

EL PAPEL DE LA GEOMETRÍA COMO HERRAMIENTA DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Ángel José Fernández Álvarez

Departamento de Tecnología y Ciencia de la Representación Gráfica
Universidad de A Coruña

1. INTRODUCCIÓN

“... ha de ser muy práctico en medir, sabiendo para ésto la parte que toca de la Aritmética y Geometría, para medir las obras y reducir los cuerpos según su calidad, por la mucha diferencia que se ofrece en las fábricas, pues no sabiendo ésto con gran inteligencia no puede saber lo preciso para ajustar la verdad...”

(Juan Gómez de Mora, Maestro Mayor y Trazador de las obras reales en un escrito dirigido a la junta con motivo de producirse la vacante de Aparejador Mayor de las obras del Alcázar de Madrid, siglo XVII) (1)

La geometría es una herramienta que permite operaciones gráficas bidimensionales a través de las cuales se pueden construir y controlar las formas tridimensionales espaciales.

Desempeña un papel de relevancia en la definición de la forma en el ámbito de la arquitectura en las distintas fases del proceso proyectual, desde la ideación hasta la construcción.

Desde el punto de vista de la ideación arquitectónica pueden señalarse distintos objetivos (2):

Servir de principio generador y marco de referencia, instrumento de apoyo y control de la idea proyectual;

Servir de sustrato ordenado o pauta de organización general de la configuración global del objeto arquitectónico dentro de un sistema de elementos y relaciones en las que la geometría garantiza, sostiene y evidencia el nivel de orden con base en pautas dimensionales (trazados reguladores, retículas, sistema de proporciones, etc.) y articuladoras (simetrías, ritmos, etc.) (3).

Existe un amplio bagaje de esquemas formales extensamente utilizados y versátiles desde el punto de vista geométrico que ponen en marcha mecanismos compositivos y establecen o se apoyan en diferentes sistemas proporcionales concretos. (4)

Señala Ludovico Quaroni en sus ya clásicas “*lecciones de arquitectura*” la necesidad de poseer un instrumento gráfico de proyección que, en su conjunto, afirma, se puede reconducir a la geometría y que puede denominarse *geometría*: una geometría del “diseño arquitectónico”, en la doble vertiente de invención-proyección (ideación) y de operación gráfica (análisis) para la construcción-comunicación de la propia invención. (5)

(1) Citado en: GARCÍA MORALES, M^a Victoria, *El oficio de construir: origen de profesiones. El aparejador en el siglo XVII*. Comisión de Cultura del COAAT de Madrid, 1990, p. 170.

(2) OTXOTORENA, Juan M., *La construcción de la forma*, ETSA Universidad de Navarra, Pamplona, 1999, p. 65.

(3) ARAUJO, Ignacio, *La forma arquitectónica*, Ediciones Universidad de Navarra, Pamplona, 1976, pp. 95 y ss.

(4) OTXOTORENA, Juan M., *Ibidem*, p. 65

(5) QUARONI, Ludovico, *Proyectar un edificio. Ocho lecciones de arquitectura*, Xarait, Barcelona, 1980, p. 134.



La *geometría* sería pues para este autor el “instrumento que nos sirve para delimitar, cortar, precisar y dar forma al espacio, material base de la arquitectura”.

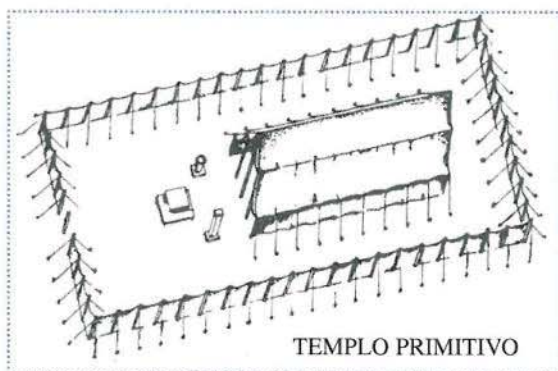
Realizaremos un breve análisis de las relaciones existentes entre geometría y arquitectura y del papel de ésta última como instrumento de proyección y de configuración de un orden sobre el que estructurar el proyecto de arquitectura.

2. GEOMETRÍA Y DISEÑO ARQUITECTÓNICO

“El hombre primitivo ha detenido su carro, decide que éste será su suelo. Elige un claro, abate los árboles demasiado cercanos, allana el terreno de los alrededores, abre el camino que le unirá con el río o con la tribu que acaba de dejar. Planta las estacas que han de sostener su tienda y la rodea de una empalizada, en la cual pone una puerta. El camino es todo lo rectilíneo que le permiten sus herramientas, sus brazos y su tiempo. Los postes de su tienda forman un cuadrado, un hexágono o un octágono. La empalizada forma un rectángulo cuyos cuatro ángulos son iguales y rectos. La puerta de la choza se abre en el eje del cercado y la puerta de éste se halla frente a la puerta de la choza. [...] No hay hombre primitivo, hay medios primitivos. La idea es constante y poderosa desde el principio mismo.”

Le Corbusier, *Hacia una Arquitectura*, Poseidón, 1997, p. 53.

El texto citado de Le Corbusier nos revela como un hecho evidente la percepción de la importancia que la geometría desempeña en la arquitectura desde sus inicios más remotos hasta la actualidad.



TEMPLO PRIMITIVO

El profesor Simón Unwin en su didáctica obra “Análisis de la arquitectura” dedica un capítulo de la misma a las relaciones entre geometría y arquitectura (6) y en él señala que el análisis de la utilización de la geometría en la arquitectura puede ser realizado en base a los criterios de voluntad de cambio y control (dominación) o de actitud de aceptación y receptividad (sumisión), que son las distintas posturas de interacción con el mundo que puede adoptar el diseñador frente a los diferentes aspectos que intervienen en el proyecto.

Así tendríamos maneras de usar la geometría que surgen de las condiciones del ser (geometrías “del ser”), y otras que se imponen o sobreponen al mundo (geometrías “ideales”).

3. LAS GEOMETRÍAS DE LA REALIDAD O DEL “SER”

En primer lugar la palabra geometría sugiere la presencia de conceptos abstractos (círculos, cuadrados, triángulos, pirámides, conos, esferas, diámetros, radios, etc.) que desempeñan un papel importante en la arquitectura y pertenecen a la categoría de las geometrías ideales, de tal manera que su “perfección” puede ser impuesta sobre el tejido físico del mundo como medio de identificación del lugar.

Pero no se puede olvidar que la geometría también puede surgir de nuestra relación con el mundo, de tal modo que las geometrías “del ser” son inherentes a la identificación de lugares.

En este sentido resulta interesante el concepto acuñado por Unwin de “círculo de presencia” (7) que consiste en la interrelación que se produce entre los distintos cuerpos por el mero hecho de existir y que contribuye a su propia identificación del lugar.

El más amplio de esos círculos sería el visual (distancia desde la que es visible un objeto), pudiendo ensancharse hasta el horizonte o quedar limitado por un elemento determinado como por ejemplo un bosque o por un muro.

(6) UNWIN, Simon, *Análisis de la arquitectura*, Gustavo Gili, 2003, pp. 99-127.

(7) UNWIN, Simon, *Ibidem*, p. 99.

Otra variable que definiría estos círculos de presencia sería el sonido y también cualquier factor relacionado con la percepción del mismo a través de los distintos sentidos (esta "sensorialidad" definiría los denominados elementos *soft* de la arquitectura), siendo el círculo menor el relacionado con los aspectos táctiles (círculo íntimo).

El círculo de presencia intermedio entre lo visual y lo táctil sería el más difícil de determinar y es el que delimita el lugar del cuerpo, el que hace manifiesta su "presencia" (círculo de lugar).

La tarea de la arquitectura tradicionalmente ha sido la de afirmar, definir, ensanchar, moldear o controlar las características de estos círculos. (8)

Una característica interesante a destacar es que estos círculos raramente son perfectos, estando condicionados por las referencias del lugar y la topografía, y por la superposición e interferencias de los círculos de presencia de los diversos cuerpos y objetos que se relacionan entre sí.

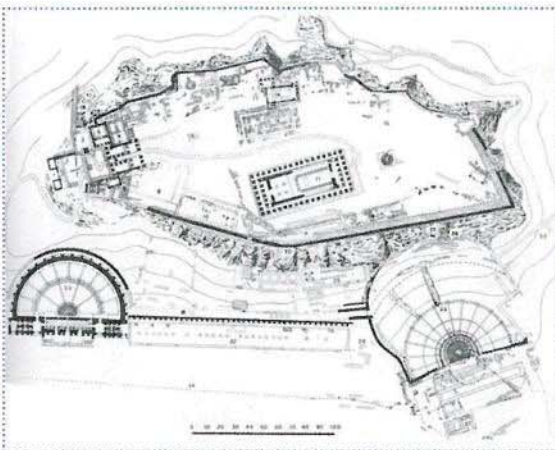


Fig. 2.- Plano de la Acrópolis de Atenas

La manipulación de los círculos de lugar por la arquitectura ha sido realizada desde la Antigüedad por diversos métodos. La concepción del espacio en la Atenas clásica con el ejemplo del conjunto de la Acrópolis y las relaciones que se establecen entre el sitio sagrado y la topografía de la colina, así como las relaciones que se generan entre las dos importantes estatuas de la diosa Atenea, ilustran los medios utilizados para articular el papel de los círculos de presencia en la arquitectura.



Fig. 3.- Vista reconstruida de la Acrópolis

Un segundo concepto a considerar dentro de las geometrías "del ser" sería el de ejes visuales, que parte de la fascinación que experimenta el ser humano por el hecho de ver en línea recta. Esto se traduce en una fascinación por los ejes visuales que resulta evidente en arquitectura.



Fig. 4.- Parque de esculturas de la Torre de Hércules, A Coruña

Cualquier alineación de tres o más objetos (siendo uno de ellos nuestro propio ojo) adquiere un significado peculiar. Las alineaciones otorgan significado, tanto al objeto lejano como al observador e implican una línea de contacto —un eje— entre el observador y el objeto distante, que provoca un sentimiento de reconocimiento del vínculo.

Si se considera la arquitectura como identificación del lugar, un eje visual establece un contacto entre lugares, siendo un instrumento para conectar los lugares con el entorno, definiéndolos como elementos de una matriz centrada en determinados elementos singulares, por ejemplo los lugares sagrados.

El concepto de recorrido pertenece también a este ámbito de la geometría "del ser". Los recorridos

se consideran rectos a menos que exista la presencia de alguna "fuerza" que los desvíe. La arquitectura, al organizar el mundo en lugares, establece itinerarios que se integran en una experiencia secuencial.

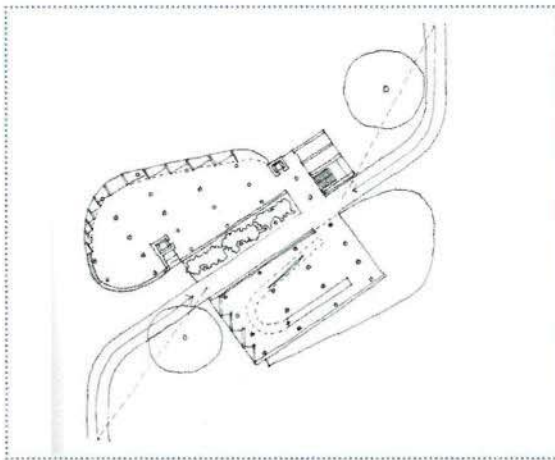


Fig. 5.- LE CORBUSIER, Centro de Artes Visuales, Cambridge, (Mass.), EEUU (1961)

Los ejes de circulación acostumbran a estar relacionados, aunque no siempre, con los ejes visuales. Así, un recorrido puede consolidar o reforzar un eje mediante la alineación de itinerario y eje visual (ejemplo, la nave de una iglesia), pero en otros casos el recorrido se desvía del eje visual apartándose de la línea recta.

Otras veces, los ejes visuales carecen de un objetivo evidente, produciéndose debido a la interrelación entre ejes visuales y de paso, sensaciones de misterio que ayudan a incrementar el interés de la experiencia arquitectónica.

Otro elemento inherente a nuestra relación con el mundo que nos rodea es la necesidad imperiosa de comparar la información recibida por los sentidos con un determinado elemento de referencia.

La medida, que está en el propio origen del término geometría (*geo*: tierra, *metron*: medida), es un aspecto esencial para el desarrollo de la vida. Medimos el mundo que nos rodea constantemente, siendo nuestro propio cuerpo la herramienta de medición más inmediata.

Establecemos la escala de una arquitectura comparándola con la de los seres humanos y en relación con sus cuerpos en movimiento. Establecemos la medida de los edificios que usamos pero a su vez los edificios condicionan la medida (escala) de la vida que se desarrolla en su interior.

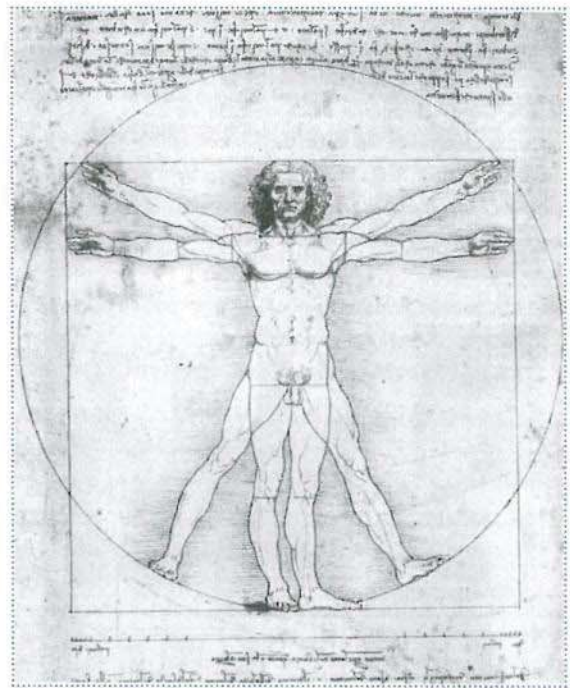


Fig. 6.- Hombre Vitrubiano. Leonardo da Vinci

El esquema del hombre de Vitrubio, elaborado por Leonardo a finales del siglo XV para describir el sistema de proporciones del cuerpo humano ideal, sugiere que se ajusta a proporciones geométricas así como la vinculación de las medidas del cuerpo humano a las de la naturaleza y del universo.

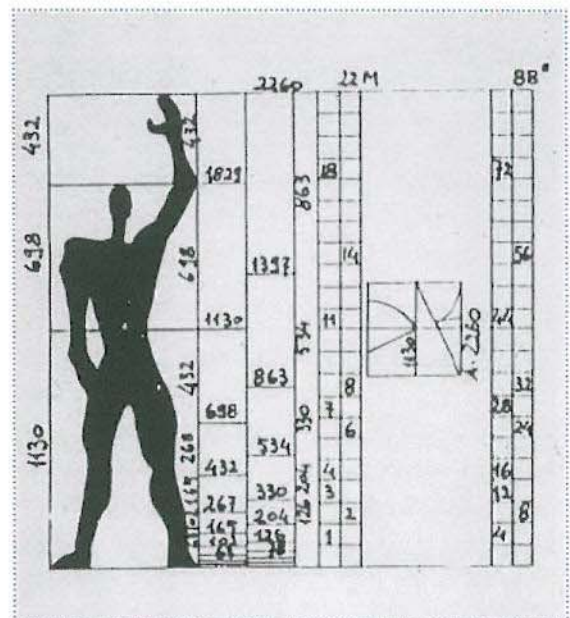


Fig. 7.- Le Corbusier. Modulor

En época más reciente los desarrollos de Le Corbusier que dieron lugar al sistema del Modulor o las experiencias de Oskar Schlemmer en la Bauhaus, en las que el cuerpo humano en movimiento mide el mundo y proyecta su medida al

espacio que le rodea serían ejemplos de esta visión geométrica del hombre en su relación con el espacio.

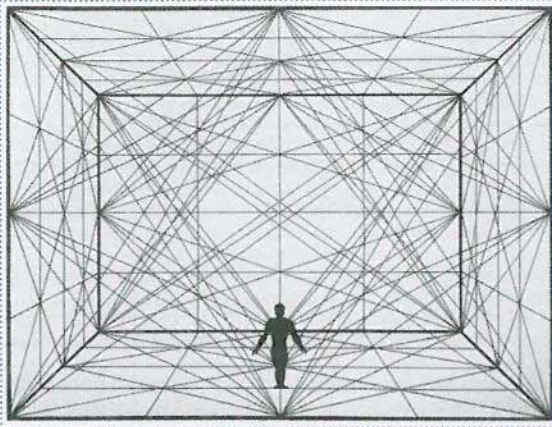


Fig. 8.- Oskar SCHLEMMER, Delineación espacial y figura (1924)

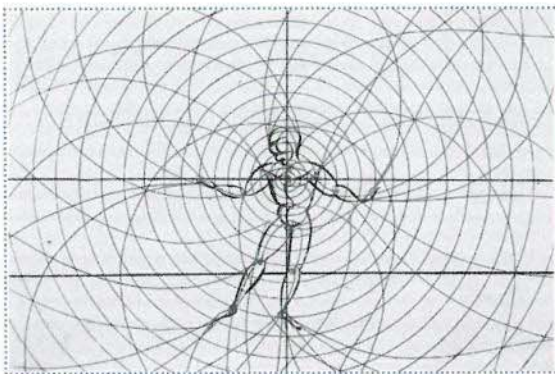


Fig. 9.- Oskar SCHLEMMER, Delineación espacial egocéntrica (1924)

Otra consideración importante en la relación del hombre con su entorno es la existencia de un conjunto de seis direcciones definidas por el cuerpo humano que, básicamente, coincidirían con las direcciones de proyección de los sistemas de representación convencionales.

Estas seis direcciones (arriba, abajo, delante, atrás, izquierda y derecha) condicionan nuestra relación con el mundo y condicionan nuestra percepción de la arquitectura interviniendo además en el proyecto al que proporcionan una matriz (caja).

Cuando nos enfrentamos a un espacio la concordancia entre los dos conjuntos de ejes y centros (el del usuario y el del espacio en el que este se encuentra) puede convertirse en un poderoso elemento identificador del lugar sobre todo cuando la arquitectura establece un "centro" que la persona (o un elemento significativo) puede ocupar.

Aparece así el predominio de una de las direcciones (direccionalidad) que puede ser reforzada mediante la combinación de itinerarios, ejes visuales, etc.

Las seis direcciones están presentes en el mundo natural como expresión de la realidad física (cielo, tierra, puntos cardinales) y de los ciclos de los movimientos de los astros.

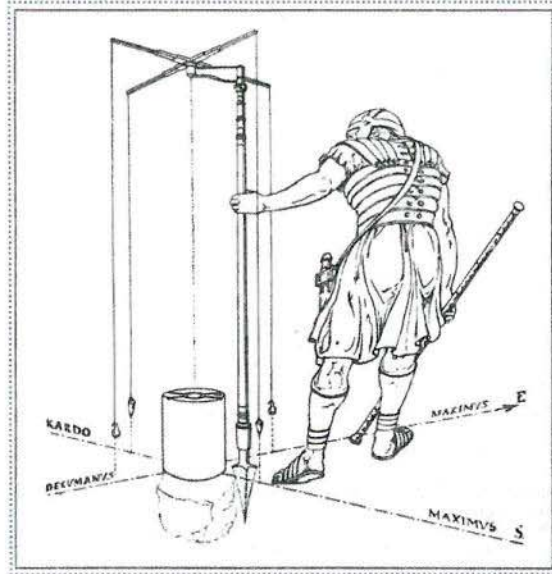


Fig. 10.- Fundación de la ciudad romana, elección de origen, punto de cruce entre cardo y decumanos

Aparece así una dualidad de ejes que influyen en la orientación de las arquitecturas construidas por el hombre: ejes terrestres y ejes antropomórficos, haciendo la geometría de las edificaciones de intermediaria entre los seres humanos y su situación en el mundo. La geometría se convierte así en una especie de *interface* primario que permite al hombre realizar su función de habitar el mundo ("...poéticamente, habita el hombre..." diría Hölderlin).

Esta geometría de ejes y centros puede apreciarse en tres niveles:

- un primer nivel antropológico, del ser humano
- un segundo nivel arquitectónico
- un tercer nivel natural o del entorno

El segundo nivel, los lugares creados a través de la arquitectura actúa como mediadora entre los otros dos. La arquitectura se convierte así también en un *interface* secundario que nos permite la relación con el entorno natural y cultural.

Hay que considerar además la geometría de la interacción social entre las personas o geometría social. Se trata de una geometría que se sobrepone al espacio en el que se encuentra. Como mecanismo de identificación del lugar se trataría de arquitectura pero al tratarse de interacción entre personas su existencia es efímera. No obstante, la arquitectura puede responder a las geometrías sociales, ordenarlas, y conseguir que su definición física sea permanente (*interface terciario*).

Otro aspecto a considerar, de gran relevancia en el ámbito de la edificación, sería la denominada geometría de fabricación o constructiva, que es aquella que se deriva del modo de fabricación de los objetos. Así la forma circular de un jarrón depende de haber sido moldeada en un torno de alfarero y sería el resultado de un movimiento circular de rotación.

En la construcción los materiales y la manera cómo están ensamblados pueden imponer o sugerir una geometría. Esta geometría de fabricación o constructiva y la geometría social pueden tener a su vez, una influencia recíproca.

La geometría social condiciona las medidas y la distribución de los espacios, pero las formas de estos espacios también se ven condicionadas por los materiales disponibles y por sus cualidades intrínsecas o las tecnologías constructivas disponibles. Esto se aprecia claramente en el caso de la arquitectura tradicional o vernácula, la denominada "arquitectura anónima" o "arquitectura sin arquitectos" de la que tantas enseñanzas contemporáneas podemos extraer desde el punto de vista de la racionalidad constructiva y ecológica.

4. LAS GEOMETRÍAS IDEALES

El círculo y el cuadrado pueden surgir de la geometría social (reunión de individuos) o de la geometría constructiva (construcción en ladrillo) pero además son figuras abstractas que responden a conceptos geométricos elementales. Se les atribuyen además componentes estéticos o simbólicos (o ambos), siendo empleados en algunos casos para dotar a la obra arquitectónica de una disciplina independiente de las diversas geometrías de la realidad.

Esta geometría ideal comprende además de las formas elementales y sus derivados tridimensionales, proporciones especiales, como las relacio-

nes simples 1:2, 1:3, 2:3, u otras más complejas como 1:, o la denominada sección áurea $\phi = 1:1,618$. (9)

Rudolf Wittkower en su obra *La arquitectura en la edad del humanismo* (1952) explora los usos que hicieron los arquitectos renacentistas de las figuras y relaciones geométricas ideales y analiza las razones que les indujeron a creer en el poder de tales figuras y proporciones.

Uno de los argumentos fundamentales consistía en que, para ellos las creaciones naturales —como las proporciones del cuerpo humano, las relaciones entre los planetas o los intervalos de la armonía musical— obedecían a relaciones geométricas, y por tanto las obras de arquitectura debían ser proyectadas utilizando figuras perfectas y proporciones matemáticas armónicas.

El uso de la geometría se convierte así en el medio idóneo para conseguir el grado de perfección al que aspiraban los teóricos del humanismo renacentista.

A través de esta geometría ideal como medio de imponer orden en el mundo, los arquitectos renacentistas hicieron uso de las figuras "perfectas" y de las proporciones geométricas en sus edificios.

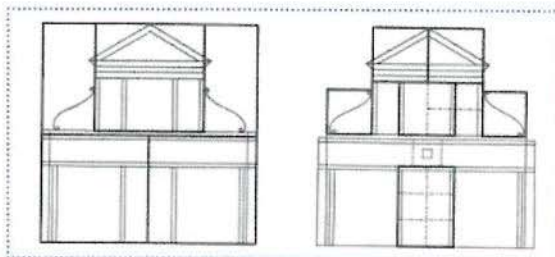


Fig. 11.- Esquema de la fachada de S. María Novella, Florencia

Los diagramas de Wittkower sobre la composición geométrica de la fachada de la iglesia de Santa María Novella en Florencia, proyectada por Leon Battista Alberti y construida en el siglo XV, son un buen ejemplo de ello. La composición de la fachada del edificio está modulada a partir del cuadrado, independientemente de la geometría de fabricación del edificio, apareciendo esta geometría sobrepuesta a la fachada principal como un filtro.

(8) UNWIN, Simon, *Ibidem*, p. 100.

(9) Para una visión más completa de la teoría de la proporción en el ámbito arquitectónico véase: SCHOLFIELD, P. H., *Teoría de la proporción en arquitectura*, Editorial Labor, Barcelona, 1971. Mas reciente véase: PADOVAN, Richard, *Proportion*, Spon Press, London, 1999.



Muchos arquitectos han ideado edificios cuyas plantas se inscribían en cuadrados perfectos. Este tipo de distribución en planta difiere conceptualmente de la composición de una fachada como matriz bidimensional de cuadrados, en que interviene la tercera dimensión e, incluso, la cuarta: el tiempo.

El diseñador busca ideas que le ayuden a dar una forma a su obra y una orientación a su proyecto, y entre ellas, las geométricas figuran entre las más seductoras.

Desde este punto de vista la idea de proyectar dentro de un cuadrado es fácil de captar y aunque se presenta inicialmente como una restricción es susceptible de variaciones infinitas. Esta solución, poco frecuente en la arquitectura antigua (salvo el ejemplo de la pirámide egipcia) y medieval (más inclinada hacia la construcción "ad triangulum"), forma parte en cambio del repertorio de la arquitectura renacentista.

Como ejemplo de la elección del cuadrado como figura generadora de la planta se presenta como paradigmática la famosa Villa Rotonda, proyectada por el arquitecto italiano Andrea Palladio. En ella las cuatro direcciones principales convergen en un punto, el centro del vestíbulo circular que ocupa el núcleo de la planta y a cuya forma debe la villa su nombre.

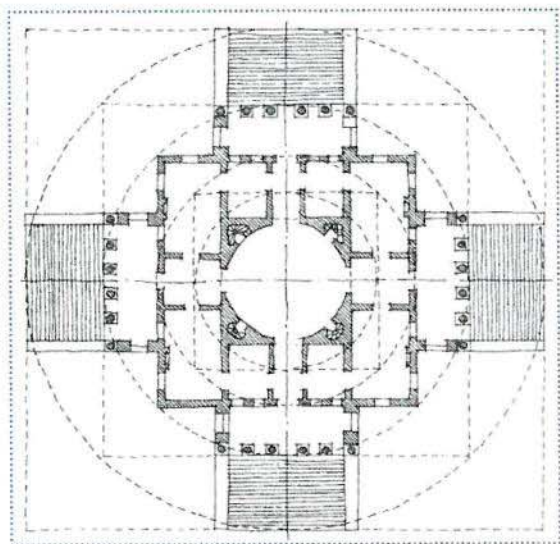


Fig. 12. Andrea Palladio, Villa Rotonda

La planta no está formada por un sólo cuadrado, sino que está constituida por cinco cuadrados concéntricos cuyo tamaño viene determinado por

el radio del círculo circunscrito al cuadrado inmediatamente inferior. El círculo más pequeño es el de la propia rotonda y cada cuadrado (excepto el segundo más pequeño) determina la posición de algún elemento importante del edificio.

El cuadrado mayor fija la posición del arranque de las escalinatas que ascienden a los cuatro pórticos de las fachadas, mientras que la longitud de las mismas viene determinada por el cuadrado inmediatamente inferior y el cuadrado intermedio define la posición de las cuatro fachadas de la villa.

En cuanto a la consideración de la tridimensionalidad, la sección de la Villa Rotonda también se obtiene de la combinación de diversos círculos y cuadrados, aunque de una forma no tan clara como en el caso de la planta.

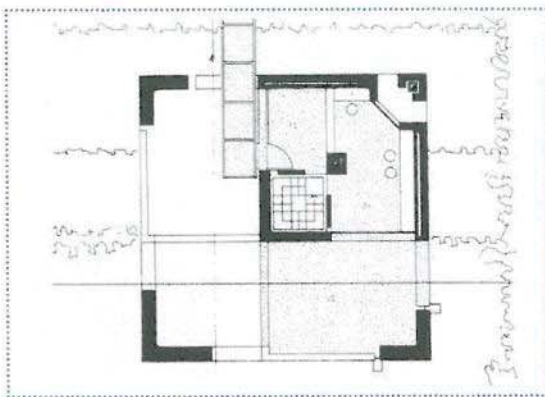


Fig. 13.- Mario BOTTA, Vivienda unifamiliar en Riva San Vitale, Suiza (1972-73)

Son innumerables los ejemplos de utilización de figuras geométricas simples como base del diseño arquitectónico. Arquitectos como Mario Botta basan la mayoría de sus proyectos en la composición de cuadrados y círculos, cubos y cilindros.

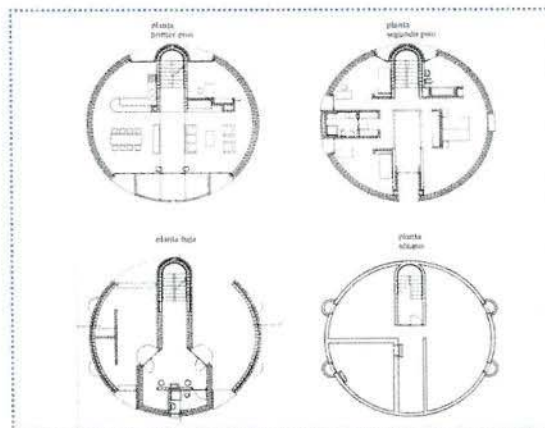


Fig. 14.- Mario BOTTA, Vivienda unifamiliar en Stabio, Suiza (1980)

Este tipo de actuaciones se combina con el empleo del rectángulo basado en la sección áurea para decidir y organizar la distribución del organismo arquitectónico en planta.

Recoge así la herencia moderna de Le Corbusier que utilizó la regla áurea para dotar de coherencia geométrica a sus obras. Ya en su obra *Hacia una arquitectura* (1927) ilustra sus análisis geométricos de edificios conocidos y los trazados geométricos reguladores en los que había basado alguno de sus proyectos. No sólo empleó la sección áurea, y en ocasiones sus "trazados reguladores" (*tracés regulateurs*), sino que también se valió de complicadas tramas de líneas en las que la geometría se superpone al alzado de la casa como un filtro, recogiendo la herencia renacentista estudiada por Wittkower.

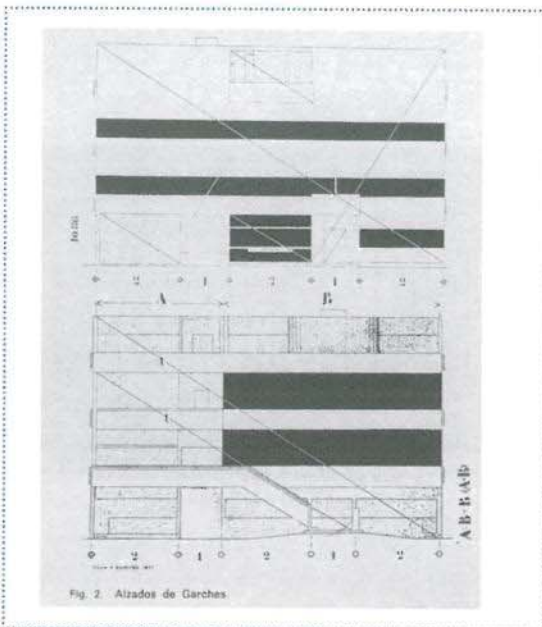


Fig. 15.- LE CORBUSIER, Villa Stein, Garches (1927)

Finalmente habría que señalar los procesos contemporáneos que (con la ayuda inestimable de la tecnología digital) llevan a la utilización de geometrías complejas y superpuestas.

La utilización de geometrías ideales para conferir racionalidad o coherencia a las plantas en la arquitectura del siglo XX ha llevado a la experimentación con organizaciones complejas en las que se producen fenómenos de superposición de geometrías.

Algunos de los proyectos de casas del arquitecto norteamericano Richard Meier responden a una compleja interrelación de geometrías ortogonales

que determinan los espacios de la vivienda, mediante giros y operaciones geométricas basadas en las diagonales y las complejas matrices de líneas creadas por la geometría de los rectángulos.

Estaríamos ante un uso de la geometría como estructura del proyecto, un híbrido de lo que hicieron Alberti y Palladio. Se utiliza la geometría para sugerir identidad formal y, quizás estética. Con sus geometrías superpuestas, Meier añade una dimensión adicional, la complejidad, a la cualidad de los espacios que se crean.

Llegaríamos en este proceso a las experimentaciones de la denominada neovanguardia arquitectónica en la que Peter Eisenman sería el iniciador de esta vía en la que será importante el proceso de creación en el que la forma explicará como se ha desarrollado, lo cual sólo se podrá expresar plenamente a través de la representación (¿geometría "explicativa" versus geometría "descriptiva")?

La línea seguirá con una serie de posiciones arquitectónicas más audaces que irrumpirán en los años setenta, representadas por arquitectos como Bernard Tschumi, Rem Koolhaas y Zaha Hadid, a los que habría que añadir las propuestas más contemporáneas de Frank Gehry, Daniel Libeskind y Coop Himmel(b)au.

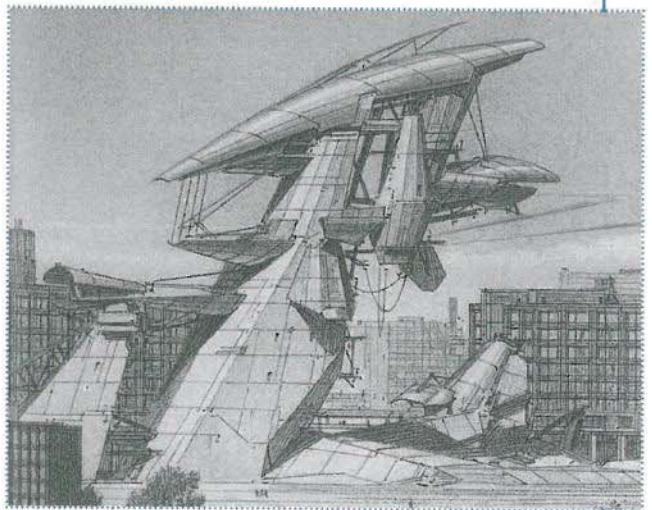


Fig. 16.- LEBBEUS WOODS, "The Zagreb Free Zone", Dibujo, 1991

Una característica del momento actual es la particular atención que se presta a la complejidad formal basada en la definición topológica de superficies curvilíneas o quebradas frente a la definición geométrica de la retícula ortogonal o la repetición de pórticos uniformes.

Estas topologías se dominan fácilmente a través de superficies NURBS (curvas Splines de tipo B No Uniformes), de polisuperficies isomórficas, hiper-superficies, etc, cuyos impulsores son, entre otros, Greg Lynn, Marcos Novak, Kas Oosterhuis, Mark Goulthorpe, Bernard Cache, etc. (10)

Ante esta nueva fascinación tecnológica por la complejidad formal tal vez habría que recordar aquí la sabia reflexión de Ludovico Quaroni que señala en sus "lecciones" los peligros y los riesgos de la geometría en la actividad de ideación arquitectónica:

"Durante la elaboración proyectual la investigación tiende a la construcción de los "espacios", que representan el *goal* del trabajo; pero inevitablemente, durante las a menudo complejas operaciones gráficas necesarias al logro de aquel objetivo final, se puede comprobar, como a menudo se comprueba, que el *medio geométrico* del diseño se mezcla y se confunde, hasta llegar a sustituirlo, con el *fin geométrico* del proceso proyectual. Hay que tener mucho cuidado de que esto no ocurra y es necesario que el arquitecto se guarde muy mucho de dejarse esclavizar por la profunda fascinación de la geometría en sí misma, que es algo distinto de la arquitectura." (11)

5. LAS NUEVAS HERRAMIENTAS: LA GEOMETRÍA FRACTAL

"¿Por qué a menudo se describe la geometría como algo "frío" y "seco"? Una de las razones es su incapacidad de describir la forma de una nube, una montaña, una costa o un árbol. Ni las nubes son esféricas, ni las montañas cónicas, ni las costas circulares, ni la corteza es suave, ni tampoco el rayo es rectilíneo." (12)

(10) SARRABLO, Vicente, "La construcción de formas complejas" en Revista *TECTÓNICA*, nº 17, *Geometrías Complejas*, septiembre de 2004, p. 18.

(11) QUARONI, Ludovico, *Ibidem*, p. 139.

(12) MANDELBROT, Benoît: *La Geometría Fractal de la naturaleza*, Barcelona, 1997, p. 15.

Véase también del mismo autor: *Los objetos fractales*, Barcelona, 1996.

Entre los años 50 y 70 Benoît Mandelbrot (Varsovia, 1924) desarrolla un nuevo tipo de geometría, la geometría fractal, que valida la descripción y el análisis de la irregularidad estructurada del mundo natural atribuyendo el nombre de fractales (del latín "*fractus*" que significa roto, irregular) a las nuevas formas geométricas desarrolladas.

Aplica el término de fractal a un objeto matemático poseedor de una estructura detallada y constante cualquiera que sea su escala de ampliación. En la multiplicidad de partes que constituyen el todo de un fractal se observa un patrón repetitivo explícitamente definidor de la dimensión fractal de la estructura.

Los fractales permiten un nuevo lenguaje para la descripción del caos, constituyendo un potencial creativo para el desarrollo de experimentaciones plásticas. Resultantes del álgebra, demuestran la idea de que Aleyes@ matemáticas pueden dotar a la imagen/objeto de belleza y diversidad.

Las formas fractales revelan una gran fuerza plástica. Su observación constituye un acto de estímulo visual, sin que esta actúe como mero registro mecánico, sino como mecanismo de aprehensión de patrones estructurales significativos.

Estas nuevas teorías tienen una gran importancia en el campo de la representación gráfica pues permiten describir con realismo objetos naturales (montañas, nubes, vegetales) de características irregulares y fragmentadas que impiden su modelado con los métodos euclidianos. Aquí tienen más importancia los procedimientos que las ecuaciones que se utilizan para modelar objetos.

Las representaciones de geometría fractal para los objetos se aplican por lo general para describir y explicar las características de los fenómenos naturales, elementos vegetales, terrenos, etc., teniendo una gran aplicación en el ámbito de la representación arquitectónica de carácter fotorrealista, simulación y visualización de proyectos, etc.

Los fractales son entidades matemáticas que tienen el atributo de contener infinitos grados de orden. Los ejemplos más simples expuestos por Mandelbrot, construyen un orden generativo a partir de unas figuras sencillas formadas por partes a las que se aplica un *generador*, que puede ser la misma figura a escala más reducida. El fractal resultante de estos procesos de iteración, tiene, a cualquier escala, la misma forma.



La noción de orden generativo, implícita en la geometría fractal, puede explicar algunas propiedades de los lenguajes arquitectónicos recientes más radicales que funcionan como sistemas generadores de formas coherentes y, por otra, permite entender algunos ejemplos concretos de arquitecturas recientes basadas en la recursividad a distintas escalas (procesos de *scaling*).

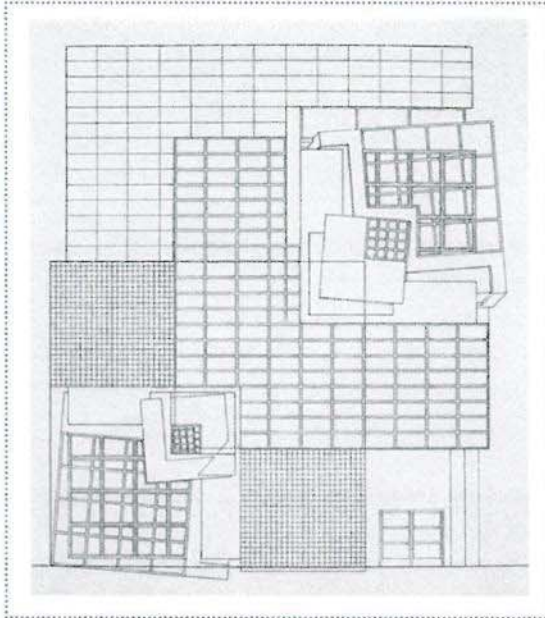


Fig 17.- Peter EISENMAN. Ejemplo de *scaling* en el edificio Koizumi Sangyo, Tokio

6. EL CONTROL DE LA FORMA

“La geometría es una música inmóvil.”

Goethe

La recepción del mensaje arquitectónico se basa en la reconocibilidad de las formas, que serán tanto más perceptibles y reconocibles cuanto más características y no confundibles con otras sean, es decir, cuanto más simples y regulares. Además las figuras geométricas generan en el hombre referencias simbólicas instintivas e inmediatas.



Fig. 18.- Dibujo caligráfico zen japonés

El cuadrado (y su extensión tridimensional, el cubo) da idea de estabilidad; el círculo (esfera) nos lleva a la idea de continuidad, de movimiento, de eternidad, de perfección; el triángulo equilátero (tetraedro) se vincula a la idea de energía, inestabilidad, aunque puede tener otros significados asociados como veremos más adelante.

Las deformaciones “regulares” de las figuras base (rectángulos, elipses, triángulos no equiláteros) representan variaciones con los que se configuran los sistemas arquitectónicos complejos en los que intervienen simultáneamente, varias de estas figuras.

Frank Lloyd Wright realizó un uso frecuente de combinaciones de sistemas geométricos y de dobles geometrías en sus composiciones: cuadrado y círculo, rectángulo y triángulo rectángulo con 60° y 30° (cartabón), cuadrado y hexágono, rectángulo y triángulo equilátero, etc.

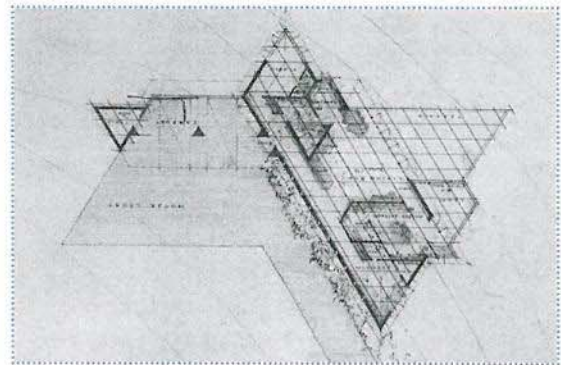


Fig. 19.- Frank Lloyd WRIGHT, Russell Krauss House, Kirkwood, Missouri.

El hexágono había sido aplicado a la arquitectura en escasos ejemplos, y siempre en edificios emblemáticos levantados sobre un muro que seguía la forma de un único polígono hexagonal regular. El uso que de éste hace Wright es muy distinto, ya que el módulo es una unidad pequeña que permite plantas abiertas y flexibles, donde se pierde la rigidez del polígono para conservar tan sólo los ángulos de 60° y 120°.

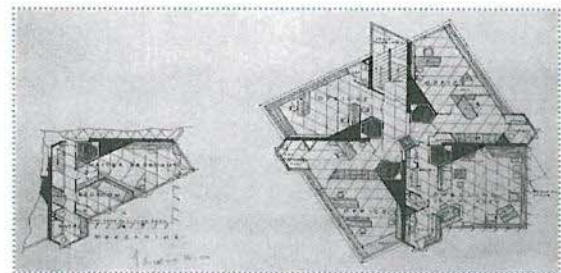


Fig. 20.- Frank Lloyd WRIGHT, HC Price Company Tower, Bartlesville, Oklahoma

La geometría del hexágono –por cierto, una geometría de la materia inerte y no de la materia orgánica, como señala el profesor Joaquín ESPAÑOL en su reciente trabajo *El orden frágil de la arquitectura*–, a pesar de sus posibilidades de formar redes planas, es notablemente más rígida que la del ángulo recto, y tiende a ser excluyente y no inclusiva. (13)

En ocasiones para ciertas arquitecturas se ha querido elegir una forma “pura” con la que dar fuerza a una realidad-mito como por ejemplo, la muerte. Surge así una arquitectura funeraria de túmulos cónicos, pirámides, etc.

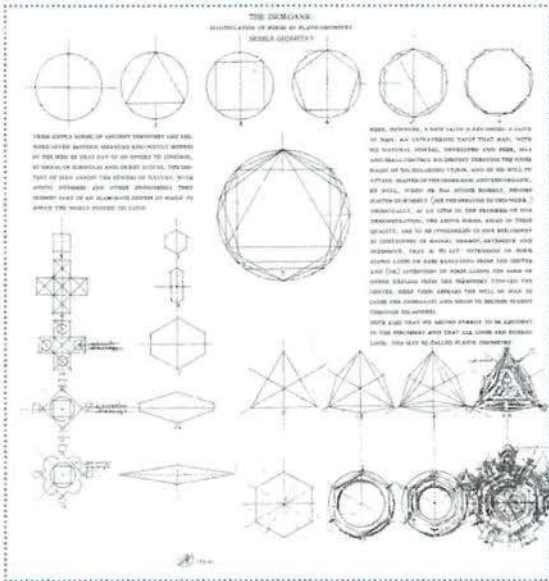


Fig. 21.- Louis SULLIVAN, ilustración de *A System of Architectural Ornament*, 1924

El caso es que, salvo raras excepciones, siempre es posible leer una arquitectura bajo el código de las formas geométricas elementales de la geometría clásica euclidiana.

Además la geometría interesa al arquitecto como ciencia-base para el estudio y la construcción de las estructuras formales, siendo una ciencia que se ocupa de la economía del espacio, entendiendo economía como relación entre cantidad y calidad.

7. CONCLUSIÓN

Finalizaremos esta breve reflexión sobre el papel de la geometría citando nuevamente las palabras de Ludovico Quaroni (14) cuando resume la función de la misma afirmando que ésta constituye para el

(13) ESPAÑOL, Joaquín, *El orden frágil de la arquitectura*, Fundación Caja de Arquitectos, Barcelona, 2001, pp. 161-162.
 (14) QUARONI, Ludovico, *Ibidem*, p. 139.

arquitecto una base y un medio disciplinar, un instrumento indispensable en el “tratamiento” de las formas que entran en la “composición” de los espacios. Esta relación entre geometría y arquitectura se estructura desde tres puntos de vista:

- como un sistema de formas reales resultantes de los espacios y configuraciones del edificio, dotadas de significados simbólicos y psicológicos
- como un complejo sistema gráfico-matemático empleado para materializar sobre el papel (hoy en día soporte de cualquier tipo, mayoritariamente digital) la geometría definidora de los espacios y configuraciones del edificio así como la autocomunicación necesaria para el control continuo del proyecto por parte del arquitecto
- como un medio gráfico para transmitir y comunicar la idea proyectual y la estructura arquitectónica del edificio en cualquiera de las fases del proceso desde la ideación hasta la construcción definitiva.

Durante este proceso a menudo el *medio geométrico* del diseño se mezcla y se confunde, hasta llegar a sustituirlo, con el *fin geométrico* del proceso proyectual. Señala Quaroni la necesidad de evitar caer en las redes de la profunda fascinación que ejerce la geometría en sí misma pero que se configura como algo distinto a la propia arquitectura.

Las posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías digitales a la hora de representar y materializar las geometrías complejas a las que nos hemos referido en otro apartado de este artículo, confirman la vigencia de estas consideraciones que invitan al técnico a una reflexión serena alejada de meros alardes tecno-digitales en los que la geometría se convierte en un medio y no en un fin.

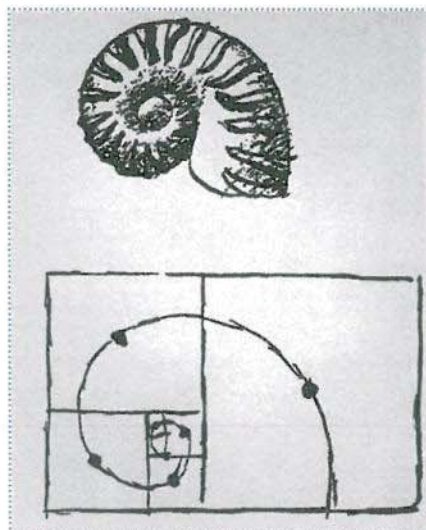


Fig. 22.- LE CORBUSIER, Esquema de crecimiento del Museo de Arte Contemporáneo, París (1931)