

Com podem contribuir a resoldre el trencaclosques de la sostenibilitat amb arquitectura bioclimàtica?

Resum: L'arquitectura bioclimàtica permet una relació simbiòtica entre les persones, la natura i el nostre entorn construït. En centrar-se en la integració de forces i materials naturals lliurement disponibles, fomenta l'eficiència energètica i de recursos, a més del confort. Necessitem que els nostres edificis siguin més independents dels sistemes actius per ser més sostenibles. A més, cal garantir-ne la seguretat tèrmica en cas de fenòmens climàtics extrems o talls d'electricitat. Finalment, no hem d'aspirar únicament al confort tèrmic, sinó més aviat al goig, permetent un paisatge tèrmic més variat als nostres edificis que ens ajude a relacionar-nos amb el nostre entorn i a despertar els nostres sentits.

Paraules clau: Arquitectura bioclimàtica; autonomia; resiliència; confort; goig

How can we contribute to solving the sustainability puzzle with bioclimatic architecture?

Abstract: Bioclimatic architecture enables a symbiotic relationship between people, nature and our built environment. By focusing on the integration of freely available natural forces and materials, it promotes energy and resource efficiency, in addition to comfort. We need to make our buildings more independent from active systems, to become more sustainable. In addition, their thermal safety has to be

ensured in case of extreme climatic events or power outages. At last, we should not aim just for thermal comfort, but rather delight, allowing for a more varied thermal landscaping in our buildings that helps us engage with our environment and awaken our senses.

Keywords: Bioclimatic architecture; autonomy; resilience; comfort; delight

Com citar | How to cite:

Albelda-Estellés Ness, María Coral. "How can we contribute to solving the sustainability puzzle with bioclimatic architecture?" *ANUARI d'Arquitectura i Societat research journal*, no. 3 (2023): 188-204. ISSN: 2792-7601. <https://doi.org/10.4995/anuari.2023.20146>

¿Cómo podemos contribuir a resolver el rompecabezas de la sostenibilidad con arquitectura bioclimática?

Resumen: La arquitectura bioclimática permite una relación simbiótica entre las personas, la naturaleza y nuestro entorno construido. Al centrarse en la integración de fuerzas y materiales naturales libremente disponibles, fomenta la eficiencia energética y recursos, además del confort. Necesitamos que nuestros edificios sean más independientes de los sistemas activos por ser más sostenibles. Además, es necesario garantizar su seguridad térmica en caso de fenómenos climáticos

extremos o cortes de electricidad. Por último, no debemos aspirar únicamente al confort térmico, sino más bien al deleite, permitiendo un paisaje térmico más variado en nuestros edificios que nos ayude a relacionarnos con nuestro entorno y a despertar nuestros sentidos.

Palabras clave: Arquitectura bioclimática; autonomía; resiliencia; confort; deleite

Comment peut-on contribuer à résoudre le puzzle de la durabilité avec l'architecture bioclimatique ?

Résumé : L'architecture bioclimatique permet un rapport symbiotique entre les personnes, la nature et notre milieu bâti. En se focalisant sur l'intégration de forces et de matériaux naturels librement disponibles, elle favorise l'efficacité énergétique et de ressources, en plus du confort. Il nous faut des édifices plus indépendants des systèmes actifs pour être plus durables. En plus, il faut garantir leur sécurité thermique en cas de phénomènes climatiques

extrêmes ou de pannes électriques. Finalement, il ne suffit pas de viser uniquement au confort thermique, mais plutôt au bonheur, en permettant un paysage thermique plus varié dans nos édifices qui nous aide à nous relier avec notre entourage et à réveiller nos sens.

Mots-clés : Architecture bioclimatique ; autonomie ; résilience ; confort ; bonheur

Introducció

Tal com indica el títol, aquest article intenta explicar el paper de l'arquitectura bioclimàtica per ajudar a fer més sostenibles els nostres edificis. Començarem amb una breu explicació del que volem dir amb el terme "arquitectura bioclimàtica", juntament amb una breu visió general de l'evolució de l'arquitectura des del punt de vista tèrmic. A continuació, passarem al "trencaclosques de la sostenibilitat", intentant definir la sostenibilitat i el desenvolupament sostenible, així com analitzar la necessitat de més activisme en l'arquitectura, per crear els canvis que necessitem per a l'adaptació i mitigació del clima. A continuació, analitzarem els obstacles i els promotors del canvi. Finalment, desenvoluparem breument els aspectes tèrmics de l'arquitectura bioclimàtica necessaris per aconseguir un entorn construït més segur, robust i eficient que ens ajude a prosperar.

L'arquitectura bioclimàtica, tradicionalment liderada per la necessitat, és tan antiga com la humanitat. El clima local, el paisatge i els recursos van ser els principals factors de l'arquitectura vernacular, promovent la saviesa evolutiva empírica en les seves maneres de construir. Va ser desenvolupat per crear estructures segures, eficients, còmodes i sensibles al clima que aprofitaven els materials disponibles i les característiques del lloc. Això va permetre una relació simbiòtica entre les persones, la natura i el nostre entorn construït.

Centrar-se en la integració de la construcció de forces i materials naturals disponibles lliurement era la forma de construcció més eficaç (i més barata) abans de la revolució industrial. Tanmateix, a mitjans del segle XIX, els avenços tecnològics i la producció massiva de recursos bàsics van crear una separació entre nosaltres i el medi ambient. Els nous mètodes de control ambiental van permetre l'empoderament tecnològic de l'arquitectura, ara capaç de dissenyar ambients interiors com a entitats autònomes, altament independents de les condicions exteriors. L'envoltant de l'edifici es va convertir així en un mer abrigo materialitzant aquesta separació, sense necessitat aparent de relacionar-se amb el clima local. Aleshores, els sistemes mecànics proporcionarien

Introduction

As the title suggests, this article attempts to explain the role of bioclimatic architecture to help making our buildings more sustainable. We will start with a short explanation of what we mean by the term "bioclimatic architecture", together with a brief overview of the evolution of architecture from a thermal point of view. Then, we will move to the "sustainability puzzle", attempting to define sustainability and sustainable development, as well as looking into the need for more activism in architecture, to create the changes we need for climate adaptation and mitigation. Following this, we will look into the hinders and the promoters for change. Finally, we will briefly develop the thermal aspects of bioclimatic architecture needed to achieve a safer, more robust and efficient built environment that helps us thrive.

Bioclimatic architecture, traditionally led by necessity, is as old as humanity. Local climate, landscape and resources were the leading factors

in vernacular architecture, promoting empirical evolutionary wisdom in its construction ways. It was developed to create safe, efficient, comfortable, and climate-responsive structures that took advantage of the available materials and characteristics of the site. This enabled a symbiotic relationship between people, nature and our built environment.

Focusing on building integration of freely available natural forces and materials was the most effective (and cheapest) way of construction before the industrial revolution. However, in the mid-nineteenth century, technological advances and mass production of basic resources created a separation between us and the environment. New methods for environmental control enabled the technological empowerment of architecture, now capable of designing indoor environments as self-contained entities, highly independent from outdoor conditions. The building envelope became thus a mere shelter materialising that separation, with no apparent need to relate to the local climate. Then the mechanical systems would provide heating,

calefacció, ventilació, aire condicionat i refrigeració, conegut en el món saxó pel seu acrònim HVAC, per crear un ambient interior ideal per als ocupants. Això va donar lloc a la “vida climatitzada” amb temperatures de confort entre 20 °C i 25 °C independentment de la qualitat de l'edifici. Un disseny i una construcció deficientes van garantir edificis més barats, amb serveis excessius i no duradors amb una gran dependència energètica i risc de sobreescalfament i refredament excessiu.

En canvi, com va afirmar Olgay l'any 1963, l'arquitectura bioclimàtica entén l'envoltant de l'edifici com un filtre entre el clima exterior i el confort interior.¹ Fomenta l'explotació de recursos climàtics útils, abans d'afegir cap correcció mecànica al clima interior. Es troba, doncs, a la base del *Trias Energetica* (figura 1) i dels esquemes de certificació d'edificis centrats en l'eficiència energètica i el confort tèrmic (PassivHaus, LEED, BREEAM, etc.).

El terme “arquitectura bioclimàtica” ha anat adquirint al llarg dels anys connotacions a la natura en un sentit més ampli, a més de les consideracions originals sobre el clima i el confort des del punt de vista tèrmic. Ara també suggereix l'ús de materials naturals, vegetació i un major grau d'integració en el paisatge. No obstant això, ací considerarem només l'aspecte tèrmic de l'arquitectura bioclimàtica, per simplicitat.

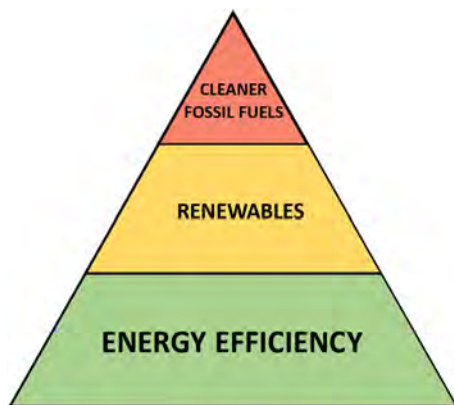


Figura 1. Trias Energetica. Desenvolupada originalment per la Universitat Tecnològica de Delft el 1979, és un enfocament àmpliament acceptat per augmentar l'eficiència energètica. L'arquitectura bioclimàtica té el potencial de reduir la demanda energètica dels edificis i per tant pertany a la base de la piràmide.

Figure 1. Trias Energetica. Originally developed by Delft University of Technology in 1979, it is a widely accepted approach for increasing energy efficiency. Bioclimatic architecture has the potential to reduce the energy demand in buildings and belongs therefore at the base of the pyramid.

ventilation, air-conditioning, and cooling (HVAC) to create an ideal indoor environment for the occupants. This gave birth to the “air-conditioned life” with comfort temperatures between 20°C and 25°C independently of the quality of the building. Poor design and construction ensured cheaper, over-serviced, non-durable buildings with high energy dependency and risk of overheating and overcooling.

In contrast, as stated by Olgay in 1963, bioclimatic architecture understands the building envelope as a filter between outdoor climate and indoor comfort.¹ It encourages the exploitation of useful climatic resources, before adding any mechanical

corrections to the indoor climate. It lies therefore at the base of the *Trias Energetica* (figure 1) and of building certification schemes focused on energy efficiency and thermal comfort (PassivHaus, LEED, BREEAM, etc.).

The term “bioclimatic architecture” has acquired over the years connotations to nature in a broader sense, in addition to the original considerations to climate and comfort from the thermal point of view. Now it also suggests the use of natural materials, vegetation and a higher degree of integration in the landscape. Nevertheless, here we will consider only the thermal aspect of bioclimatic architecture, for simplicity.

S'empra ací el terme "trencaclosques de la sostenibilitat" per considerar el doble aspecte d'aquesta qüestió, com un problema a resoldre, i com la interconnexió de diferents aspectes que s'han de considerar simultàniament. Funciona com un sistema on hem d'estudiar els seus diferents elements tant individualment com en relació entre si.

Segons les Nacions Unides, la sostenibilitat significa "satisfer les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les generacions futures de satisfer les seues pròpies necessitats", definida per la Comissió Brundtland el 1987.² La Comissió Mundial sobre Medi Ambient i Desenvolupament, coneguda al món saxó pel seu acrònim WCED, va presentar simultàniament el fet de temporalitzar el concepte de "desenvolupament sostenible" amb la premissa que "cal crear la voluntat de canvi". No obstant això, cap d'ells va proporcionar més informació sobre la direcció d'aquest canvi o com implementarlo. Més tard, durant la Cimera Mundial sobre el Desenvolupament Sostenible de 2002, es va redefinir el terme "desenvolupament sostenible" per intentar ser més específic i evitar ambigüitats. Aleshores es va convertir en "el disseny de sistemes humans i industrials per garantir que l'ús dels recursos i cicles naturals per part de la humanitat no conduisca a una disminució de la qualitat de vida a causa de la pèrdua d'oportunitats econòmiques futures o d'impactes adversos en les condicions socials, la salut humana i el medi ambient".³ La WCED també va escriure que "canviar les actituds de les persones a tot arreu és un requisit previ fonamental si es vol reescriure les prioritats de la societat humana i, per tant, del govern humà". És ací on l'activisme esdevé una peça clau del trencaclosques de la sostenibilitat.

L'activisme implica la formulació d'una certa consciència social, que condueix a l'acció, per promoure el canvi. Podem trobar un bon exemple d'activisme per promoure la sostenibilitat en el primer "Dia de la Terra" el 22 d'abril de 1970, quan vint milions de persones van eixir al carrer en diverses marxes pels Estats Units contra el deteriorament del medi ambient. Com a resultat, es va crear l'Agència de Protecció Ambiental dels Estats Units i es van aprovar diverses lleis ambientals per primera vegada.⁴ Però, a més de la comprensió comuna de

We use here the term "sustainability puzzle" to consider the double aspect of this issue, as a problem to be solved, and as the interconnection of different aspects that should be considered simultaneously. It works as a system where we need to study its different elements both individually and in relation to each other.

According to the United Nations, sustainability means "meeting the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs", defined by the Brundtland Commission in 1987.² The World Commission on Environment and Development (WCED) introduced at the same time the concept of "sustainable development" with the premise that the "will for change must be created". However, none of them provided further information as to the direction of that change, or how to implement it. Later, during the 2002 World Summit on Sustainable Development, the term "sustainable development" was redefined in an attempt to be more specific and avoid ambiguities. It then became "the design of human and industrial systems to ensure that humankind's use of natural resources

and cycles do not lead to diminished quality of life due either to losses in future economic opportunities or to adverse impacts on social conditions, human health and the environment".³ The WCED also wrote that "changing the attitudes of people everywhere is a fundamental prerequisite if the priorities of human society and therefore of human government are to be rewritten". That is where activism becomes a key piece of the sustainability puzzle.

Activism involves the formulation of some social awareness, leading to action, to promote change. We can find a good example of activism to promote sustainability in the first "Earth Day" on April 22, 1970, when twenty million people took to the streets in several marches across the United States against the deterioration of the environment. As a result, the US Environmental Protection Agency was created, and several environmental laws were passed for the first time.⁴ But besides the common understanding of activism as "active participation" or "vigorous campaigning", it can also consist of minor actions, new ways of making or thinking, that can lead to major changes. Then again, the awareness we seek

l'activisme com a "participació activa" o "campanya vigorosa", també pot consistir en accions menors, noves maneres de fer o pensar, que poden comportar grans canvis. D'altra banda, la consciència que busquem en totes les formes d'activisme, s'obté quan tenim un coneixement exhaustiu d'una qüestió, després d'entendre el seu comportament, rendiment i implicacions. Només així aquest assumpte es pot fer plenament visible per a nosaltres i els demés.

Tanmateix, prendre consciència d'alguna cosa no porta necessàriament a accions per promoure el canvi. Les barreres psicològiques per a l'acció cap a la mitigació del canvi climàtic s'han estudiat àmpliament.⁵ Sabem que només ser conscient d'un problema no és suficient per trobar-hi o implementar-hi una solució. No obstant això, entendre les barreres contextuais i les limitacions per activar el nostre potencial de participació pot donar una mica de llum sobre la complexitat d'aquest problema. Això, al seu torn, ens pot ajudar a superar aquests obstacles i conduir al canvi de comportament necessari per ajudar a mitigar i adaptar-se al canvi climàtic.

Context

Per ajudar-nos a esdevenir actors actius per a l'adaptació i mitigació del canvi climàtic, hem d'entendre les raons de la resistència sistèmica a alterar els nostres hàbits. Llavors, no n'hi ha prou amb entendre per què no estem avançant més ràpidament cap a una arquitectura més sostenible. També hauríem de trobar una motivació convincent per modificar l'*statu quo* en la pràctica actual de l'enginyeria i l'arquitectura.

Què ens impedeix construir d'una manera més sostenible?

A la base de la nostra resistència al canvi, podem trobar un conjunt d'interessos econòmics de determinats actors de la construcció. A més, les visions del món occidentals i de l'enginyeria predominants tendeixen a centrar-se en els avenços tecnològics per crear un progrés continu, a costa de consideracions més holístiques necessàries per al desenvolupament sostenible.

in all forms of activism, is obtained when we have a thorough knowledge of a matter, after understanding its behaviour, performance, and implications. Only then can that matter become fully visible to us and others.

Yet, becoming aware of something does not necessarily lead to action to promote change. The psychological barriers for action towards climate change mitigation have been widely studied.⁵ We know that just being aware of a problem is not enough to find or implement a solution to it. Nevertheless, understanding the contextual barriers and limitations to activating our engagement potential may cast some light onto the complexity of this problem. This can in turn help us overcome those hinders and lead to the long needed behavioural change to help mitigate and adapt to climate change.

Context

In order to help us become active actors for climate change adaptation and mitigation, we

need to comprehend the reasons for the systemic resistance to altering our ways. Then again, it is not enough to understand why we are not moving faster towards a more sustainable architecture. We also ought to find a compelling motivation to modify the *statu quo* in the current engineering and architectural practice.

What is holding us back from building in a more sustainable way?

At the base of our resistance for change, we can find a compound of economic interests from certain building actors. In addition, the prevailing Western and engineering worldviews tend to focus on technological advancements to create continuous progress, at the expense of more holistic considerations needed for sustainable development. But above all, altering our old ways to become again more connected and responsive to the environment demands some effort on our side.

Passive solar design relies on commodities, building components like windows or masonry, just adding extra care to their capabilities for

Però sobretot, alterar les nostres antigues maneres de tornar a estar més connectats i sensibles al medi ambient requereix un cert esforç per part nostra.

El disseny solar passiu es basa en productes bàsics, components de construcció com finestres o maçoneria, només afegint una cura addicional a les seues capacitats de control ambiental. Com que aquests components responen a altres funcions bàsiques a més a més, no aporten guany monetaris als fabricants. Per tant, prefereixen invertir en solucions pròpies com els sistemes mecànics.

Un altre factor a tenir en compte és el fet que les decisions de disseny solen ser liderades per inversors o constructors, no per l'usuari de l'edifici. Això vol dir que es tendeix a prioritzar el pes de la inversió inicial, en detriment dels costos operatius. Com a conseqüència, és possible que la materialitat i el disseny de l'edifici no reben l'atenció que mereixen, ja que els seus defectes es poden compensar una mica amb sistemes de climatització. Els materials, components i sistemes més barats maximitzaran el benefici per a l'inversor, a costa de l'usuari, que haurà de pagar el seu funcionament i patir les molèsties que se'n deriven.

A més, la invenció dels moderns sistemes de climatització va ser una conseqüència de la revolució tecnològica del segle passat, englobada amb una sensació de llibertat empoderadora. Els nostres edificis ja no depenien de les condicions climàtiques de la seua ubicació, obtenint la possibilitat d'un disseny autocentrat més fàcil que permetia una desconnexió gairebé total del lloc. Aquesta noció idealista es va estendre a la definició mateixa de confort tèrmic ara que finalment va ser possible crear artificialment l'ambient interior perfecte.

A més, hem de considerar la dualitat passiu/actiu en el funcionament dels elements, components i sistemes de l'edifici. Si incloem sistemes actius per controlar l'entorn interior (HVAC/automatització), llavors l'usuari pot ser un espectador passiu, desconnectat del seu entorn, i centrant tota la seua atenció en una altra cosa. D'altra banda, els sistemes passius de control ambiental (ventilació natural, estratègies passives) poden necessitar un usuari actiu per operar-los. Tot i que això requeriria una part de la seua atenció, temps i energia (menys còmodes), a canvi també estarien més connectats i sensibles al seu

environmental control. Since these components respond to other basic functions besides, they do not bring monetary gains for manufacturers. Therefore, they prefer to invest in proprietary solutions like mechanical systems.

Another factor to be considered is the fact that design decisions are usually led by investors or constructors, not by the user of the building. This means that the weight of the initial investment tends to be prioritised, in detriment to the operational costs. As a consequence, the materiality and design of the building may not receive the attention they deserve, since their flaws can be somewhat compensated by HVAC systems. Cheaper materials, components and systems will maximise the profit for the investor, at the expense of the user, who will have to pay for their operation and suffer any resulting discomforts.

Furthermore, the invention of the modern HVAC systems was a consequence of the technological revolution in the last century, encompassed with

an empowering feeling of freedom. Our buildings were no longer dependent on the climatic conditions of their location, gaining the possibility of an easier self-centred design that allowed an almost complete disconnection from the site. This idealistic notion was extended to the very definition of thermal comfort now that it was finally possible to artificially create the perfect indoor environment.

In addition, we should consider the passive/active duality in the operation of the building's elements, components, and systems. If we include active systems to control the indoor environment (HVAC/automation), then the user can be a passive spectator, disconnected from its surroundings, and focusing all its attention to something else. On the other hand, passive systems for environmental control (natural ventilation, passive strategies) may need an active user to operate them. Even though this would demand some of their attention, time and energy (less comfortable), in return they would also be more connected and responsive to their surroundings, with major benefits to their

entorn, amb grans beneficis per a la seua salut física i mental. Tot i així, tant el públic com els estàndards dels edificis tendeixen a centrar-se més en la comoditat.

Finalment, el motiu principal per aplicar els principis de l'arquitectura bioclimàtica ha estat principalment l'esforç per fer allò correcte. Mentre que els edificis controlats mecànicament tendeixen a mantenir els seus usuaris més satisfets a un cost inicial més baix, els edificis solars passius necessiten una inversió inicial més gran i més operació manual. D'altra banda, tenen el potencial de proporcionar nivells més alts de prosperitat, connexió i salut, però aquestes no són unitats mesurables en els estàndards de construcció.

Per què hem de fer l'arquitectura més bioclimàtica?

El Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic, conegut al món saxó pel seu acrònim IPCC, prediu que un clima més càlid, i especialment una temperatura més càlida de l'aigua als nostres oceans, generarà tempestes més intenses (vent, nevades, inundacions) i altres esdeveniments climàtics (ones de fred, onades de calor, corrents d'aire). Això pot provocar, al seu torn, inestabilitat en el subministrament energètic i talls elèctrics, per discontinuïtat de les línies elèctriques (arbres caiguts, incendis forestals) o de les centrals elèctriques (manca d'aigua de refrigeració, demanda massa elevada). Una altra conseqüència probable del canvi climàtic és la inestabilitat política i econòmica, també amb el potencial de limitar significativament la nostra producció d'energia.⁶ Els nostres edificis han de ser prou robusts per suportar un clima més extrem i possibles discontinuïtats en el subministrament d'energia.

Aleshores, una part important de la nostra adaptació al canvi climàtic seria centrar-nos en l'eficiència energètica. Reduir les necessitats energètiques dels nostres edificis ajudaria a augmentar els marges de seguretat dels nostres sistemes elèctrics, fent-los més robusts davant situacions crítiques. D'altra banda, en reduir el consum energètic dels nostres edificis, també reduïrem les emissions de gasos d'efecte hivernacle associades al seu funcionament. Com a resultat, aquesta mesura pot ajudar a la mitigació del canvi climàtic.

També hem de tenir en compte que, a més de proporcionar confort tèrmic, els nostres edificis han de contribuir a millorar la nostra salut i benestar. No obstant això, el principal

physical and mental health. Still, both the public and the buildings standards tend to focus more on comfort.

Lastly, the main reason to apply the principles for bioclimatic architecture have been mainly in an effort to do the right thing. Whereas mechanically controlled buildings tend to keep their users more satisfied at a lower initial cost, passive solar buildings need a higher initial investment and more manual operation. On the other hand, they have the potential to provide higher levels of thriving, connection and health, but those are not measurable units in the building standards.

Why do we need to make architecture more bioclimatic?

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) predicts that a warmer climate, and especially warmer water temperature in our oceans, will generate more intense storms (wind, snowfalls, floods) and other climatic events (cold waves, heatwaves, draughts). This can in turn

cause instability in the energy supply and power outages, because of discontinuity in power lines (fallen trees on them, wildfires) or in power plants (lack of cooling water, too high demand). Another likely consequence of climate change is political and economic instability, also with the potential to significantly limit our energy production.⁶ Our buildings need to be robust enough to withstand a more extreme climate and possible discontinuities in the energy supply.

An important part of our adaptation to climate change would then be to focus on energy efficiency. Lowering the energy needs in our buildings would help increase the safety margins in our power systems, thus making them more robust against critical situations. Then again, by lowering the energy consumption in our buildings, we would also lower the greenhouse gas emissions associated with their operation. As a result, this measure can in turn help with the mitigation of climate change.

requisit dels nostres edificis hauria de ser la seguretat, tant física com tèrmica. No hi ha prou amb fer un edifici tèrmicament deficient que depenga tant de sistemes mecànics que esdevinga inhabitable en cas de fallada de corrent. Els ambients massa freds o massa calents ens poden emmalaltir o fins i tot matar-nos. D'altra banda, en fer que els edificis siguin més robusts tèrmicament, també es tornen més resistents físicament a les tempestes. Els edificis tèrmicament robusts, en confiar més en mitjans passius per a l'adaptació al clima, també tindrien un menor consum energètic. Això al seu torn podria mitigar el problema creixent de la pobresa energètica, on els ocupants poden no tenir prou mitjans econòmics per mantenir i operar els seus propis sistemes energètics.

Amb els esdeveniments climàtics més freqüents, extrems i violents, s'ha fet evident la necessitat d'un pla de refugi termal. Hi hauria d'haver almenys alguns espais designats amb una franja de temperatura segura per a la supervivència, on els usuaris puguin retirar-se durant episodis climàtics extrems i/o en cas de fallada de corrent. A més a més, hauria d'haver un mode d'energia natural per a tots els edificis, de manera que encara es puguin ocupar durant els talls de llum. Almenys haurien de permetre obrir les finestres per proporcionar una ventilació natural per a l'aire fresc i la refrigeració. També seria aconsellable alguna forma d'emmagatzematge tèrmic i/o energètic, per allargar el temps habitable en espais interiors, sense subministrament energètic extern. Tant la possibilitat d'oferir un refugi tèrmic com un mode d'energia natural s'haurien de considerar en els codis de l'edificació, per garantir la seguretat tèrmica en cas d'interrupció del subministrament elèctric o esdeveniments climàtics extrems.

Disseny d'edificis tèrmics per a l'arquitectura bioclimàtica

Una arquitectura bioclimàtica conscient s'hauria de fonamentar en la nostra comprensió tant de les nostres necessitats tèrmiques com del comportament tèrmic dels nostres edificis. Només així podrem comparar-los amb el clima exterior i ajustar el nostre disseny,

We should also consider that besides providing thermal comfort, our buildings ought to help enhancing our health and well-being. Nevertheless, the main requirement to our buildings should be to provide safety, both physically and thermally. It is not enough to make a thermally deficient building that relies so much in mechanical systems that it becomes inhabitable in case of power failure. Too cold or too hot environments can make us sick or even kill us. On the other hand, by making buildings that are more thermally robust, they become also more physically resilient against storms. Thermally robust buildings, by relying more on passive means for climate adaptation, would also have a lower energy use. This could in turn mitigate the growing issue of energy poverty, where occupants may not have enough financial means to maintain and operate their own energy systems.

With more frequent, extreme, and violent climatic events, it has become apparent the need for a thermal refuge plan. There should be at least some designated spaces with a safe temperature band for survivability, where the users can retreat

during extreme climatic episodes and/or in case of power failure. Moreover, there should be a natural energy mode for all buildings, so that they can still be occupied during power outages. They should at least allow for opening the windows to provide natural ventilation for fresh air and cooling. Some form for thermal and/or energy storage would also be advisable, to extend the habitable time in indoor spaces, without external energy supply. Both the possibility for providing a thermal refuge and a natural energy mode should be considered in building codes, to ensure thermal safety in case of power failure or extreme climatic events.

Thermal Building Design for Bioclimatic Architecture

A conscious bioclimatic architecture should be fundamented in our understanding of both our thermal needs and the thermal behaviour of our buildings. Only then can we compare those to the outdoor climate and adjust our design, complementing it with passive strategies and

complementant-lo amb estratègies passives i sistemes mecànics. Cal reconsiderar les nostres mètriques i enfocament del confort tèrmic i l'ús d'energia des del paper de l'arquitectura. Tradicionalment, aquests paràmetres s'estudiaven des de la perspectiva dels sistemes mecànics, per evitar el consum d'energia. Tanmateix, es poden extreure molts beneficis d'acollir les oportunitats inherents al clima, al teixit de l'edifici i a l'ocupant, abans de considerar els sistemes actius. Com que fem edificis pel bé dels seus ocupants, hem de començar per cobrir les seues necessitats de confort tèrmic. A continuació, podem repassar les capacitats tèrmiques de l'edifici, incloent la seua autonomia tèrmica i resiliència, així com la seua supervivència passiva. Finalment, podem analitzar les possibilitats d'oferir goig tèrmica als nostres ambients interiors.

Confort tèrmic

El confort tèrmic es defineix com “la condició d'ànim que expressa satisfacció amb l'entorn tèrmic”.⁷ Es tracta, doncs, d'un concepte subjectiu, propens a les variacions. La temperatura central del cos humà és d'uns 37 °C mentre que la temperatura superficial de la pell és més baixa, 32 °C -35 °C. Aleshores, hi ha una banda de temperatures ambientals en què el cos pot mantenir aquests valors amb poca o cap acció, anomenada “Zona Termoneutral”, coneguda pel seu acrònim en anglès TNZ. Per a un adult nu genèric en repòs, el TNZ oscil·la entre 28 °C i 32 °C. Tot i així, hi haurà diferències en el TNZ per a diferents individus, dependent de factors físics, fisiològics, psicològics i de comportament. No obstant això, com que tendim a utilitzar roba i tenim cert grau d'activitat dins dels nostres edificis, utilitzem temperatures de confort de disseny una mica més baixes.

L'enfocament estàtic del confort tèrmic pretén crear unes condicions ideals estables per reduir el malestar dels ocupants d'espais condicionats mecànicament. Basat en els principis de l'equilibri de calor del cos humà, utilitza les equacions de Fanger per calcular el vot mitjà previst, conegut pel seu acrònim en anglès PMV, i el percentatge previst de insatsifets, conegut pel seu acrònim en anglès PPD. Considera diferents factors ambientals i fisiològics com la temperatura de l'aire, la temperatura radiant mitjana, el moviment de

mechanical systems. There is a need to re-consider our metrics and approach to thermal comfort and energy use from the role of architecture. Traditionally, these parameters were studied from the perspective of the mechanical systems, to avoid energy consumption. However, many benefits can be extracted from embracing the opportunities inherent to the climate, the building fabric and the occupant, prior the consideration of active systems. Since we make buildings for the sake of their occupants, we need to start by covering their needs for thermal comfort. Then we can go through the thermal capabilities of the building, including its thermal autonomy and resilience, as well as its passive survivability. Lastly, we can look into the possibilities for providing thermal delight in our indoor environments.

Thermal comfort

Thermal comfort is defined as “the condition of mind that expresses satisfaction with the thermal environment”.⁷ It is therefore a subjective concept, prone to variations.

The human body's core temperature is around 37°C while the skin surface temperature is lower, 32°C -35°C. Then, there is a band of ambient temperatures in which the body can maintain these values with little to no action, called the “Thermoneutral Zone” (TNZ). For a generic nude resting adult, the TNZ ranges from 28°C to 32°C. Still, there will be differences in the TNZ for different individuals, depending on physical, physiological, psychological, and behavioural factors. Nevertheless, since we tend to use cloths and have some degree of activity inside our buildings, we use somewhat lower design comfort temperatures.

The static approach to thermal comfort aims to create stable ideal conditions to reduce displeasure in the occupants of mechanically conditioned spaces. Based on principles of heat balance in the human body, it uses Fanger's equations to calculate the Predicted Mean Vote (PMV) and Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD). It considers different environmental and physiological factors like air temperature, mean

l'aire, la humitat relativa, la roba i la taxa metabòlica. No obstant això, la majoria dels sistemes de climatització només responen a la temperatura de l'aire. Seguint aquest model, les temperatures interiors còmodes estarien al voltant dels 20 °C a 25 °C a l'hivern i de 24 °C a 28 °C a l'estiu. Aquest enfocament s'utilitza per a sistemes actius que controlen l'entorn interior sense la intervenció d'ocupants passius. Centrats a aconseguir la neutralitat tèrmica per minimitzar el disgust, els ambients resultants redueixen de fet la consciència dels ocupants del seu entorn, creant cert grau de privació sensorial.

En canvi, l'enfocament adaptatiu del confort tèrmic considera el clima exterior i la possibilitat d'adaptació dels ocupants en edificis amb ventilació natural. Això limita, però, l'abast d'aquest enfocament a les temperatures exteriors mitjanes predominants entre 10 °C i 33,5 °C. A canvi, però, utilitzant sistemes passius de control ambiental operats per usuaris actius, els ocupants es connecten més i estan més en sintonia amb el seu entorn. Aleshores, aquesta connexió afavoreix la nostra salut i l'activació dels nostres sentits, sentint-nos més vius, conscients, compromesos.

Estudis recents demostren que les persones poden adaptar-se al seu clima local i sentir-se còmodes en una gran varietat de temperatures a casa. A tot el món, les temperatures de confort interior a l'hivern poden variar entre els 10 °C i els 25 °C, mentre que a l'estiu oscil·len entre els 20 °C i els 35 °C.⁸ Aquesta variació tèrmica pot explicar la manca d'acord entre els usuaris, per triar de manera universal unes temperatures còmodes. D'altra banda, també obre la possibilitat d'introduir una major variabilitat tèrmica als nostres espais interiors. Aquesta variabilitat tèrmica és l'aspecte clau en l'enfocament transitori del confort tèrmic. Basant-se en la teoria de l'aliestèsia, el plaer derivat dels canvis sensorials, considera els canvis espacials o temporals de la temperatura.⁹ Podríem tenir una variació d'experiències tèrmiques en diferents parts del nostre cos (escalfament/refrigerament local) per induir una aliestèsia espacial, o bé una distribució diversa de la temperatura en diferents espais per permetre l'aliestèsia temporal quan es mou entre ells. Aquestes dues maneres d'implementar la variabilitat tèrmica en l'arquitectura ens poden ajudar a aconseguir majors nivells de prosperitat alhora que reduïm el nostre consum d'energia i les emissions associades. D'altra

radiant temperature, air movement, relative humidity, clothing, and metabolic rate. Yet, most HVAC systems respond only to air temperature. Following this model, comfortable indoor temperatures would be around 20°C to 25°C in the winter and 24°C to 28°C in the summer. This approach is used for active systems that control the indoor environment without the intervention of passive occupants. Focused on achieving thermal neutrality to minimize displeasure, the resulting environments reduce in fact the occupants' awareness of their surroundings, creating some degree of sensory deprivation.

In contrast, the adaptive approach to thermal comfort considers the outdoor climate and the possibility of adaptation for the occupants in naturally ventilated buildings. This limits though the scope of this approach to prevailing mean outdoor temperatures between 10°C and 33.5°C. In exchange though, using passive systems of environmental control operated by active users, the occupants become more connected and in tune with their environment. Then, this connection

promotes our health and the activation of our senses, feeling more alive, aware, engaged.

Recent studies show that people can adapt to their local climate and feel comfortable in a huge range of temperatures at home. Around the world, winter indoor comfort temperatures can vary between 10°C and 25°C, while in the summer they span from 20°C to 35°C.⁸ This thermal variance may explain the lack of agreement among users, for choosing universally comfortable temperatures. On the other hand, it also opens the possibility for introducing a higher thermal variability in our indoor spaces. This thermal variability is the key aspect in the transient approach to thermal comfort. Based on the theory of alliesthesia, the pleasure derived from sensorial changes, it considers spatial or temporal changes in temperature.⁹ We could have a variation of thermal experiences in different parts of our bodies (local heating/cooling) to induce spacial alliesthesia, or a diverse temperature distribution in different spaces to allow for temporal alliesthesia when moving between them. These two ways of implementing thermal

banda, com a part dels nous avenços en confort tèrmic, aquest enfocament transitori encara no s'ha desenvolupat del tot i no està inclòs en les normes d'edificació.

Autonomia tèrmica

L'autonomia tèrmica és la capacitat que té un espai de proporcionar un confort tèrmic acceptable exclusivament a través de mitjans passius.¹⁰ Entén el rendiment de l'edifici des de la perspectiva de la capacitat de l'envoltant per filtrar selectivament l'entorn en benefici de l'ocupant. A la pràctica, es pot quantificar com el percentatge d'hores ocupades durant un any, quan una zona tèrmica compleix un determinat conjunt de criteris de confort tèrmic mitjançant mitjans passius. A més de les mètriques d'un sol número (graus-hora, hores ocupades, MPV), sol incloure mapes de calor temporals per entendre la distribució diària/setmanal/annual dels resultats. Aquesta representació dual ajuda a entendre els patrons de la vida quotidiana (horaris) que poden informar el nostre disseny, a més de quantificar el rendiment passiu de l'edifici. Per tal d'aconseguir una plena autonomia ambiental als nostres edificis, també hem de tenir en compte la seva autonomia lluminosa i de ventilació, en combinació amb la tèrmica.

Resiliència tèrmica

Una definició general de resiliència tèrmica seria "la capacitat d'un edifici per mantenir-se i/o recuperar-se a un estat habitable després d'una interrupció del subministrament d'energia".¹¹ Un enfocament més complet pot incloure diferents fases com la vulnerabilitat, la resistència, la robustesa i la recuperació. Com que la resiliència tèrmica està estretament relacionada amb l'habitabilitat de l'edifici, depèn de les nostres consideracions sobre l'estrès tèrmic interior (sobreescaïment i infraescaïment). En aquest sentit, les investigacions mostren que el disseny de l'envoltant de l'edifici i la inclusió d'estratègies passives s'han de complementar amb oportunitats adaptatives per als ocupants. D'altra banda, augmentar la flexibilitat en el disseny de l'edifici, amb els seus diferents espais i elements, també pot ajudar a augmentar la seva resiliència tèrmica

variability in architecture can help us achieving greater levels of thriving while reducing our energy consumption and associated emissions. On the other hand, as part of the newest advances in thermal comfort, this transient approach has not yet been fully developed and it is not included in building standards.

Thermal autonomy

Thermal autonomy is the ability for a space to provide acceptable thermal comfort exclusively through passive means.¹⁰ It understands building performance from the perspective of the envelope's capability to selectively filter the environment to the occupant's advantage. In practice, it can be quantified as the percentage of occupied hours over a year, when a thermal zone meets a given set of thermal comfort criteria through passive means. In addition to single-number metrics (degree-hours, occupied hours, MPV), it usually includes temporal heat maps to understand the daily/weekly/annual distribution of the results. This dual representation helps understanding the patterns of daily life (schedules) that can inform our design, besides

quantifying the passive performance of the building. In order to achieve a full environmental autonomy in our buildings, we should also consider their luminous and ventilation autonomy, in combination with the thermal.

Thermal resilience

A general definition of thermal resilience would be "a building's ability to remain at and/or recover to a habitable state after a disruption in energy supply".¹¹ A more comprehensive approach may include different phases like vulnerability, resistance, robustness and recovery. Since thermal resilience is tightly related to the habitability of the building, it depends on our considerations on indoor thermal stress (over-heating and under-heating). In this regard, research shows that the design of the building envelope and the inclusion of passive strategies should be complemented by adaptive opportunities for the occupants. On the other hand, increasing the flexibility in the design of the building, with its different spaces and elements, may also help increase its thermal resilience.

Habitabilitat tèrmica

El terme “habitabilitat tèrmica”, o “supervivència passiva”, es refereix a les condicions higrotèrmiques que garantirien la nostra seguretat tèrmica a l'interior dels edificis durant els esdeveniments climàtics extrems (tempestes, sequera, onades de calor/fred) i talls d'electricitat.¹² Rellevant per als nostres habitatges i llocs de treball, ho és encara més per als edificis dissenyats per servir com a refugis d'emergència. Les mètriques utilitzades ací han d'incloure consideracions sobre la temperatura de l'aire (temperatura de bulb sec), la humitat relativa i la temperatura radiant mitjana. Aquests inclouen la temperatura efectiva estàndard (SET), la temperatura del globus de bulb humit (WBGT) i l'índex de calor (HI) per a altes temperatures. El *Resilient Design Institute* i el *U.S. Green Building Council Resilience Working Group* defineixen la “zona d'habitabilitat” entre 12 °C i 30 °C SET, per a adults d'estatura i condició física mitjana. Amb roba o mantes a l'aire lliure a l'hivern i una mica d'aire a l'estiu, la majoria de la gent estaria segura dins d'aquest rang de temperatura. La supervivència passiva hauria de ser una part inherent del disseny resilient. Ens pot mantenir segurs en cas d'esdeveniments crítics i, al mateix temps, ajudar a mitigar el canvi climàtic. Augmentar la qualitat de les embolcalls dels edificis farà que els nostres edificis siguin més robusts i ajudarà a reduir el nostre consum energètic.

Goig tèrmic

Si bé la supervivència passiva respon a la necessitat de seguretat tèrmica en situacions crítiques, també hauríem de garantir la “riquesa passiva” en l'ús quotidià dels nostres edificis. Incloure un disseny tèrmic més conscient en l'arquitectura pot permetre una major variabilitat en els nostres entorns interiors, amb l'objectiu no només de confort tèrmic, sinó de goig tèrmic.¹³ A través del paisatgisme tèrmic en arquitectura, podríem incloure una varietat d'experiències tèrmiques en diferents espais, per augmentar la nostra percepció i connexió amb el nostre entorn. Mantenir-nos compromesos i conscients del nostre entorn alhora que es permeten algunes variacions naturals de temperatura pot tenir beneficis fisiològics i psicològics. Aleshores, entendre els edificis solars com a sistemes tèrmics dinàmics pot proporcionar un entorn construït més durador, ètic i agradable. Aquest

Thermal habitability

The term “thermal habitability”, or “passive survivability”, refers to the hygrothermal conditions that would ensure our thermal safety inside buildings during extreme climatic events (storms, drought, heat/cold waves) and power outages.¹² Relevant for our homes and workplaces, it is even more so for buildings designated to serve as emergency shelters. The metrics used here have to include considerations to air temperature (Dry-Bulb Temperature), relative humidity and mean radiant temperature. These include Standard Effective Temperature (SET), Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT) and Heat Index (HI) for high temperatures. The Resilient Design Institute and the U.S. Green Building Council Resilience Working Group define the “habitability zone” as between 12°C and 30°C SET, for adults of average stature and physical condition. With outdoor clothing or blankets in the winter and some airflow in the summer, most people would be safe within this temperature range. Passive survivability should be an inherent part of resilient design. It can both keep us safe in case of critical events and, at the same time,

help mitigate climate change. Increasing the quality of building envelopes will make our buildings more robust and help lower our energy consumption.

Thermal delight

While passive survivability responds to the need for thermal safety in critical situations, we should also ensure the “passive thriving” in the everyday use of our buildings. Including a more conscious thermal design in architecture can allow a higher variability in our indoor environments, aiming not only for thermal comfort, but thermal delight.¹³ Through thermal landscaping in architecture, we could include a variety of thermal experiences in different spaces, to heighten our perception and connection to our surroundings. Keeping us engaged and aware of our environment while allowing some natural variations in temperature may have physiological and psychological benefits. Then, understanding solar buildings as dynamic thermal systems can provide a more durable, ethical and enjoyable built environment. This thermal landscaping ought to include adaptation possibilities for the occupants,

paisatgisme tèrmic hauria d'incloure possibilitats d'adaptació dels ocupants, una varietat d'ambients interiors passius diferents i refugis climàtics per a la seguretat tèrmica en cas de crisi.¹⁴ A més d'una millora de la riquesa i varietat als nostres edificis, adoptar el clima i augmentar la nostra connexió amb la natura també milloraria l'eficiència energètica i reduiria les emissions associades.

Debat i conclusions

El disseny tèrmic dels nostres edificis hauria de poder acollir tot tipus d'ocupants. No obstant això, els conceptes explicats ací es van desenvolupar per a homes adults sans. Les necessitats tèrmiques d'altres tipus d'usuaris poden ser més restrictives, en resposta a la seua edat, gènere o salut.

Per tal de fer que els nostres edificis siguin més sostenibles, hem d'incorporar al nostre disseny un nivell més alt de connexió amb el medi ambient. Només així podrem fer-los més eficients energèticament i més segurs tèrmicament i físicament. Augmentar la nostra relació amb la natura també ens aportarà més plaer, mantenint-nos més sans, actius, sensibles i conscients del nostre entorn. Tot això farà que sigui més fàcil viure d'una manera sostenible.

Hem de promoure un despertar conscient dels nostres sentits. Una encarnació vivencial de l'arquitectura i la natura ens estimularia i ens implicaria. A més d'ajudar-nos a prosperar, això pot recuperar un respecte molt necessari pel nostre entorn, acceptant les seues condicions canviants, impulsant-nos cap a la seua preservació.

És important ser conscient de les conseqüències de les nostres decisions de disseny per als edificis i sistemes. Per exemple, la configuració predeterminada dels nostres sistemes determinarà com s'utilitza l'usuari habitual no expert. Per tant, si la temperatura predeterminada per a la refrigeració al nostre sistema HVAC és de 18 °C, aquesta serà la que s'utilitzarà, independentment de la temperatura exterior i del nostre propi historial tèrmic, roba i preferència. Això pot crear ambients interiors freds innecessaris i un alt consum d'energia.

a range of different passive indoor environments and climate refuges for thermal safety in case of crisis.¹⁴ In addition to an enhanced thriving in our buildings, embracing the climate and increasing our connection with nature would also improve energy efficiency and lower the associated emissions.

Discussion and conclusion

The thermal design of our buildings should be able to accommodate all sorts of occupants. Yet, the concepts explained here were developed for healthy male adults. The thermal needs for other types of users might be more restrictive, in response to their age, gender or health.

In order to make our buildings more sustainable, we need to bring into our design a higher level of connection to the environment. Only then can we make them more energy-efficient and thermally and physically safer. Increasing our relationship with nature will also bring us more pleasure, keeping us

healthier, more active, responsive and aware of our surroundings. All of this will in turn make it more effortless to live in a sustainable way.

We need to promote a conscious awakening of our senses. An experiential embodiment of architecture and nature would stimulate and engage us. In addition to help us thrive, that can bring back a very needed respect to our environment, embracing its changing conditions, nudging us towards its preservation.

It is important to be conscious about the consequences of our design decisions for buildings and systems. For instance, the default settings in our systems will determine how they are used by the regular non-expert user. So, if the default setpoint temperature for cooling in our HVAC system is 18 °C, that will be the one used, regardless of the outdoor temperature and our own thermal history, clothes and preference. This can create unnecessary cold indoor environments and high energy consumption.

Finalment, però no menys important, hem d'entendre el paper ètic de l'arquitectura en relació amb la tecnologia, l'energia i els recursos. Els arquitectes han de dissenyar tenint en compte el rendiment tèrmic i energètic, no només deixar als enginyers les qüestions relacionades amb la salut i l'eficiència energètica. Una visió del món més holística pot aportar nivells més alts d'integració, molt necessaris per activar el compromís dels usuaris amb la natura i per aconseguir una arquitectura més sostenible.

Agraïments

Els autors volen reconèixer el suport financer de la *Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet* (Universitat Noruega de Ciència i Tecnologia), NTNU, i de *The Research Centre for Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities* (el Centre de Recerca per a Barris d'Emissions Zero a les Ciutats Intel·ligents), FME-ZEN.

Notes

- ¹ Victor Olgyay. *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*; Princeton University Press: Princeton, 1963.
- ² Gro Harlem Brundtland. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*; Nacions Unides: 1987.
- ³ UN General Assembly. *Report of the World Summit on Sustainable Development*; Nacions Unides: Johannesburg, Sud-àfrica, 21 de febrer de 2003, 2002.
- ⁴ The History of Earth Day. Disponible en línia: <https://www.earthday.org/history/> (consultat el 23 de juliol de 2023).
- ⁵ Robert Gifford. The dragons of inaction: psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American psychologist* 2011, 66, 290.
- ⁶ IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.*

Last but not least, we need to understand the ethical role of architecture in relation to technology, energy and resources. Architects need to design with thermal and energy performance in mind, not just leave the matters related to health and energy efficiency to the engineers. A more holistic worldview can bring higher levels of integration, very needed to activate the users' engagement with nature and to achieve a more sustainable architecture.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the financial support of the Norwegian University of Science and Technology (NTNU) and The Research Centre for Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME-ZEN).

Footnotes

¹ Victor Olgyay. *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*; Princeton University Press: Princeton, 1963.

² Gro Harlem Brundtland. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*; United Nations: 1987.

³ UN General Assembly. *Report of the World Summit on Sustainable Development*; United Nations: Johannesburg, South Africa, 21 February 2003 2002.

⁴ The History of Earth Day. Available online: <https://www.earthday.org/history/> (accessed on 23/7/2023).

⁵ Robert Gifford. The dragons of inaction: psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American psychologist* 2011, 66, 290.

⁶ IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2023.*

⁷ ASHRAE. *ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. 2020.

⁸ J Fergus Nicol; Susan Roaf. Rethinking thermal comfort. 2017, 45, 711-716.

⁹ Thomas Parkinson; Richard de Dear; Christhina Candido. Thermal pleasure in built environments: alliesthesia in different thermoregulatory zones. *Building Research & Information* 2016, 44, 20-33.

¹⁰ Brendon Levitt; M Ubbelohde; George Loisos; Nathan Brown. Thermal autonomy as metric and design process. In Proceedings of the CaGBC National Conference and Expo:

- ⁷ ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2020.
- ⁸ J Fergus Nicol; Susan Roaf. Rethinking thermal comfort. 2017, 45, 711-716.
- ⁹ Thomas Parkinson; Richard de Dear; Christhina Candido. Thermal pleasure in built environments: alliesthesia in different thermoregulatory zones. *Building Research & Information* 2016, 44, 20-33.
- ¹⁰ Brendon Levitt; M Ubbelohde; George Loisos; Nathan Brown. Thermal autonomy as metric and design process. In Proceedings of the CaGBC National Conference and Expo: Pushing the Boundary–Net Positive Buildings, 2013; 47-58.
- ¹¹ Chun Yin Siu; William O'Brien; Marianne Touchie; Marianne Armstrong; Abdelaziz Laouadi; Abhishek Gaur; Zahra Jandaghian; Iain Macdonald. Evaluating thermal resilience of building designs using building performance simulation – A review of existing practices. *Building and Environment* 2023, 234, 110124, doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110124>.
- ¹² Alex Wilson. Resilience as a driver of passive design. En *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 155-164.
- ¹³ Vikram Sami. From survivability to thriving: Finding joy in passive design. En *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 165-174.
- ¹⁴ Susan Roaf. Thermal landscaping of buildings: Climate-proofing design. En *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 145-154.

Pushing the Boundary–Net Positive Buildings, 2013; 47-58.

- ¹¹ Chun Yin Siu; William O'Brien; Marianne Touchie; Marianne Armstrong; Abdelaziz Laouadi; Abhishek Gaur; Zahra Jandaghian; Iain Macdonald. Evaluating thermal resilience of building designs using building performance simulation – A review of existing practices. *Building and Environment* 2023, 234, 110124, doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110124>.
- ¹² Alex Wilson. Resilience as a driver of passive design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 155-164.
- ¹³ Vikram Sami. From survivability to thriving: Finding joy in passive design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 165-174.
- ¹⁴ Susan Roaf. Thermal landscaping of buildings: Climate-proofing design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 145-154.

Bibliografía

Bibliography

- ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2020.
- Brundtland ,Gro Harlem. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*; Naciones Unidas: 1987.
- Gifford, Robert. The dragons of inaction: psychological barriers that limit climate change mitigation and adaptation. *American psychologist* 2011, 66, 290.
- IPCC. Climate Change 2023: Synthesis Report. *A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2023.
- Levitt, Brendon; M Ubbelohde; George Loisos; Nathan Brown. Thermal autonomy as metric and design process. In Proceedings of the CaGBC National Conference and Expo: Pushing the Boundary—Net Positive Buildings, 2013; 47-58.
- Nicol, J Fergus; Susan Roaf. Rethinking thermal comfort. 2017, 45, 711-716.
- Olgyay, Victor. *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*; Princeton University Press: Princeton, 1963.
- Parkinson, Thomas; Richard de Dear; Christhina Candido. Thermal pleasure in built environments: alliesthesia in different thermoregulatory zones. *Building Research & Information* 2016, 44, 20-33.
- Roaf, Susan. Thermal landscaping of buildings: Climate-proofing design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; pp. 145-154. Sami, Vikram. From survivability to thriving: Finding joy in passive design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 165-174.
- Siu, Chun Yin; William O'Brien; Marianne Touchie; Marianne Armstrong; Abdelaziz Laouadi; Abhishek Gaur; Zahra Jandaghian; Iain Macdonald. Evaluating thermal resilience of building designs using building performance simulation – A review of existing practices. *Building and Environment* 2023, 234, 110124, doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110124>.
- UN General Assembly. *Report of the World Summit on Sustainable Development*; United Nations: Johannesburg, Sud-àfrica, 21 February 2003, 2002.
- Wilson, Alex. Resilience as a driver of passive design. In *Activism in Architecture*; Routledge: 2018; 155-164.