22,5	24,0	33,4	22,8	23,4	22,4	25,0	23,7	23,5	24,3	23,9
49	01/08/2015	14:30	23,0	33,0	22,1	22,6	24,4	31,7	22,9	23,7	22,3	25,4	23,9	23,7	24,6	24,2
50	01/08/2015	15:00	23,1	32,1	22,2	22,7	24,8	29,7	23,2	24,0	22,3	25,8	24,1	24,0	24,8	24,4
51	01/08/2015	15:30	23,1	29,7	22,2	22,7	25,1	28,7	23,4	24,3	22,2	26,3	24,3	24,2	25,1	24,7
52	01/08/2015	16:00	23,2	29,2	22,0	22,6	25,3	28,3	23,6	24,5	22,4	27,0	24,7	24,5	25,4	24,9
53	01/08/2015	16:30	23,4	30,2	22,1	22,8	25,3	29,2	23,8	24,6	23,0	27,3	25,1	24,9	25,6	25,2
54	01/08/2015	17:00	23,4	29,3	22,3	22,9	25,4	29,0	24,0	24,7	23,0	27,4	25,2	25,0	25,7	25,4
55	01/08/2015	17:30	23,5	28,8	22,3	22,9	25,5	28,6	24,1	24,8	23,1	27,6	25,4	25,1	25,8	25,5
56	01/08/2015	18:00	23,4	29,7	22,4	22,9	25,3	28,7	24,4	24,9	23,2	27,7	25,4	25,1	25,7	25,4
57	01/08/2015	18:30	23,5	30,1	22,4	23,0	25,3	29,2	24,6	25,0	23,2	27,8	25,5	25,0	25,6	25,3
58	01/08/2015	19:00	23,5	32,1	22,4	23,0	25,2	30,8	24,8	25,0	23,1	27,8	25,4	24,8	25,4	25,1
59	01/08/2015	19:30	23,5	33,2	22,5	23,0	25,1	31,3	25,0	25,1	22,9	27,6	25,2	24,5	25,1	24,8
60	01/08/2015	20:00	23,5	33,9	22,5	23,0	25,0	31,2	25,1	25,1	22,7	27,4	25,0	24,2	24,8	24,5
61	01/08/2015	20:30	23,5	34,1	22,7	23,1	24,9	31,4	25,0	25,0	22,5	26,7	24,6	23,9	24,4	24,2
62	01/08/2015	21:00	23,5	34,8	22,9	23,2	24,8	32,0	25,0	24,9	22,2	26,3	24,2	23,5	24,2	23,8
63	01/08/2015	21:30	23,4	35,2	23,0	23,2	24,7	32,4	24,9	24,8	21,9	25,8	23,8	23,2	23,9	23,5
64	01/08/2015	22:00	23,4	35,5	23,2	23,3	24,6	34,4	24,8	24,7	21,6	25,3	23,5	22,8	23,7	23,3
65	01/08/2015	22:30	23,4	37,6	23,3	23,4	24,5	37,1	24,8	24,7	21,4	25,0	23,2	22,5	23,5	23,0
66	01/08/2015	23:00	23,4	39,5	23,4	23,4	24,4	37,5	24,7	24,6	21,2	24,7	22,9	22,2	23,4	22,8
67	01/08/2015	23:30	23,3	40,3	23,2	23,3	24,1	37,5	24,6	24,4	21,1	24,6	22,8	21,9	23,2	22,5
68	02/08/2015	0:00	23,2	39,9	22,9	23,1	24,1	37,9	24,6	24,4	20,7	24,7	22,7	21,6	23,0	22,3
69	02/08/2015	0:30	23,2	39,4	22,8	23,0	23,9	37,5	24,6	24,3	20,7	24,7	22,7	21,4	22,9	22,1
70	02/08/2015	1:00	23,1	39,5	22,7	22,9	23,8	37,4	24,5	24,2	20,5	24,6	22,5	21,2	22,8	22,0
71	02/08/2015	1:30	23,1	39,1	22,7	22,9	23,6	37,0	24,4	24,0	20,5	24,3	22,4	21,0	22,6	21,8
72	02/08/2015	2:00	23,0	38,9	22,6	22,8	23,5	37,5	24,2	23,9	20,4	24,1	22,2	20,9	22,5	21,7
73	02/08/2015	2:30	23,0	38,7	22,4	22,7	23,5	37,8	24,0	23,8	20,2	24,0	22,1	20,7	22,4	21,6
74	02/08/2015	3:00	22,9	38,1	22,5	22,7	23,3	36,5	23,9	23,6	20,2	23,6	21,9	20,6	22,2	21,4

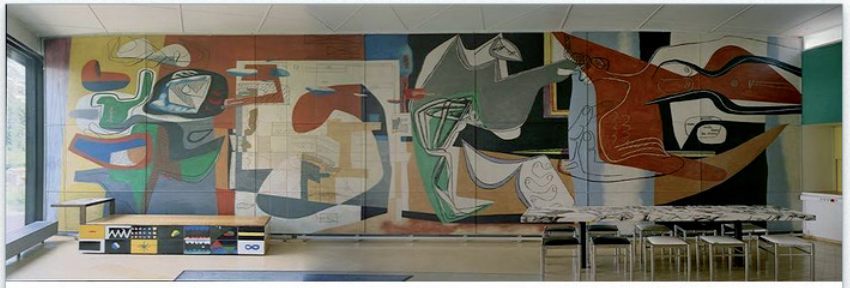
			VESTIBULOS MONITORIZACION VERANO								VESTÍBULOS SIMULADO VERANO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HALL FS Tª Aire	M FS HALL Hr	M HALL FS Tª Rad	M HALL FS Tª op	M HALL MdB Tª Aire	M HALL MdB Hr	M HALL MdB Tª Rad	M HALL MdB Tª op	S HALL FS Tª Aire	S HALL FS Tª Rad	S HALL FS Tª op	S HALL MdB Tª Aire	S HALL MdB Tª Rad	S HALL MdB Tª op
75	02/08/2015	3:30	22,9	37,3	22,6	22,8	23,2	35,5	23,9	23,6	20,1	23,4	21,7	20,4	22,1	21,2
76	02/08/2015	4:00	22,8	35,4	22,7	22,8	23,1	34,5	23,8	23,5	19,9	23,1	21,5	20,2	22,0	21,1
77	02/08/2015	4:30	22,7	35,2	21,9	22,3	22,9	34,6	23,7	23,3	19,8	23,6	21,7	20,0	21,8	20,9
78	02/08/2015	5:00	22,7	35,6	22,0	22,4	22,8	34,0	23,6	23,2	19,7	23,2	21,5	19,8	21,6	20,7
79	02/08/2015	5:30	22,6	34,9	21,8	22,2	22,7	34,2	23,4	23,1	19,5	23,1	21,3	19,6	21,5	20,5
80	02/08/2015	6:00	22,5	34,4	21,7	22,1	22,7	32,9	23,2	23,0	19,3	22,9	21,1	19,5	21,4	20,4
81	02/08/2015	6:30	22,5	33,3	21,7	22,1	22,4	32,9	23,0	22,7	19,5	22,6	21,0	19,4	21,3	20,3
82	02/08/2015	7:00	22,4	33,7	21,7	22,1	22,4	33,5	22,9	22,7	19,4	22,4	20,9	19,4	21,2	20,3
83	02/08/2015	7:30	22,4	34,3	21,8	22,1	22,5	33,5	22,9	22,7	19,3	22,3	20,8	19,4	21,2	20,3
84	02/08/2015	8:00	22,4	34,5	21,9	22,2	22,5	31,9	22,8	22,7	19,5	22,2	20,8	19,6	21,3	20,4
85	02/08/2015	8:30	22,5	33,0	21,8	22,2	22,5	31,0	22,8	22,7	19,7	22,4	21,0	19,7	21,4	20,5
86	02/08/2015	9:00	22,6	32,1	22,0	22,3	24,3	29,3	22,8	23,6	18,3	22,3	20,3	20,0	21,5	20,8
87	02/08/2015	9:30	22,8	33,0	22,0	22,4	23,1	32,5	22,9	23,0	20,0	22,6	21,3	20,3	21,7	21,0
88	02/08/2015	10:00	23,0	34,5	22,1	22,6	23,1	34,8	23,2	23,2	20,6	23,0	21,8	20,7	21,9	21,3
89	02/08/2015	10:30	23,2	36,2	22,2	22,7	23,2	36,1	23,2	23,2	21,0	23,2	22,1	21,0	22,2	21,6
90	02/08/2015	11:00	23,5	37,3	22,5	23,0	23,3	37,2	23,3	23,3	21,6	23,2	22,4	21,4	22,4	21,9
91	02/08/2015	11:30	23,8	38,0	22,6	23,2	23,5	36,9	23,2	23,4	22,1	23,2	22,7	21,8	22,6	22,2
92	02/08/2015	12:00	23,9	37,9	22,7	23,3	23,5	37,5	23,2	23,4	22,6	23,4	23,0	22,2	22,9	22,5
93	02/08/2015	12:30	23,8	36,6	22,8	23,3	23,6	36,8	23,1	23,4	22,7	23,4	23,0	22,5	23,1	22,8
94	02/08/2015	13:00	23,8	35,7	22,9	23,4	23,7	35,8	23,1	23,4	22,9	23,5	23,2	22,8	23,3	23,0
95	02/08/2015	13:30	23,8	35,3	23,0	23,4	23,8	35,8	23,2	23,5	23,1	23,7	23,4	23,1	23,5	23,3
96	02/08/2015	14:00	23,9	34,7	23,0	23,5	23,9	35,4	23,3	23,6	23,3	24,1	23,7	23,3	23,8	23,5
97	02/08/2015	14:30	24,0	32,8	23,1	23,6	24,1	34,0	23,5	23,8	23,5	24,4	24,0	23,6	24,0	23,8
98	02/08/2015	15:00	24,1	32,1	23,2	23,7	24,3	33,5	23,7	24,0	23,8	24,9	24,3	24,0	24,4	24,2
99	02/08/2015	15:30	24,2	31,9	23,3	23,8	24,5	33,2	23,8	24,2	24,1	25,2	24,6	24,4	24,7	24,5
100	02/08/2015	16:00	24,5	30,8	23,3	23,9	24,7	33,6	24,0	24,4	24,5	25,7	25,1	24,7	25,0	24,9
101	02/08/2015	16:30	24,7	31,6	23,4	24,1	24,9	34,9	24,2	24,6	24,9	26,1	25,5	25,1	25,3	25,2
102	02/08/2015	17:00	24,6	32,4	23,5	24,1	25,1	34,3	24,3	24,7	24,8	26,4	25,6	25,3	25,6	25,4
103	02/08/2015	17:30	24,8	32,9	23,7	24,3	25,2	35,0	24,5	24,9	25,1	26,6	25,8	25,5	25,8	25,6
104	02/08/2015	18:00	24,9	34,1	23,8	24,4	25,2	35,7	24,7	25,0	25,3	26,7	26,0	25,6	25,8	25,7
105	02/08/2015	18:30	24,8	35,0	23,8	24,3	25,2	36,7	24,8	25,0	25,2	26,8	26,0	25,6	25,8	25,7
106	02/08/2015	19:00	24,9	35,1	23,7	24,3	25,2	36,6	24,9	25,1	25,1	26,8	26,0	25,4	25,6	25,5
107	02/08/2015	19:30	24,9	35,7	23,9	24,4	25,2	37,6	25,1	25,2	24,9	26,6	25,8	25,2	25,4	25,3
108	02/08/2015	20:00	24,9	35,8	23,9	24,4	25,2	36,4	25,3	25,3	24,5	26,4	25,5	24,8	25,0	24,9
109	02/08/2015	20:30	24,9	36,0	24,2	24,6	25,1	36,1	25,4	25,3	24,2	25,8	25,0	24,4	24,6	24,5
110	02/08/2015	21:00	24,9	36,4	24,3	24,6	25,1	37,5	25,4	25,3	23,7	25,4	24,6	23,9	24,3	24,1
111	02/08/2015	21:30	24,9	37,1	24,5	24,7	25,1	38,1	25,5	25,3	23,3	24,9	24,1	23,5	23,9	23,7
112	02/08/2015	22:00	24,9	37,5	24,7	24,8	25,1	40,0	25,4	25,3	23,0	24,5	23,7	23,2	23,8	23,5
113	02/08/2015	22:30	24,8	37,5	24,8	24,8	25,1	39,2	25,3	25,2	22,6	24,1	23,4	22,9	23,6	23,3
114	02/08/2015	23:00	24,8	37,7	24,9	24,9	25,0	39,4	25,2	25,1	22,6	23,8	23,2	22,8	23,5	23,1
115	02/08/2015	23:30	24,8	38,1	24,8	24,8	25,0	39,4	25,1	25,1	22,5	23,7	23,1	22,7	23,4	23,0
116	02/08/2015	0:00	24,8	38,2	24,6	24,7	24,9	40,4	25,0	25,0	22,3	23,7	23,0	22,4	23,3	22,8
117	03/08/2015	0:30	24,9	37,7	24,5	24,7	24,9	39,8	24,9	24,9	22,1	23,5	22,8	22,1	23,1	22,6
118	03/08/2015	1:00	24,8	37,9	24,4	24,6	24,9	40,3	24,8	24,9	21,7	23,4	22,5	21,8	23,0	22,4
119	03/08/2015	1:30	24,7	38,2	24,4	24,6	24,9	39,1	24,7	24,8	21,2	23,1	22,2	21,4	22,8	22,1
120	03/08/2015	2:00	24,7	38,5	24,4	24,6	24,8	39,7	24,6	24,7	21,1	22,9	22,0	21,2	22,7	22,0
121	03/08/2015	2:30	24,6	38,9	24,2	24,4	24,8	40,3	24,5	24,7	20,9	22,8	21,9	21,1	22,5	21,8
122	03/08/2015	3:00	24,6	39,2	24,0	24,3	24,8	40,6	24,4	24,6	20,8	22,8	21,8	21,0	22,4	21,7
123	03/08/2015	3:30	24,6	39,2	24,0	24,3	24,7	39,8	24,3	24,5	20,8	22,6	21,7	20,9	22,3	21,6
124	03/08/2015	4:00	24,5	39,5	23,8	24,2	24,7	40,1	24,3	24,5	20,5	22,7	21,6	20,7	22,2	21,4
125	03/08/2015	4:30	24,5	40,4	23,7	24,1	24,7	40,8	24,2	24,5	20,3	22,6	21,5	20,5	22,1	21,3
126	03/08/2015	5:00	24,4	41,2	23,7	24,1	24,6	41,3	24,2	24,4	20,2	22,5	21,3	20,4	22,0	21,2
127	03/08/2015	5:30	24,4	41,7	23,6	24,0	24,6	41,8	24,3	24,5	20,0	22,5	21,3	20,2	21,8	21,0
128	03/08/2015	6:00	24,3	41,9	23,5	23,9	24,6	42,4	24,3	24,5	19,8	22,5	21,2	20,1	21,7	20,9
129	03/08/2015	6:30	24,3	42,1	23,5	23,9	24,5	42,6	24,4	24,5	19,8	22,5	21,1	20,0	21,6	20,8
130	03/08/2015	7:00	24,3	41,9	23,6	24,0	24,5	42,7	24,3	24,4	19,7	22,3	21,0	19,9	21,6	20,7
131	03/08/2015	7:30	24,2	42,1	23,5	23,9	24,5	42,8	24,2	24,4	19,5	22,2	20,9	19,8	21,5	20,7
132	03/08/2015	8:00	24,2	42,3	23,7	24,0	24,4	42,7	24,1	24,3	19,8	22,0	20,9	20,0	21,6	20,8
133	03/08/2015	8:30	24,3	42,6	23,6	24,0	24,5	43,6	24,2	24,4	20,0	22,4	21,2	20,2	21,8	21,0
134	03/08/2015	9:00	24,5	42,9	23,4	24,0	24,5	44,3	24,3	24,4	20,5	22,8	21,7	20,5	21,9	21,2
135	03/08/2015	9:30	24,6	47,3	23,4	24,0	24,5	45,1	24,4	24,5	21,0	23,1	22,0	20,9	22,1	21,5
136	03/08/2015	10:00	24,9	44,4	23,5	24,2	24,6	45,7	24,4	24,5	21,5	23,2	22,4	21,2	22,3	21,8
137	03/08/2015	10:30	25,1	43,4	23,8	24,5	24,6	44,4	24,3	24,5	22,1	23,1	22,6	21,6	22,6	22,1
138	03/08/2015	11:00	25,4	43,7	24,0	24,7	24,6	43,4	24,3	24,5	22,7	23,1	22,9	21,9	22,8	22,3
139	03/08/2015	11:30	25,7	36,5	24,2	25,0	24,7	37,1	24,3	24,5	23,3	23,1	23,2	22,3	23,0	22,6
140	03/08/2015	12:00	25,8	32,6	24,3	25,1	24,7	35,6	24,3	24,5	23,7	23,1	23,4	22,6	23,1	22,8
141	03/08/2015	12:30	25,7	31,7	24,6	25,2	24,8	32,5	24,4	24,6	23,7	23,0	23,4	22,8	23,2	23,0
142	03/08/2015	13:00	25,7	31,6	24,8	25,3	24,8	33,2	24,5	24,7	23,9	23,0	23,4	23,0	23,3	23,1
143	03/08/2015	13:30	25,8	31,7	24,9	25,4	24,9	34,3	24,5	24,7	24,1	22,9	23,5	23,2	23,3	23,3
144	03/08/2015	14:00	26,0	31,0	24,8	25,4	25,0	34,4	24,5	24,8	24,2	23,1	23,7	11,6	11,7	11,6
		MEDIA	23,3	37,0	22,6	23,0	24,1	36,2	23,9	24,0	21,7	24,8	23,3	22,38	23,39	22,88
		MAX	26,0	47,3	24,9	25,4	25,5	45,7	25,5	25,3	25,3	28,5	26,0	25,59	26,02	25,77
		MIN	21,5	28,8	20,6	21,2	22,0	28,3	22,0	22,3	18,3	22,0	20,3	11,58	11,67	11,63
		MIN 1	21,5	33,2	20,6	21,2	22,0	29,2	22,0	22,3	19,8	23,8	21,8	19,37	22,15	21,35
		MAX 1	22,9	43,6	22,1	22,5	25,1	42,3	24,3	24,3	23,9	28,5	25,6	25,59	26,02	25,77
		MIN 2	22,4	28,8	21,7	22,1	22,4	28,3	22,8	22,7	18,3	22,2	20,3	11,58	21,19	20,30
		MAX 2	23,9	40,3	23,4	23,5	25,5	37,9	25,1	25,1	23,3	27,8	25,5	22,38	25,81	25,48
		MIN 3	24,0	30,8	23,1	23,6	24,1	32,5	23,5	23,8	19,5	22,0	20,9	11,58	11,67	11,63
		MAX 3	26,0	47,3	24,9	25,4	25,2	45,7	25,5	25,3	25,3	26,8	26,0	25,59	25,81	25,70

			HABITACIONES MONITORIZACION VERANO								HABITACIONES SIMULADO VERANO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HAB FS Tª Aire	M HAB FS Hr	M HAB FS Tª Rad	M HAB FS Tª op	M HAB MdB Tª Aire	M HAB MdB Hr	M HAB MdB Tª Rad	M HAB MdB Tª op	S HAB FS Tª Aire	S HAB FS Tª Rad	S HAB FS Tª op	S HAB MdB Tª Aire	S HAB MdB Tª Rad	S HAB MdB Tª op
1	31/07/2015	14:30	24,4	30,6	23,5	24,0	24,3	39,4	23,0	23,7	27,4	27,1	27,2	27,3	27,6	54,9
2	31/07/2015	15:00	25,3	29,1	24,4	24,9	24,2	39,3	22,7	23,5	28,4	25,9	27,1	27,3	27,6	54,8
3	31/07/2015	15:30	26,2	26,7	25,3	25,8	24,2	39,6	22,5	23,4	29,2	24,7	27,0	27,2	27,5	54,7
4	31/07/2015	16:00	26,9	24,7	25,7	26,3	24,1	39,3	22,4	23,3	29,9	24,2	27,1	27,1	27,5	54,7
5	31/07/2015	16:30	27,4	23,9	26,2	26,8	23,9	39,4	22,1	23,0	30,6	23,4	27,0	27,1	27,5	54,6
6	31/07/2015	17:00	27,9	23,2	26,8	27,4	24,0	39,6	22,1	23,1	30,9	22,8	26,8	27,0	27,5	54,5
7	31/07/2015	17:30	28,2	22,7	27,1	27,7	24,0	39,7	22,5	23,3	31,1	22,8	27,0	26,9	27,4	54,4
8	31/07/2015	18:00	27,8	23,4	26,5	27,2	24,1	39,9	23,2	23,7	30,6	24,1	27,3	26,9	27,4	54,3
9	31/07/2015	18:30	27,1	24,2	26,0	26,6	24,1	40,0	23,5	23,8	29,8	24,8	27,3	26,8	27,3	54,2
10	31/07/2015	19:00	27,1	25,1	26,0	26,6	24,0	40,1	23,7	23,9	29,9	25,0	27,4	26,8	27,3	54,1
11	31/07/2015	19:30	26,4	26,4	25,4	25,9	23,9	40,3	23,8	23,9	29,3	25,6	27,4	26,8	27,2	54,0
12	31/07/2015	20:00	25,8	27,7	24,8	25,3	23,8	40,3	24,0	23,9	28,7	26,3	27,5	26,7	27,1	53,8
13	31/07/2015	20:30	25,3	29,0	24,5	24,9	23,7	40,2	24,0	23,9	28,2	26,6	27,4	26,6	27,1	53,7
14	31/07/2015	21:00	24,8	30,0	24,2	24,5	23,6	40,1	23,9	23,8	27,7	26,7	27,2	26,5	27,0	53,5
15	31/07/2015	21:30	24,4	31,0	24,0	24,2	23,5	40,2	24,0	23,8	27,3	26,9	27,1	26,4	26,9	53,3
16	31/07/2015	22:00	24,2	31,8	24,0	24,1	23,4	40,2	23,5	23,5	27,1	26,4	26,7	26,3	26,9	53,2
17	31/07/2015	22:30	23,9	32,6	23,8	23,9	23,4	40,3	23,7	23,6	26,7	26,7	26,7	26,2	26,8	53,0
18	31/07/2015	23:00	23,7	33,3	23,7	23,7	23,4	40,5	23,8	23,6	26,4	26,8	26,6	26,1	26,7	52,8
19	31/07/2015	23:30	23,4	33,9	23,3	23,4	23,3	42,1	23,6	23,5	26,0	26,9	26,5	25,9	26,6	52,6
20	01/08/2015	0:00	23,3	34,4	23,0	23,2	23,3	41,7	23,6	23,5	25,8	27,1	26,5	25,8	26,5	52,3
21	01/08/2015	0:30	23,1	35,1	22,7	22,9	23,3	41,5	23,7	23,5	25,5	27,5	26,5	25,7	26,5	52,1
22	01/08/2015	1:00	22,9	35,7	22,5	22,7	23,2	41,4	23,6	23,4	25,2	27,5	26,3	25,5	26,4	51,9
23	01/08/2015	1:30	22,8	36,3	22,4	22,6	23,2	41,3	23,6	23,4	25,0	27,5	26,2	25,4	26,3	51,6
24	01/08/2015	2:00	22,7	36,7	22,4	22,6	23,2	41,3	23,7	23,5	24,7	27,4	26,1	25,2	26,1	51,4
25	01/08/2015	2:30	22,5	37,3	22,1	22,3	23,1	41,4	23,5	23,3	24,5	27,4	25,9	25,1	26,0	51,1
26	01/08/2015	3:00	22,4	37,7	22,0	22,2	23,1	41,5	23,6	23,4	24,2	27,5	25,9	24,9	25,9	50,8
27	01/08/2015	3:30	22,3	38,1	21,7	22,0	23,1	41,6	23,7	23,4	24,0	27,8	25,9	24,8	25,8	50,6
28	01/08/2015	4:00	22,1	38,5	21,4	21,8	23,1	41,7	23,7	23,4	23,6	28,0	25,8	24,6	25,7	50,3
29	01/08/2015	4:30	22,0	38,9	21,3	21,7	23,0	41,7	23,6	23,3	23,5	27,8	25,7	24,5	25,5	50,0
30	01/08/2015	5:00	21,9	39,2	21,1	21,5	23,0	41,8	23,5	23,3	23,3	27,8	25,6	24,4	25,4	49,8
31	01/08/2015	5:30	21,8	39,6	21,1	21,5	22,9	41,8	23,4	23,2	23,2	27,6	25,4	24,3	25,3	49,6
32	01/08/2015	6:00	21,6	40,0	20,8	21,2	22,9	41,8	23,6	23,3	22,9	28,0	25,5	24,2	25,2	49,4
33	01/08/2015	6:30	21,5	40,3	20,7	21,1	22,9	41,7	23,6	23,3	22,7	28,1	25,4	24,1	25,2	49,2
34	01/08/2015	7:00	21,4	40,6	20,7	21,1	22,9	41,6	23,7	23,3	22,5	28,1	25,3	24,0	25,1	49,1
35	01/08/2015	7:30	21,4	40,8	20,7	21,1	23,0	41,4	23,7	23,4	22,3	28,0	25,2	23,9	25,0	48,9
36	01/08/2015	8:00	21,3	41,0	20,8	21,1	23,2	41,1	23,5	23,4	22,0	27,7	24,9	23,9	25,0	48,9
37	01/08/2015	8:30	21,3	41,1	20,6	21,0	25,3	40,9	25,8	25,6	19,9	27,9	23,9	23,9	25,0	48,9
38	01/08/2015	9:00	21,5	40,8	20,9	21,2	28,1	40,6	28,2	28,2	17,4	28,1	22,8	24,0	25,1	49,1
39	01/08/2015	9:30	21,7	40,6	20,9	21,3	29,0	40,3	35,9	32,5	16,9	28,2	22,5	24,2	25,1	49,3
40	01/08/2015	10:00	21,9	40,1	21,0	21,5	29,5	40,3	37,6	33,6	16,7	28,3	22,5	24,3	25,3	49,6
41	01/08/2015	10:30	22,2	39,8	21,2	21,7	30,1	40,4	29,6	29,9	16,5	28,5	22,5	24,4	25,4	49,8
42	01/08/2015	11:00	22,4	39,4	21,3	21,9	27,6	40,6	26,8	27,2	19,4	28,9	24,1	24,6	25,5	50,1
43	01/08/2015	11:30	22,7	38,8	21,4	22,1	26,7	40,7	25,9	26,3	20,7	29,0	24,8	24,7	25,7	50,3
44	01/08/2015	12:00	22,9	37,5	21,7	22,3	26,3	40,8	25,4	25,9	21,5	28,8	25,1	24,9	25,8	50,7
45	01/08/2015	12:30	23,3	36,8	22,3	22,8	26,0	41,1	25,1	25,6	22,4	28,6	25,5	25,1	25,9	51,0
46	01/08/2015	13:00	23,8	35,8	22,9	23,4	25,8	41,2	24,9	25,4	23,3	28,1	25,7	25,3	26,1	51,4
47	01/08/2015	13:30	24,6	34,7	23,8	24,2	25,7	41,5	24,7	25,2	24,5	27,1	25,8	25,6	26,2	51,8
48	01/08/2015	14:00	25,6	33,3	24,8	25,2	25,6	42,8	24,4	25,0	25,7	25,9	25,8	25,7	26,3	52,1
49	01/08/2015	14:30	26,3	29,2	25,4	25,9	25,6	43,2	24,1	24,9	26,6	25,1	25,9	25,9	26,4	52,3
50	01/08/2015	15:00	27,1	27,8	26,2	26,7	25,3	43,2	23,7	24,5	27,8	24,0	25,9	26,0	26,5	52,5
51	01/08/2015	15:30	28,0	22,7	27,1	27,6	25,2	43,1	23,5	24,4	28,9	23,0	25,9	26,1	26,6	52,7
52	01/08/2015	16:00	28,4	21,9	27,2	27,8	25,3	43,2	23,6	24,5	29,3	23,1	26,2	26,2	26,7	52,9
53	01/08/2015	16:30	28,6	21,7	27,3	28,0	25,4	43,3	23,9	24,7	29,5	23,4	26,4	26,3	26,8	53,1
54	01/08/2015	17:00	28,3	21,3	27,2	27,8	25,3	43,2	23,9	24,6	29,4	23,5	26,4	26,4	26,8	53,1
55	01/08/2015	17:30	28,4	22,6	27,2	27,8	25,2	43,2	23,8	24,5	29,6	23,4	26,5	26,4	26,8	53,2
56	01/08/2015	18:00	28,2	23,5	27,2	27,7	25,2	43,2	24,3	24,8	29,3	23,8	26,6	26,3	26,7	53,0
57	01/08/2015	18:30	28,2	24,2	27,1	27,7	25,2	43,1	24,5	24,9	29,2	24,1	26,7	26,2	26,7	52,9
58	01/08/2015	19:00	28,2	24,8	27,1	27,7	25,1	43,0	24,7	24,9	29,2	24,2	26,7	26,1	26,6	52,7
59	01/08/2015	19:30	28,2	25,6	27,2	27,7	25,0	43,0	24,9	25,0	29,2	24,2	26,7	26,0	26,5	52,5
60	01/08/2015	20:00	27,9	26,6	26,9	27,4	24,9	43,0	25,0	25,0	28,9	24,5	26,7	25,9	26,4	52,3
61	01/08/2015	20:30	27,6	27,4	26,8	27,2	24,8	43,1	24,9	24,9	28,6	24,3	26,5	25,8	26,2	52,0
62	01/08/2015	21:00	27,1	28,4	26,5	26,8	24,7	43,1	24,9	24,8	28,0	24,5	26,2	25,6	26,1	51,7
63	01/08/2015	21:30	26,6	29,4	26,2	26,4	24,6	43,2	24,8	24,7	27,4	24,6	26,0	25,4	26,0	51,4
64	01/08/2015	22:00	26,2	30,2	26,0	26,1	24,6	43,2	24,8	24,7	26,8	24,7	25,7	25,2	25,9	51,0
65	01/08/2015	22:30	25,8	31,3	25,7	25,8	24,5	43,2	24,8	24,7	26,3	24,8	25,6	25,0	25,7	50,7
66	01/08/2015	23:00	25,4	32,4	25,4	25,4	24,4	43,1	24,7	24,6	25,8	24,9	25,3	24,8	25,6	50,4
67	01/08/2015	23:30	25,1	33,6	25,0	25,1	24,4	43,0	24,9	24,7	25,3	25,4	25,3	24,6	25,5	50,0
68	02/08/2015	0:00	24,9	34,3	24,6	24,8	24,3	42,9	24,8	24,6	25,0	25,6	25,3	24,4	25,4	49,7
69	02/08/2015	0:30	24,7	34,7	24,3	24,5	24,3	42,8	25,0	24,7	24,6	25,9	25,3	24,2	25,2	49,5
70	02/08/2015	1:00	24,4	35,2	24,0	24,2	24,3	42,7	25,0	24,7	24,2	26,1	25,2	24,1	25,1	49,2
71	02/08/2015	1:30	24,2	35,5	23,8	24,0	24,2	42,7	25,0	24,6	24,0	26,2	25,1	24,0	25,0	49,0
72	02/08/2015	2:00	24,0	35,7	23,6	23,8	24,2	42,6	24,9	24,6	23,6	26,2	24,9	23,8	24,9	48,7
73	02/08/2015	2:30	23,8	36,0	23,2	23,5	24,2	42,4	24,7	24,5	23,3	26,3	24,8	23,7	24,8	48,5
74	02/08/2015	3:00	23,6	36,1	23,2	23,4	24,1	42,2	24,7	24,4	23,1	26,2	24,6	23,6	24,7	48,3

			HABITACIONES MONITORIZACION VERANO								HABITACIONES SIMULADO VERANO					
			FS				MdB				FS			MdB		
	FECHA	HORA	M HAB FS Tª Aire	M HAB FS Hr	M HAB FS Tª Rad	M HAB FS Tª op	M HAB MdB Tª Aire	M HAB MdB Hr	M HAB MdB Tª Rad	M HAB MdB Tª op	S HAB FS Tª Aire	S HAB FS Tª Rad	S HAB FS Tª op	S HAB MdB Tª Aire	S HAB MdB Tª Rad	S HAB MdB Tª op
75	02/08/2015	3:30	23,4	36,1	23,1	23,3	24,1	41,9	24,8	24,5	22,8	26,3	24,5	23,5	24,6	48,0
76	02/08/2015	4:00	23,2	35,8	23,1	23,2	24,0	41,7	24,7	24,4	22,5	26,1	24,3	23,3	24,5	47,8
77	02/08/2015	4:30	23,0	35,5	22,2	22,6	24,0	41,4	24,8	24,4	22,2	27,0	24,6	23,2	24,4	47,6
78	02/08/2015	5:00	22,8	35,4	22,1	22,5	23,9	41,3	24,7	24,3	21,9	26,8	24,4	23,0	24,2	47,2
79	02/08/2015	5:30	22,7	35,3	21,9	22,3	23,9	41,1	24,6	24,3	21,6	26,8	24,2	22,8	24,1	46,9
80	02/08/2015	6:00	22,5	35,1	21,7	22,1	23,9	40,9	24,4	24,2	21,3	26,7	24,0	22,7	24,0	46,7
81	02/08/2015	6:30	22,4	34,8	21,6	22,0	23,8	40,7	24,4	24,1	21,2	26,7	23,9	22,6	23,9	46,5
82	02/08/2015	7:00	22,3	34,7	21,6	22,0	23,8	40,6	24,3	24,1	21,1	26,5	23,8	22,6	23,8	46,4
83	02/08/2015	7:30	22,2	34,7	21,6	21,9	23,9	40,5	24,3	24,1	20,9	26,5	23,7	22,6	23,8	46,4
84	02/08/2015	8:00	22,1	34,7	21,6	21,9	24,2	40,4	24,5	24,4	20,6	26,7	23,7	22,7	23,8	46,5
85	02/08/2015	8:30	22,1	34,6	21,4	21,8	25,9	40,4	26,2	26,1	19,0	27,7	23,3	22,8	23,9	46,7
86	02/08/2015	9:00	22,2	34,3	21,6	21,9	27,2	40,3	34,3	30,8	18,0	27,8	22,9	23,0	24,1	47,1
87	02/08/2015	9:30	22,3	34,1	21,5	21,9	28,4	40,3	38,6	33,5	17,1	28,2	22,7	23,2	24,3	47,5
88	02/08/2015	10:00	22,4	34,2	21,5	22,0	30,1	40,1	39,9	35,0	15,8	28,9	22,4	23,5	24,5	48,1
89	02/08/2015	10:30	22,5	34,4	21,5	22,0	31,4	40,0	31,4	31,4	15,0	29,0	22,0	23,9	24,8	48,7
90	02/08/2015	11:00	22,7	35,4	21,7	22,2	28,6	39,7	28,6	28,6	18,5	28,7	23,6	24,4	25,1	49,4
91	02/08/2015	11:30	22,9	35,4	21,7	22,3	27,7	38,0	27,4	27,6	20,0	28,7	24,4	24,8	25,4	50,2
92	02/08/2015	12:00	23,2	37,0	22,0	22,6	27,3	36,2	27,0	27,2	21,1	28,5	24,8	25,2	25,6	50,8
93	02/08/2015	12:30	23,5	36,6	22,5	23,0	26,9	36,1	26,4	26,7	22,2	28,4	25,3	25,6	25,8	51,4
94	02/08/2015	13:00	24,0	35,6	23,1	23,6	26,7	36,8	26,1	26,4	23,0	28,3	25,7	25,7	25,9	51,6
95	02/08/2015	13:30	24,7	34,8	23,9	24,3	26,6	37,3	26,0	26,3	23,9	28,1	26,0	25,8	26,0	51,8
96	02/08/2015	14:00	25,4	33,6	24,5	25,0	26,4	37,1	25,8	26,1	25,0	27,4	26,2	26,0	26,1	52,0
97	02/08/2015	14:30	26,3	32,1	25,4	25,9	26,3	37,4	25,7	26,0	26,1	26,5	26,3	26,1	26,2	52,2
98	02/08/2015	15:00	27,2	30,6	26,3	26,8	26,2	37,9	25,6	25,9	27,2	25,5	26,4	26,2	26,2	52,4
99	02/08/2015	15:30	28,2	29,1	27,3	27,8	26,1	38,2	25,4	25,8	28,4	24,4	26,4	26,3	26,3	52,6
100	02/08/2015	16:00	29,1	28,1	27,9	28,5	26,1	38,3	25,4	25,8	29,4	23,9	26,7	26,4	26,4	52,9
101	02/08/2015	16:30	29,8	26,9	28,5	29,2	26,1	38,5	25,4	25,8	30,3	23,4	26,9	26,6	26,5	53,1
102	02/08/2015	17:00	30,0	26,2	28,9	29,5	26,0	38,7	25,2	25,6	30,6	22,9	26,8	26,6	26,6	53,2
103	02/08/2015	17:30	30,2	26,0	29,1	29,7	26,0	38,8	25,3	25,7	30,9	22,8	26,8	26,7	26,6	53,3
104	02/08/2015	18:00	30,2	26,3	29,1	29,7	26,0	38,8	25,5	25,8	30,9	23,0	26,9	26,7	26,6	53,3
105	02/08/2015	18:30	30,2	26,9	29,2	29,7	25,9	38,9	25,5	25,7	31,0	23,0	27,0	26,7	26,7	53,3
106	02/08/2015	19:00	30,0	27,5	28,8	29,4	25,9	38,9	25,6	25,8	30,6	23,4	27,0	26,5	26,6	53,1
107	02/08/2015	19:30	29,9	28,1	28,9	29,4	25,8	39,0	25,7	25,8	30,5	23,3	26,9	26,4	26,5	52,9
108	02/08/2015	20:00	29,4	28,8	28,4	28,9	25,8	39,0	25,9	25,9	29,8	23,8	26,8	26,2	26,3	52,5
109	02/08/2015	20:30	29,1	29,4	28,4	28,8	25,8	39,1	26,1	26,0	29,3	23,9	26,6	26,0	26,2	52,2
110	02/08/2015	21:00	28,6	30,1	28,0	28,3	25,7	39,1	26,0	25,9	28,6	24,0	26,3	25,7	26,0	51,8
111	02/08/2015	21:30	28,2	30,8	27,8	28,0	25,6	39,3	26,0	25,8	28,1	24,1	26,1	25,5	25,9	51,4
112	02/08/2015	22:00	27,8	31,5	27,6	27,7	25,6	39,5	25,9	25,8	27,5	24,1	25,8	25,3	25,8	51,1
113	02/08/2015	22:30	27,5	32,1	27,5	27,5	25,6	39,6	25,8	25,7	27,0	24,0	25,5	25,1	25,7	50,8
114	02/08/2015	23:00	27,2	32,6	27,3	27,3	25,6	39,8	25,8	25,7	26,7	24,1	25,4	25,1	25,6	50,7
115	02/08/2015	23:30	27,0	33,0	27,0	27,0	25,5	40,1	25,6	25,6	26,5	24,1	25,3	25,0	25,5	50,5
116	02/08/2015	0:00	26,8	33,3	26,6	26,7	25,5	40,4	25,6	25,6	26,1	24,4	25,3	24,8	25,4	50,2
117	03/08/2015	0:30	26,6	33,6	26,2	26,4	25,5	40,5	25,5	25,5	25,7	24,7	25,2	24,6	25,4	50,0
118	03/08/2015	1:00	26,4	33,9	26,0	26,2	25,4	40,8	25,3	25,4	25,4	24,5	24,9	24,4	25,2	49,6
119	03/08/2015	1:30	26,3	34,2	26,0	26,2	25,4	41,1	25,2	25,3	25,1	24,3	24,7	24,2	25,1	49,2
120	03/08/2015	2:00	26,2	34,5	25,9	26,1	25,4	41,2	25,2	25,3	24,8	24,2	24,5	24,0	24,9	48,9
121	03/08/2015	2:30	26,0	34,8	25,6	25,8	25,4	41,6	25,1	25,3	24,4	24,3	24,4	23,8	24,8	48,6
122	03/08/2015	3:00	25,8	35,1	25,2	25,5	25,4	41,7	25,0	25,2	24,2	24,5	24,4	23,8	24,7	48,5
123	03/08/2015	3:30	25,7	35,4	25,1	25,4	25,3	41,8	24,9	25,1	24,1	24,5	24,3	23,7	24,7	48,4
124	03/08/2015	4:00	25,6	35,7	24,9	25,3	25,3	41,9	24,9	25,1	23,9	24,6	24,3	23,6	24,6	48,2
125	03/08/2015	4:30	25,4	36,2	24,6	25,0	25,3	41,9	24,8	25,1	23,6	24,7	24,2	23,5	24,5	48,0
126	03/08/2015	5:00	25,3	36,8	24,6	25,0	25,3	41,8	24,9	25,1	23,4	24,8	24,1	23,4	24,5	47,8
127	03/08/2015	5:30	25,2	37,3	24,4	24,8	25,2	41,5	24,9	25,1	23,3	24,9	24,1	23,3	24,4	47,7
128	03/08/2015	6:00	25,0	37,7	24,2	24,6	25,2	41,4	24,9	25,1	23,0	25,0	24,0	23,2	24,3	47,5
129	03/08/2015	6:30	24,9	38,0	24,1	24,5	25,2	41,3	25,1	25,2	22,8	25,2	24,0	23,1	24,2	47,3
130	03/08/2015	7:00	24,8	38,3	24,1	24,5	25,2	40,9	25,0	25,1	22,6	25,1	23,9	23,0	24,2	47,2
131	03/08/2015	7:30	24,7	38,5	24,0	24,4	25,2	40,8	24,9	25,1	22,5	25,0	23,8	23,0	24,1	47,1
132	03/08/2015	8:00	24,7	38,7	24,2	24,5	25,3	40,8	25,0	25,2	22,5	25,0	23,8	23,1	24,2	47,3
133	03/08/2015	8:30	24,7	40,3	24,0	24,4	26,6	40,7	26,3	26,5	21,3	26,6	24,0	23,2	24,3	47,5
134	03/08/2015	9:00	24,7	41,6	23,6	24,2	28,0	40,6	37,8	32,9	20,2	26,8	23,5	23,5	24,5	48,0
135	03/08/2015	9:30	24,8	41,6	23,6	24,2	30,8	40,5	40,7	35,8	17,7	27,0	22,4	23,7	24,7	48,4
136	03/08/2015	10:00	24,9	41,5	23,5	24,2	32,6	40,5	41,5	37,1	16,4	27,2	21,8	24,1	25,0	49,0
137	03/08/2015	10:30	25,1	41,5	23,8	24,5	33,3	40,4	33,0	33,2	16,2	27,6	21,9	24,4	25,2	49,6
138	03/08/2015	11:00	25,3	40,9	23,9	24,6	30,1	40,3	29,8	30,0	20,0	28,0	24,0	24,8	25,4	50,3
139	03/08/2015	11:30	25,6	39,4	24,1	24,9	29,3	41,1	28,9	29,1	21,6	27,9	24,7	25,3	25,7	51,0
140	03/08/2015	12:00	25,8	36,8	24,3	25,1	28,8	41,0	28,4	28,6	22,5	27,3	24,9	25,5	25,8	51,4
141	03/08/2015	12:30	26,2	33,7	25,1	25,7	28,4	40,8	28,0	28,2	23,6	27,1	25,3	25,8	26,0	51,7
142	03/08/2015	13:00	26,7	32,6	25,8	26,3	28,2	40,7	27,9	28,1	24,3	29,8	27,1	25,8	26,0	51,8
143	03/08/2015	13:30	27,2	32,2	26,3	26,8	28,2	40,7	27,8	28,0	24,9	29,7	27,3	25,9	26,0	51,9
144	03/08/2015	14:00	27,9	31,3	26,7	27,3	28,0	52,6	27,5	27,8	27,2	29,6	28,4	27,3	27,6	54,8
		MEDIA	25,2	33,2	24,4	24,8	25,4	40,9	25,8	25,6	24,8	26,0	25,4	25,01	25,71	50,73
		MAX	30,2	41,6	29,2	29,7	33,3	52,6	41,5	37,1	31,1	29,8	28,4	27,31	27,57	54,88
		MIN	21,3	21,3	20,6	21,0	22,9	36,1	22,1	23,0	15,0	22,8	21,8	22,60	23,78	46,38
		MIN 1	21,3	22,7	20,6	21,0	22,9	39,3	22,1	23,0	16,5	22,8	22,5	23,91	24,99	48,91
		MAX 1	28,2	41,1	27,1	27,7	30,1	42,8	37,6	33,6	31,1	29,0	27,5	27,31	27,57	54,88
		MIN 2	22,1	21,3	21,4	21,8	23,8	36,1	23,5	24,1	15,0	23,0	22,0	22,60	23,78	46,38
		MAX 2	28,6	37,0	27,3	28,0	31,4	43,3	39,9	35,0	29,6	29,0	26,7	26,38	26,78	53,16
		MIN 3	24,7	26,0	23,5	24,2	25,2	37,4	24,8	25,1	16,2	22,8	21,8	22,99	24,13	47,12
		MAX 3	30,2	41,6	29,2	29,7	33,3	52,6	41,5	37,1	31,0	29,8	28,4	27,25	27,56	54,81

			EXT REGISTRO VERANO		EXT MEDIAS VERANO	
	FECHA	HORA	Hrext	Tª ext	media Hrext	Tª ext media
1	31/07/2015	14:30	42,0	20,7	37,0	22,6
2	31/07/2015	15:00	42,0	20,9	37,0	22,8
3	31/07/2015	15:30	41,0	20,9	37,0	22,4
4	31/07/2015	16:00	40,0	21,1	37,0	22,0
5	31/07/2015	16:30	39,0	21,4	37,0	22,0
6	31/07/2015	17:00	39,0	21,5	37,0	22,0
7	31/07/2015	17:30	39,0	21,7	36,0	21,9
8	31/07/2015	18:00	38,0	22,0	35,0	21,8
9	31/07/2015	18:30	38,0	22,1	36,5	21,4
10	31/07/2015	19:00	38,0	22,2	38,0	20,9
11	31/07/2015	19:30	38,0	22,1	42,5	20,5
12	31/07/2015	20:00	39,0	21,8	47,0	20,0
13	31/07/2015	20:30	39,0	21,7	47,5	19,6
14	31/07/2015	21:00	40,0	21,6	48,0	19,1
15	31/07/2015	21:30	40,0	21,3	52,0	18,5
16	31/07/2015	22:00	41,0	21,2	56,0	17,9
17	31/07/2015	22:30	42,0	20,9	57,5	17,3
18	31/07/2015	23:00	42,0	20,8	59,0	16,7
19	31/07/2015	23:30	43,0	20,7	61,5	16,1
20	01/08/2015	0:00	43,0	20,6	64,0	15,5
21	01/08/2015	0:30	44,0	20,4	63,5	15,0
22	01/08/2015	1:00	45,0	20,1	63,0	14,5
23	01/08/2015	1:30	46,0	19,9	64,5	14,1
24	01/08/2015	2:00	47,0	19,6	66,0	13,7
25	01/08/2015	2:30	47,0	19,5	69,0	13,4
26	01/08/2015	3:00	48,0	19,3	72,0	13,1
27	01/08/2015	3:30	48,0	19,2	77,0	13,0
28	01/08/2015	4:00	49,0	19,0	82,0	12,8
29	01/08/2015	4:30	49,0	18,9	85,0	12,6
30	01/08/2015	5:00	49,0	18,7	88,0	12,4
31	01/08/2015	5:30	50,0	18,6	85,5	12,4
32	01/08/2015	6:00	50,0	18,4	83,0	12,4
33	01/08/2015	6:30	51,0	18,2	75,5	13,2
34	01/08/2015	7:00	51,0	18,2	68,0	14,0
35	01/08/2015	7:30	51,0	18,3	63,0	15,0
36	01/08/2015	8:00	51,0	19,0	58,0	16,0
37	01/08/2015	8:30	50,0	20,6	55,5	16,4
38	01/08/2015	9:00	47,0	22,4	53,0	16,8
39	01/08/2015	9:30	45,0	23,2	52,5	17,4
40	01/08/2015	10:00	41,0	24,2	52,0	18,0
41	01/08/2015	10:30	35,0	26,3	49,5	18,5
42	01/08/2015	11:00	33,0	26,2	47,0	19,0
43	01/08/2015	11:30	34,0	25,9	45,5	19,9
44	01/08/2015	12:00	35,0	25,7	44,0	20,7
45	01/08/2015	12:30	36,0	25,1	42,5	19,9
46	01/08/2015	13:00	36,0	24,9	41,0	19,0
47	01/08/2015	13:30	36,0	24,5	41,0	19,5
48	01/08/2015	14:00	36,0	24,6	41,0	20,0
49	01/08/2015	14:30	35,0	24,7	39,0	20,4
50	01/08/2015	15:00	35,0	24,9	37,0	20,8
51	01/08/2015	15:30	33,0	24,7	37,0	20,9
52	01/08/2015	16:00	33,0	24,9	37,0	21,0
53	01/08/2015	16:30	32,0	25,5	37,0	21,0
54	01/08/2015	17:00	32,0	25,4	37,0	21,0
55	01/08/2015	17:30	32,0	25,4	36,0	20,9
56	01/08/2015	18:00	32,0	25,4	35,0	20,8
57	01/08/2015	18:30	32,0	25,6	36,5	20,4
58	01/08/2015	19:00	34,0	25,2	38,0	20,0
59	01/08/2015	19:30	35,0	24,9	42,5	19,0
60	01/08/2015	20:00	35,0	24,6	47,0	18,0
61	01/08/2015	20:30	36,0	24,2	47,5	16,9
62	01/08/2015	21:00	36,0	23,9	48,0	15,8
63	01/08/2015	21:30	36,0	23,6	52,0	14,9
64	01/08/2015	22:00	38,0	23,3	56,0	14,0
65	01/08/2015	22:30	40,0	23,0	57,5	13,5
66	01/08/2015	23:00	41,0	22,8	59,0	13,0
67	01/08/2015	23:30	42,0	22,2	61,5	12,9
68	02/08/2015	0:00	42,0	21,6	64,0	12,8
69	02/08/2015	0:30	43,0	21,3	63,5	12,4
70	02/08/2015	1:00	43,0	20,9	63,0	12,0
71	02/08/2015	1:30	43,0	20,6	64,5	11,5
72	02/08/2015	2:00	44,0	20,4	66,0	11,0
73	02/08/2015	2:30	44,0	20,1	69,0	10,5
74	02/08/2015	3:00	44,0	19,8	72,0	10,0
75	02/08/2015	3:30	42,0	19,9	77,0	9,5
76	02/08/2015	4:00	42,0	19,6	82,0	9,0
77	02/08/2015	4:30	42,0	19,4	85,0	9,5
78	02/08/2015	5:00	42,0	19,3	88,0	10,0
79	02/08/2015	5:30	41,0	19,2	85,5	10,4
80	02/08/2015	6:00	41,0	18,9	83,0	10,7
81	02/08/2015	6:30	41,0	18,8	75,5	11,9
82	02/08/2015	7:00	41,0	18,9	68,0	13,0
83	02/08/2015	7:30	41,0	19,0	63,0	14,3
84	02/08/2015	8:00	40,0	19,9	58,0	15,6
85	02/08/2015	8:30	39,0	21,9	55,5	17,0
86	02/08/2015	9:00	36,0	24,7	53,0	18,3
87	02/08/2015	9:30	37,0	24,3	52,5	19,2
88	02/08/2015	10:00	35,0	24,6	52,0	20,0
89	02/08/2015	10:30	31,0	27,1	49,5	20,5
90	02/08/2015	11:00	30,0	27,0	47,0	21,0
91	02/08/2015	11:30	33,0	27,0	45,5	21,5
92	02/08/2015	12:00	34,0	26,5	44,0	21,9
93	02/08/2015	12:30	34,0	26,3	42,5	22,0
94	02/08/2015	13:00	34,0	26,2	41,0	22,0
95	02/08/2015	13:30	34,0	26,1	41,0	23,0
96	02/08/2015	14:00	34,0	26,0	41,0	24,0
97	02/08/2015	14:30	33,0	26,1	39,0	24,1
98	02/08/2015	15:00	33,0	26,3	37,0	24,2
99	02/08/2015	15:30	33,0	26,4	37,0	24,1
100	02/08/2015	16:00	32,0	26,4	37,0	24,0
101	02/08/2015	16:30	33,0	26,5	37,0	24,0
102	02/08/2015	17:00	33,0	26,7	37,0	24,0
103	02/08/2015	17:30	34,0	26,8	36,0	23,5
104	02/08/2015	18:00	34,0	26,9	35,0	22,9
105	02/08/2015	18:30	35,0	27,1	36,5	22,0
106	02/08/2015	19:00	35,0	27,2	38,0	21,0
107	02/08/2015	19:30	35,0	27,1	42,5	20,0
108	02/08/2015	20:00	35,0	27,1	47,0	19,0
109	02/08/2015	20:30	35,0	27,0	47,5	19,1
110	02/08/2015	21:00	35,0	26,6	48,0	19,2
111	02/08/2015	21:30	36,0	26,4	52,0	18,6
112	02/08/2015	22:00	36,0	26,1	56,0	18,0
113	02/08/2015	22:30	37,0	25,9	57,5	16,8
114	02/08/2015	23:00	37,0	25,7	59,0	15,6
115	02/08/2015	23:30	38,0	25,4	61,5	14,4
116	02/08/2015	0:00	38,0	25,3	64,0	13,2
117	03/08/2015	0:30	38,0	25,1	63,5	13,6
118	03/08/2015	1:00	38,0	24,9	63,0	14,0
119	03/08/2015	1:30	39,0	24,6	64,5	13,5
120	03/08/2015	2:00	39,0	24,4	66,0	13,0
121	03/08/2015	2:30	40,0	24,2	69,0	12,7
122	03/08/2015	3:00	40,0	24,0	72,0	12,3
123	03/08/2015	3:30	41,0	23,7	77,0	12,2
124	03/08/2015	4:00	41,0	23,6	82,0	12,0
125	03/08/2015	4:30	42,0	23,3	85,0	11,5
126	03/08/2015	5:00	43,0	23,0	88,0	11,0
127	03/08/2015	5:30	44,0	22,8	85,5	11,5
128	03/08/2015	6:00	45,0	22,6	83,0	12,0
129	03/08/2015	6:30	45,0	22,4	75,5	13,5
130	03/08/2015	7:00	46,0	22,3	68,0	15,0
131	03/08/2015	7:30	46,0	22,2	63,0	16,0
132	03/08/2015	8:00	46,0	22,8	58,0	17,0
133	03/08/2015	8:30	46,0	24,5	55,5	18,1
134	03/08/2015	9:00	42,0	29,1	53,0	19,1
135	03/08/2015	9:30	40,0	28,9	52,5	20,1
136	03/08/2015	10:00	38,0	29,1	52,0	21,0
137	03/08/2015	10:30	31,0	30,1	49,5	21,5
138	03/08/2015	11:00	29,0	31,5	47,0	22,0
139	03/08/2015	11:30	28,0	30,9	45,5	22,3
140	03/08/2015	12:00	28,0	30,4	44,0	22,5
141	03/08/2015	12:30	27,0	30,1	42,5	22,3
142	03/08/2015	13:00	28,0	29,8	41,0	22,0
143	03/08/2015	13:30	29,0	29,8	41,0	22,0
144	03/08/2015	14:00	29,0	29,9	41,0	22,0
	MEDIA		38,92	23,57	54,82	17,40
	MAX		51,00	31,50	88,00	24,20
	MIN		27,00	18,20	35,00	9,00
	MIN 1		33,00	18,20	35,00	12,40
	MAX 1		51,00	26,30	88,00	22,80
	MIN 2		30,00	18,80	35,00	9,00
	MAX 2		44,00	27,10	88,00	24,00
	MIN 3		27,00	22,20	35,00	11,00
	MAX 3		46,00	31,50	88,00	24,20

G.3.4. Anexo III. Encuestas



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA FONDATION SUISSE

* Required

N° DE CHAMBRE *

AGE *

SEXE *

NATIONALITÉ *

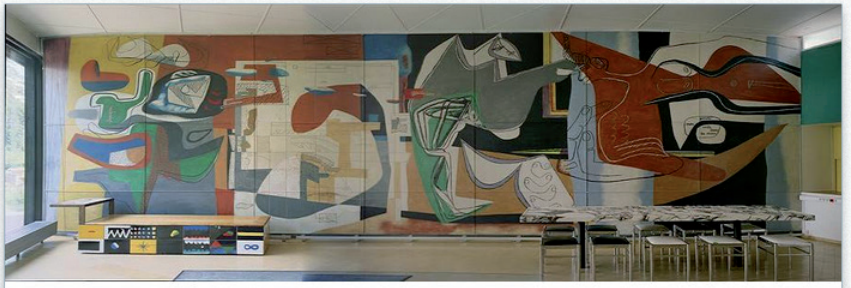
Continue »

25% completed

Powered by Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.

Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA FONDATION SUISSE

* Required

DONNÉES GÉNÉRALES:

Quelle est la couleur du plafond de votre chambre? *

Quelle est la couleur de la porte de votre chambre?

Indiquez vos dates de séjour, date d'arrivée: *

dd/mm/aaaa

Indiquez vos dates de séjour, date de départ prevu:

dd/mm/aaaa

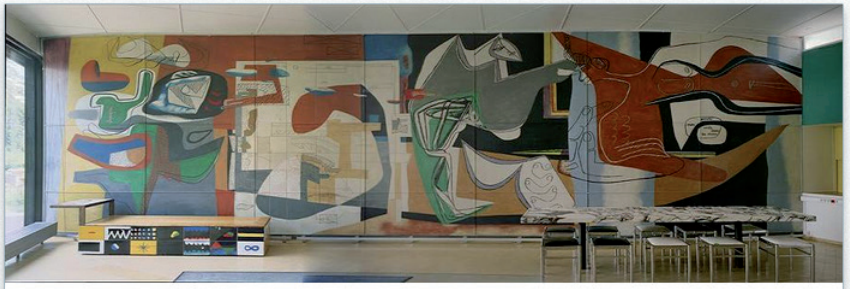
« Back Continue »

50% completed

Powered by Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.

Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA FONDATION SUISSE

* Required

CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAMBRE:

Les questions suivantes demandent une notation, soit:
1 Pas confortable - 2 Un peu confortable - 3 Indifférent - 4 Confortable - 5 Très confortable

1.- Evaluez la luminosité (éclairage) de votre chambre pour les activitées suivantes, en ce moment (hiver):

Pour travailler/étudier/lire: *

Pour dormir/se reposer: *

Pour l'espace salle de douche: *

2.- Evaluez le confort thermique (température) de votre chambre pour les activitées suivantes, en ce moment (hiver):

Pour travailler/étudier/lire: *

Pour dormir/se reposer: *

Pour l'espace salle de douche: *

3.- Evaluez globalement le confort de votre chambre, en ce moment (hiver):

Confort global: *

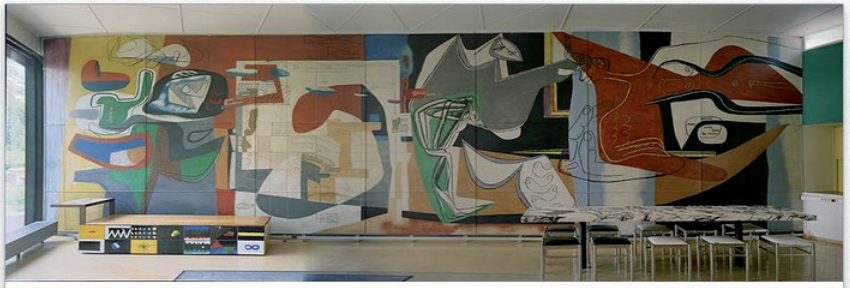
COMMENTAIRES:

« Back | Continue »

75% completed

Powered by Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.
Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms



ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA FONDATION SUISSE

* Required

CARACTÉRISTIQUES DES ESPACES COMMUNS:

Les questions suivantes demandent une notation, soit:
1 Pas confortable - 2 Un peu confortable - 3 Indifférent - 4 Confortable - 5 Très confortable

4.- Evaluez le confort du couloir, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

5.- Evaluez le confort des escaliers, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

6.- Evaluez le confort du hall d'entrée, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

7.- Evaluez le confort du Salon courbe, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

8.- Evaluez le confort de la cuisine, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

COMMENTAIRES:

« Back Submit

100%: You made it.

Never submit passwords through Google Forms.

maison du Brésil
ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA MAISON DU BRÈSIL
* Required
N° DE CHAMBRE *
AGE *
SEXE *
NATIONALITÉ *
Continue »
25% completed
Powered by
Google Forms
This content is neither created nor endorsed by Google.
Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms

maison du Brésil
ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA MAISON DU BRÈSIL
* Required
DONNÉES GÉNÉRALES:
Quelles sont les couleurs du plafond de votre chambre? *
Quelle est la couleur de la porte de votre chambre?
Indiquez vos dates de séjour, date d'arrivée: *
dd/mm/aaaa
Indiquez vos dates de séjour, date de départ prevu:
dd/mm/aaaa
« Back
Continue »
50% completed
Powered by
Google Forms
This content is neither created nor endorsed by Google.
Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms

ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA MAISON DU BRÈSIL

* Required

CARACTÉRISTIQUES DE LA CHAMBRE:

Les questions suivantes demandent une notation, soit:
1 Pas confortable - 2 Un peu confortable - 3 Indifférent - 4 Confortable - 5 Très confortable

1.- Evaluez la luminosité (éclairage) de votre chambre pour les activitées suivantes, en ce moment (hiver):

Pour travailler/étudier/lire: *

Pour dormir/se reposer: *

Pour l'espace salle de douche: *

2.- Evaluez le confort thermique (température) de votre chambre pour les activitées suivantes, en ce moment (hiver):

Pour travailler/étudier/lire: *

Pour dormir/se reposer: *

Pour l'espace salle de douche: *

3.- Evaluez globalement le confort de votre chambre, en ce moment (hiver):

Confort global: *

COMMENTAIRES:

« Back Continue »

75% completed

Powered by Google Forms

This content is neither created nor endorsed by Google.
Report Abuse - Terms of Service - Additional Terms

ENQUÊTE - ÉTUDE SUR LA MAISON DU BRÈSIL

* Required

CARACTÉRISTIQUES DES ESPACES COMMUNS:

Les questions suivantes demandent une notation, soit:
1 Pas confortable - 2 Un peu confortable - 3 Indifférent - 4 Confortable - 5 Très confortable

4.- Evaluez le confort du couloir, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

5.- Evaluez le confort des escaliers, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

6.- Evaluez le confort du hall d'entrée, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

7.- Evaluez le confort de la bibliothèque, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

8.- Evaluez le confort de la cuisine, en ce moment (hiver):

Luminosité: *

Confort thermique: *

Evaluation globale: *

COMMENTAIRES:

« Back Submit

100%: You made it.

Never submit passwords through Google Forms.

G.3.5. Anexo IV. Comentarios residentes

Fondation Suisse – Invierno – Globales

Les chambres aux extrémités sont plus froides pendant l'hiver, en été: il fait trop chaud!

Très bien: J'adore Le Corbusier building

Travail sue ordinateur plus agréable avec les volets baissés et use luminaire artificielle. Chambre un peu froide

Maison du Brésil – Invierno – Respecto a las habitaciones

Mauvaise chauffage.

Por morar no extremo, considero fisicamente que o sistema de aquecimento seja menos eficaz que nos quartos dos interiores.

Je suis sûr de qui est confortable mais il y a des jours que sont un peu froids. En certes jours j'ai besoin de s'habiller bien.

Je pense que l'éclairage est suffisant. Cependant, je pense que les chambres avec les couleurs tels que noir sont moins agréables que les plus claires.

Pour étudier la chambre est tellement froide. Même si les grandes vitres sont la caractéristique la plus agréable de la chambre, elles n'isolent pas très bien le froid.

Le système de chauffage dans ma chambre ne fonctionne pas correctement

Peut-être les rideaux sont vieillir, elles ont besoin de réforme. Aussi le problème avec la température que à le chambre est froid, principalement, car toujours a problème avec le chauffage.

La habitación es luminosa y eso me gusta mucho. Pero está orientada al este y carece de persiana (mentalidad española), además la cama está colocada hacia un gran ventanal, así que para mí dormir mucho el fin de semana se vuelve un poco difícil y es peor aún en verano.

A la hora de estudiar o vivir sin embargo, esta genial, ya que esta ciudad es un poco oscura (sobre todo en invierno) y esta habitación permite aprovechar mucho la luz.

La calefacción, sobre todo por la noche y en invierno es un poco escasa, ya que entre las grandes ventanas y el hormigón se queda un poco frio el apartamento y al ducharte por la mañana hace un poco de rasca, pero nada grave.

En ce qui concerne la température je considère ma chambre confortable (mais j'ai des amis qui ont des problèmes avec ça à cause d'un probable mal fonctionnement du système de chauffage). L'unique problème étant la courent de convection qui parfois se forme à la salle de bain à cause de manque d'une bonne couverture ou vraie porte pour la séparer du reste de la chambre. La luminosité pour étudier est indifférente à cause de la lampe qu'il y a dans la table: on doit la laisser toujours allumée. Néanmoins on sent que si la lumière de la chambre était placée au plafond en illuminant dès le hau, il serait mieux. La luminosité de la salle de bain est problématique pour la même raison. Un rideau plastique qui ne soit pas en blanc nous laisse dans l'obscurité pour se doucher.

Observation: je viens d'une région plus froide du pays et je suis un peu habitué à des températures plus basses dans la maison.

La chambre est jolie mais la lumière naturelle n'arrive pas à la salle de douche, ce qui rend difficile d'utiliser le miroir. La porte n'isole pas très bien et il y a toujours d'air froid dans le sol.

Puisque l'appartement se trouve dans les latérales de l'immeuble et du fait de l'inexistence d'un isolement thermique dans les murs en béton, le chauffage est très largement insuffisant, nous obligeant à garder des vêtements chauds tout le temps. Pour ce qui est de la douche, on constate une quantité de moisissure

importante au niveau du plafond envahissant même une bonne partie de la chambre à coucher.

A luz artificial a noite nao ilumina bem o quarto. A posição da lâmpada principal e inadequada ou o tipo de luminosidade e insuficiente para ler a noite. As lâmpadas suplementares também fracas.

Le chauffage dans la chambre ne marche pas et la température est d'environ 13 degrés

Habiter à la MB est un privilège.

La température de la chambre est bien réglée. Seul problème, le chauffage tombe parfois en panne.

L'éclairage est très bien pensé. Les lampes soit nombreuses (bureau, lampe de chevet, etc.) ce qui est très appréciable.

Chauffage insuffisant pendant l´hiver et pas assez de ventilation pendant l`été

Maison du Brésil – Invierno – Respecto a los espacios comunes

En ce moment la cuisine n'est pas bien chauffée, même quand la chauffage marche "bien".

Il y a de jours qui sont impossible de rester là-bas, il fait très froid.

La cuisine a besoin d'un neuf système de coiffe, car toujours elle est enfumé.

De la biblioteca no puedo opinar porque no la uso

La cocina no es muy confortable pero porque la gente nunca ventila y huele demasiado a comida"

Escaliers: Dans les étages les plus bas il fait froid (le chauffage ne fonctionne pas).

Bibliothèque: à cause des horaires trop stricts malheureusement je n'ai jamais utilisé la bibliothèque.

Cuisine et couloir: cette validation concerne les moments réguliers de la maison. Dans le moment que cette enquête est faite, le chauffage des espaces en commun passent par des problèmes et ces lieux sont très froides."

La cuisine ne sert seulement à manger, elle est très important pour sociabiliser les résidents.

Je n'ai jamais été à la bibliothèque.

Ces endroits sont globalement peu ventilés mais bien éclairés

Fondation Suisse – Verano – Respecto a las habitaciones

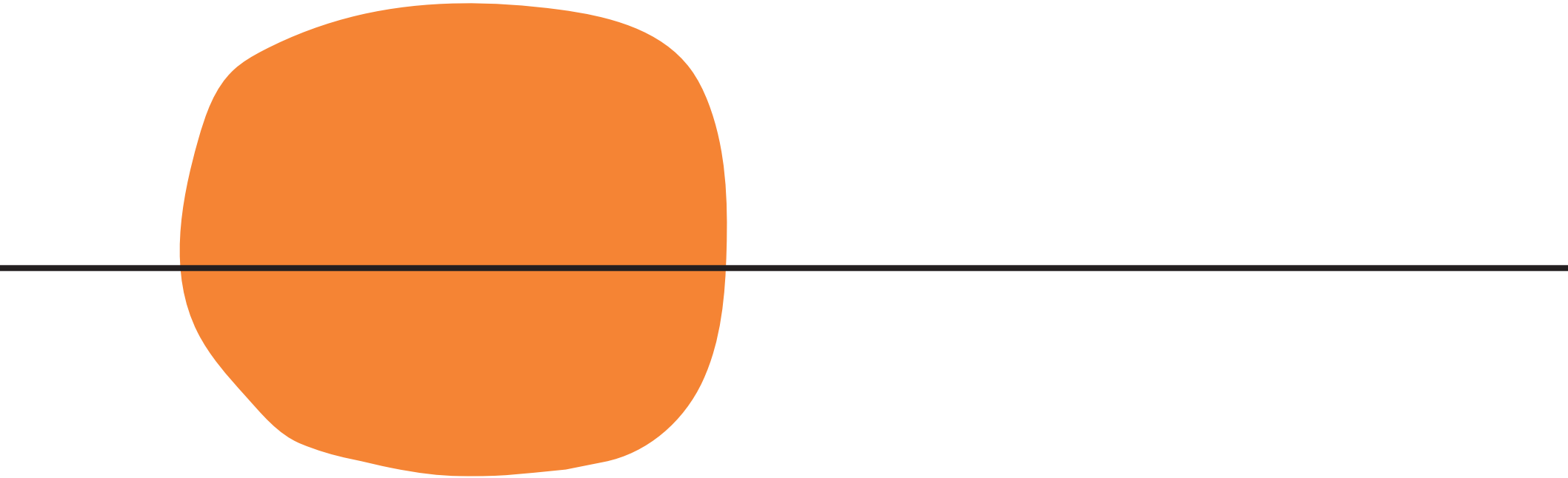
Les chambres aux extrémités sont plus froides pendant l´hiver, en été: il fait trop chaud!

Tres bien: J'adore Le Corbusier building

Maison du Brésil – Verano – Respecto a las habitaciones

Chauffage insuffisant pendant l´hiver et pas assez de ventilation pendant l`été

Maison du Brésil – Verano – Respecto a los espacios comunes

Les choisies ne sont pas confortable. Et vous avez un problème de bruit 24H pour jour

Malgré la chaleur la maison est une bonne habitation pour moi qui habite à RJ