



## ARQUITECTURA FRACTAL

Una nueva geometría y sus consecuencias

La inspiración de la arquitectura en la naturaleza no puede limitarse a copiar las formas sino que debe aspirar a aplicar las leyes. Las formas son simples consecuencias y los fractales, las herramientas geométricas necesarias en el camino hacia unas cotas de expresión artística tan creativas y variadas como la propia naturaleza

**José Manuel Gómez Giménez**

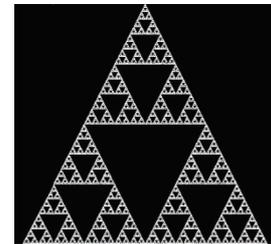


## ARQUITECTURA FRACTAL

La geometría fractal es relativamente reciente. Incluso a día de hoy, las definiciones matemáticas concretas de los conceptos fractales no son precisas ni de aceptación general. El término **fractal** fue propuesto por **Benôit Mandelbrot** en **1975** como un **objeto semigeométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas**.

Matemáticamente, de una manera esquemática y reducida, podemos dotar a los fractales con las siguientes **características generales**: son figuras **demasiado irregulares para ser descritas en términos geométricos euclidianos**; **no** presentan una **escala de uso definida**; son **autosemejantes**, esto es, sus partes tienen la misma forma o estructura que el todo; y se denotan con un simple **algoritmo recursivo**, es decir, la repetición de una misma fórmula que en realidad se define como una alusión indirecta a ella misma.

El origen de los fractales y las **técnicas para generarlos** son dos temas que vienen de la mano. El primer método para generarlos es el **sistema de las funciones iteradas**, consistente en reemplazar recursivamente un mismo sistema de aplicaciones sobre las imágenes que se van obteniendo. Así, los casos más conocidos de estos son el *triángulo de Sierpinski* o el *cubo de Menger*. El primero es obtenido a partir de un triángulo cualquiera mediante la aplicación reiterada de homotecias de razón un medio sobre sus vértices. Esto nos producirá nuevos triángulos sobre los cuales seguiremos efectuando la misma aplicación afín. Con la producción de esta figura Sierpinski había hallado algo para lo que la geometría euclidiana no tenía solución: figuras de perímetro infinito y área finita. Era de esperar que hiciera falta una nueva forma de entender la geometría.



Sierpinski realizará sus descubrimientos en esta área a principios del siglo XX. Paralelamente, algunos investigadores descubrirán los llamados **fractales naturales**, lo que venía a confirmar que la naturaleza en realidad se podía explicar más como una geometría fractal que como una simple geometría euclidiana. Por supuesto, estas representaciones son aproximadas ya que en realidad algunas propiedades atribuidas a los fractales ideales como la del detalle infinito no son totalmente interpolables al mundo natural.



Una muestra de este tipo de fenómenos naturales que se explica mediante la geometría fractal es el movimiento browniano, o sea, el movimiento aleatorio que se observa en algunas partículas de tamaño verdaderamente reducido en el interior de un fluido. De esta forma hemos llegado a otra manera de obtener un fractal, la **aleatoriedad**, o dicho de un modo más pomposo: la generación por procesos estocásticos no deterministas.

Por último será Mandelbrot, un catedrático de la universidad de Yale, quien expondrá toda la teoría acerca de esta geometría en su libro *The Fractal Geometry of Nature*, escrito en 1982. En él además de las definiciones matemáticas de los elementos fractales y de alusiones a estudios anteriores como los de Serpinski, se nos presenta una descripción completa de la estructura irregular de la naturaleza. Con esta nueva geometría, que superaba las limitaciones de la geometría tradicional euclídea, fue capaz de dar una nueva explicación a que “las nubes no son esferas, las montañas no son círculos, la corteza no es lisa, ni el relámpago viaja en línea recta”. Las tan ansiadas fórmulas que reemplazarían a las introducidas por Euclides en el estudio de la naturaleza estaban saliendo a la luz.

En este libro, que sin duda supuso el hito más importante para la reciente geometría fractal, se exponía además el último de los medios para la obtención de fractales, concretamente unos que pasarían a llamarse como **fractales de tiempo de escape**, definidos por una relación de recurrencia en cada punto del espacio en el que se van a fijar. Los más importantes y estudiados en este campo son los conjuntos de Mandelbrot.

Desde su origen las repercusiones de esta nueva parcela de las matemáticas se han extendido por todos los campos: desde la compresión informática de imágenes, el modelado de elementos naturales, la medicina, la física del caos o las visitas ocasionales en aspectos geográficos y de ingeniería; hasta las posibles aplicaciones que algún economista atraído por la predicción del comportamiento de sistemas caóticos complejos como la bolsa de valores le ha querido dar.

No obstante, hay un **colectivo profesional que debe estar especialmente interesado** en estudiar toda la evidencia psicológica de la invariabilidad fractal como parte fundamental de los procesos de conocimiento y evolución del entorno: **arquitectos, urbanistas y diseñadores** que hasta ahora –al menos conscientemente- no hemos explotado lo que deberíamos las estrategias fractales para atender las preferencias genéticas humanas en la elección de su hábitat.

Cómo hemos mentado, la explotación efectiva del potencial de esta geometría en arquitectura aún no se ha llevado a cabo, sin embargo desde siempre se han efectuado construcciones que bien podrían haber tenido como base a los fractales. Así, algunas de las obras más bellas de nuestra arquitectura consiguen imitar la “rima” que mueve la naturaleza, aunque a través de un diseño integral y no de un proceso caótico, como el que se supone existente en la naturaleza. Ejemplos de estos casos son algunas de las obras de Gaudí, Wright, Neutra, Candela o Higuera; incluso alguno de los postulados de la *Carta de Atenas* de Le Corbusier podrían asentarse sobre una base fractal, como veremos más adelante. Por otro lado, de todo esto ya casi nada es nuevo, en la actualidad incluso en España vienen celebrándose unos *Congresos Internacionales sobre los Fundamentos Fractales para el Diseño Arquitectónico y Medioambiental del siglo XXI*, cuya primera edición tuvo lugar en 2004 en el Círculo de Bellas Artes de Madrid. A ellos también se hará bastante referencia puesto que están desempeñando una labor fundamental en estos temas.



## 1. PRECEDENTES ARQUITECTÓNICOS A LA TEORÍA FRACTAL:

Los mejores ejemplos de arte o arquitectura aceptados universalmente, a lo largo de generaciones, como exponentes máximos de un concepto generalizado de “belleza” tienen, todos, un “algo” conmovedor que se venía atribuyendo exclusivamente a la inspiración o a la genialidad de los artistas.

Ahora, gracias a las teorías de sistemas y las matemáticas modernas, se pueden analizar estas obras intuitivas desde la perspectiva fractal y extraer valiosas lecciones aplicables al futuro diseño de unos entornos más adecuados material y espiritualmente al ser humano. Ya que todos no podemos vivir en entornos naturales genéticamente preseleccionados, sí podríamos tratar de lograr sus mismos beneficios “sintéticamente”, gracias a herramientas de diseño basadas en la geometría fractal. Estamos en el mejor momento para poner la tecnología de la que disponemos al servicio de un nuevo humanismo arquitectónico ecológico y una nueva ética de diseño.

El análisis fractal de **magníficas obras de la arquitectura**, aparentemente muy distintas, nos revela una similitud estructural patente en el modo en que **los patrones se repiten a niveles cada vez más pequeños a lo largo de la construcción**, logrando una especie de estructura densa, que reitera la forma y la identidad del edificio a través de **una amplia red de interacciones**.

Así, podemos nombrar algunos ejemplos, el primero de ellos bien pueden ser las **catedrales góticas**. En ellas el sistema constructivo y la forma se hacen uno, como sabemos abandonando la masificación propia del románico e introduciendo la luz en unos edificios de gran altura. Estos edificios representan un claro **símil** a la geometría fractal presente en el crecimiento espontáneo del bosque. Las grandes catedrales góticas parten del suelo en grandes columnas de una esbeltez sobrenatural; luego llegan al techo y allí surge la primera jerarquización, unas llegan a la bóveda de crucería de mayor altura, el resto se queda a una altura intermedia entre la de estas últimas y la del muro perimetral. El muro exterior se ve ayudado por contrafuertes y arbotantes que junto a torres, gárgolas o pórticos escultóricos dan al edificio una gran monumentalidad. Mientras tanto, en el interior la forma de lo grande se repite en escalas menores; con la misma estructura del tallo arbóreo de las columnas se producen las nervaduras de las bóvedas que a su vez también se jerarquizan por tamaños. Y esta estructura llega hasta el plomo que separa los distintos componentes de las vidrieras, de nuevo se trata de una trama vegetal. Incluso las entradas de luz a diferentes alturas y la tenue sombra que llega a la parte más baja de las catedrales nos hacen pensar en un bosque de gran porte. No es de extrañar el gran cambio ideológico que tuvo que suponer para nuestros antepasados el paso del románico al gótico.



Por otra parte, se podría mencionar la obra arquitectónica de **Gaudí**. Produce formas irregulares pero perfectamente preconcebidas a partir de materiales de desecho con formas en principio arbitrarias. Esto es especialmente fractal, ¿no es así como funciona todo a nivel celular? ¿No es así, acaso, como ha surgido la vida? Nombraré especialmente las estructuras presentes en el Parque Güell, no porque se trate de una obra cumbre en la producción del arquitecto sino porque en su observación se pueden hallar temas claves sobre los que estamos reflexionando. Al caminar bajo las estructuras creadas para los paseos por Gaudí nos encontramos con que no hay límite demarcado entre lo natural y lo artificial. Las piedras que componen estos sistemas están clavadas en el entorno, como el barro en los nidos de las

golondrinas. A pesar de que efectivamente hay una gran mente detrás de ellas, al verlas nos hacen pensar en esa estructura caótica y deslumbrante de lo natural.

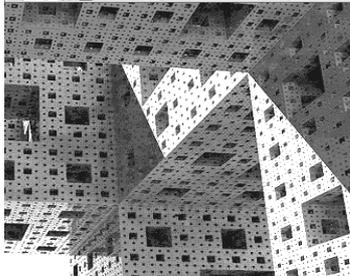
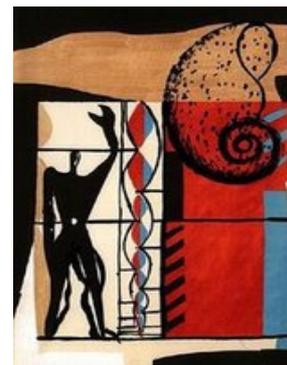
Incluso en la zona de bancos, donde Gaudí emplea el azulejo fracturado, parece hacerse alusión a la geometría fractal propia de la naturaleza. Y es que ésta se ve de algún modo como algo totalmente espontáneo y caótico, que sin saber cómo ha tenido un final espectacular. Quizá todo sea estadística o quizá sólo que nuestra escala temporal es infinitésima en comparación con la de nuestro planeta.



## 2. Conatos de una arquitectura fractal:

Como hemos dicho anteriormente, quizá el desarrollo de los fractales en la arquitectura no se haya efectuado conscientemente, sin embargo, el hecho es que hay edificios en los que podemos hallar lo que serían influencias de este campo. Pasemos a analizar algunos de ellas:

**Le Corbusier** manifestaba en 1943 en su famosa “Carta de Atenas”: “Introducir el sol, es una de las nuevas tareas de los arquitectos”. Por supuesto, se entendió al medio ambiente natural como factor positivo que debía ser utilizado en lo posible por el edificio ya que “el aislamiento del medio ambiente natural mata a cada organismo vivo”. Por lo tanto, Le Corbusier desarrolló la interesante y amplia idea de una interrelación óptima entre el volumen construido y su medio ambiente, para esto, diseñó nuevas formas geométricas de organización espacial, las cuales por medio de una maximización de la superficie perimetral podían acoplar y engarzar íntimamente el espacio interior con el exterior.

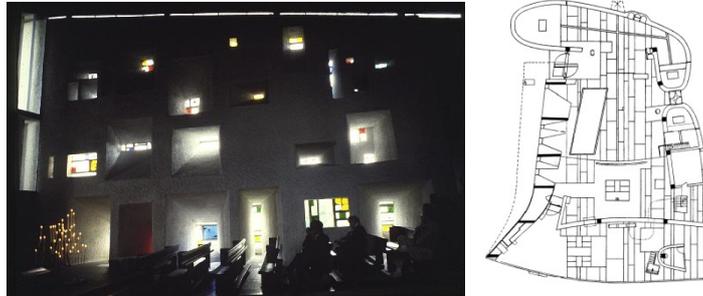


Aunque de momento esto no nos diga nada, la verdad es que la idea puede tener una componente totalmente fractal. En 1922 Le Corbusier presentó su **concepto de “villa”**. Una de sus ideas era el desarrollo de una tipología habitacional para la construcción en altura en los centros urbanos, que debía tener el mismo confort que una villa aislada. Debía ofrecer un **máximo de luz y aire** aunque sea una construcción densa, por esto, incorporó **jardines colgantes** en cada vivienda **sin importar los niveles**. “Cada vivienda es en realidad una villa de dos niveles, con jardines, sin importar en que altura y posición se encuentren estas. Este es un volumen horadado, como un panel de 6 metros de altura, 9 de ancho y 7 de profundidad. Todo ventilado por medio de un pozo de 15 m. de diámetro. Este panel es un pulmón, la vivienda es igual a una esponja gigante, que aspira aire: la casa respira”.

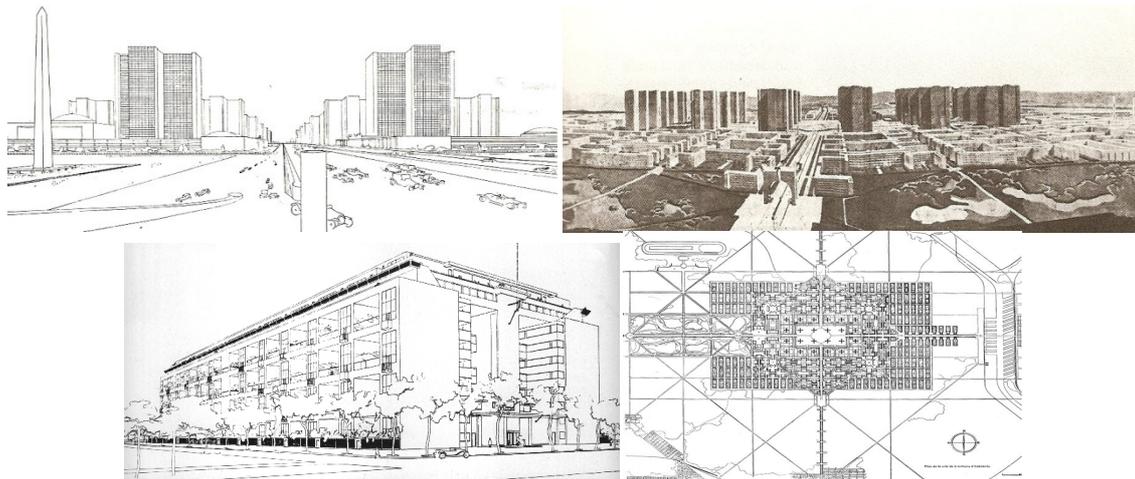
Bien, si pensásemos en un objeto así, podríamos llegar fácilmente a la **esponja de Menger**, un objeto puramente fractal. Por otro lado, es una forma que se adaptaría plenamente

a su función: por medio de las muchas aperturas en el volumen construido se aumenta de mil maneras su superficie externa, por lo que se optimiza la ventilación y la iluminación.

Le Corbusier, quizá no llegó a plasmar del todo esa idea en ninguno de sus edificios, o al menos no tanto como para que pueda ser interpretada de una forma puramente fractal. No obstante, la idea guarda relación con los fractales y por otro lado sí que se aplicó en algunas de sus obras.



**Relaciones formales** que nos induzcan hacia los fractales se pueden encontrar incluso en la que para muchos es su obra maestra: RONCHAMP. Sin embargo, aventurarnos a llamar a esto arquitectura fractal quizá sea demasiado.



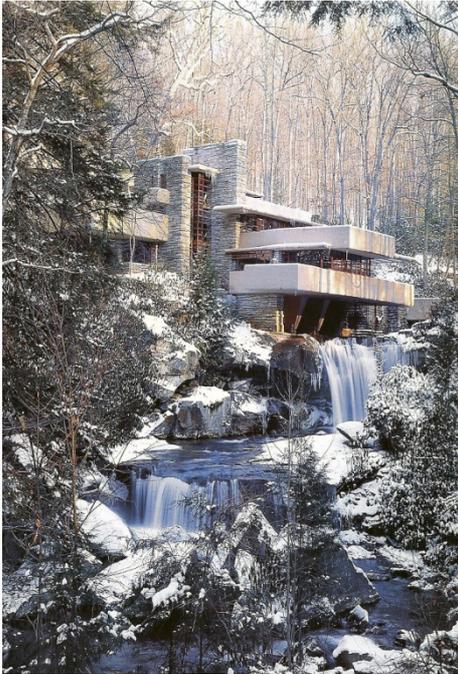
Otro de sus grandes proyectos, en este caso como urbanista, es su diseño conceptual de una ciudad de tres millones de habitantes, la *VILLE CONTEMPORAINE* (Ciudad Contemporánea). En ella se observan los postulados de la Carta de Atenas en cuanto a **apertura de huecos**, que también empleará en su Inmueble Villa.



VILLAS LA ROCHE Y JEANNERET, VIVIENDA HABITACIONAL DE BERLÍN, Y PABELLÓN ESPRIT-NOUVEAU

Otro arquitecto a destacar es **Frank Lloyd Wright**, precedente de la arquitectura denominada orgánica y autor de algunas de las obras que han conseguido ser hasta la fecha algunos de sus principales hitos. Según palabras de algunos es: *“El mayor maestro que la arquitectura americana ha tenido en su historia. Innovador, ingenioso y transformador. Supo crear el espacio fluido, la espacialidad de lo estático, la integración de lo humano con la naturaleza y la utilización de la luz como un elemento natural y arquitectónico a la vez.”*

Su concepto de lo orgánico iba más allá de la forma, anclaba la función a ésta de manera excepcional y la hacía inseparable. Es uno de los arquitectos que ha conseguido copiar algo más que la simple forma natural, ha obtenido como resultado la elaboración de tipos completos.

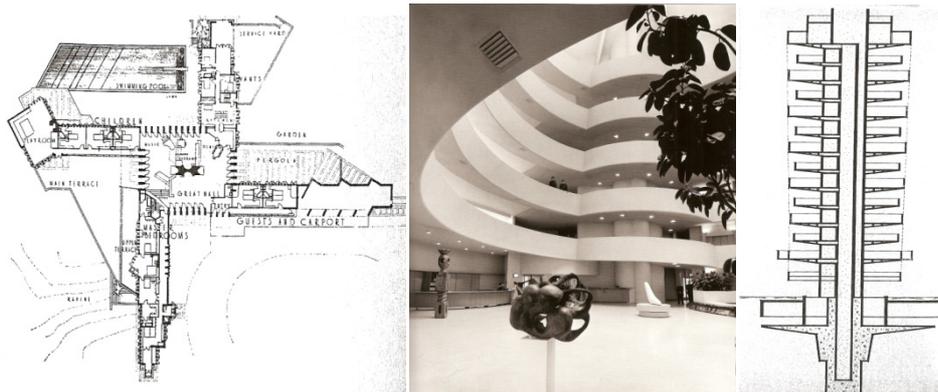


Su gran logro fue la casa FALLINGWATER construida en 1936 para la familia Kaufmann. En ella se entiende a la perfección cómo la arquitectura se separa de sus contemporáneos. Mientras que las tendencias del momento tendían hacia los gustos victorianos y las viviendas europeas, Wright se arriesga con un nuevo modelo de vivienda. La Casa de la Cascada se podría englobar dentro de la corriente del Expresionismo. Observamos un continuo uso del vidrio como elemento que permite transparencias y comunicación de espacios, así como el gusto por lo geométrico. Sin embargo sería más correcto enmarcarla en la etapa usoniana (época posterior a la de las Casas de la Pradera) del autor, debido a que este arquitecto tuvo una vida bastante larga, lo cual hace que su arquitectura varíe mucho con el paso de los años.

En otro sentido podemos decir que la estructura presente en la casa de la cascada es una arquitectura orgánica basada en los preceptos del mismo Wright quien promueve la **armonía entre el hábitat humano y el mundo natural**. Mediante el diseño busca comprender e integrarse con el sitio, los edificios, los mobiliarios, y los alrededores para que se conviertan en parte de una composición unificada, correlacionada.

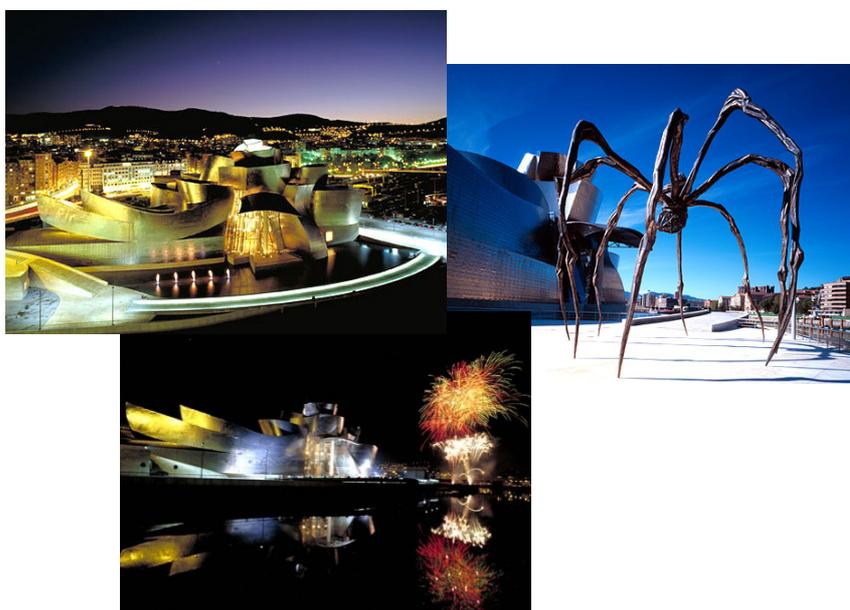
En sus edificios burocráticos para Johnson la composición es claramente curva. En su composición sobresale la torre, cuya fachada es similar a un muro cortina. La zona de laboratorios está cerrada con tubos de vidrio pírex y llaman especialmente la atención los pilares que sostienen el módulo principal, pues son extremadamente esbeltos, pero al estar unidos entre ellos dan una gran estabilidad al edificio, con una forma claramente natural.





En cuanto a la composición formal se observan alusiones a lo fractal, o al menos a la estructura natural en otras obras como la casa para Philip Johnson, el museo Guggenheim de Nueva York o el proyecto de la torre de San Marcos.

De otro modo también es obligatoria la mención a **Gehry**. Este arquitecto canadiense, ha hecho de la irregularidad propia de la naturaleza una nueva arquitectura no por todos querida pero muy bien aceptada por el usuario. Con la inauguración del nuevo Guggenheim de Bilbao en 1997, éste se convirtió en el centro de atención de todos los medios de comunicación. Al unir la tecnología de otras industrias con la de la construcción, Bilbao había ido mucho más lejos de los límites de lo que se había considerado técnica y estéticamente posible. Y el ordenador, al hacer que la complejidad y la originalidad resultasen tan económicas como la fabricación en serie, ha trastocado las convenciones de la producción de la industria, mostrando de nuevo el potencial de una arquitectura fractal informática centrada en su aspecto artesano en el mundo postindustrial.



Frank Gehry recibió el pedido de este museo poco después de que su proyecto del Auditorio Walt Disney fuera cancelado cuando aun solo era una idea. Este hecho hizo que inspirase el Museo Guggenheim en su auditorio ideado, compartiendo ambos proyectos un planteamiento muy similar. Las formas blandas presentes en el museo comienzan con el Museo de Vitra y evolucionaron en otras obras. Gehry realizó docenas de maquetas donde fue aprobando las posibles formas del edificio. Todas ellas están hechas a mano, y desde julio de 1995 se exponen en la exposición "Peggy Guggenheim", situada en un palacete de Venecia. Gehry no trabajó con ordenador, pero sí su equipo, cuyos miembros digitalizaron las maquetas de su jefe mediante un programa informático de la Agencia Espacial Europea. La adaptación a la

arquitectura de este programa conllevó enormes gastos, los cuales fueron afrontados por la Fundación Guggenheim.

Dentro del aparente desorden de la envolvente, existe un **patrón que rige la volumetría**. Este es el empleo en todos sus elementos de la máxima curvatura que soporta el titanio. La Gran Sala, también llamada la del Pez, se extiende hacia el este hasta acercarse con un puente que atraviesa la ría de Bilbao, estructura que ya atravesaba el solar antes de la construcción del museo y a la que éste hubo que adaptarse.



Por último, introduciéndonos en la obra nacional destacaremos al arquitecto **Fernando Higuera**. Este ha conseguido aunar, como casi todos los grandes, la forma y la estructura. Con un sentido portentoso de lo estructural consiguió la ejecución de edificios que en la actualidad han llamado la atención. Como en la naturaleza la forma siempre es complementación de la función, así las formas presentes en la geometría fractal suelen tener un porqué.

Dejo aquí algunas de sus obras, juzgad por vosotros mismos su relación con la geometría de lo fractal:



CENTRO DE RESTAURACIONES (CIUDAD UNIVERSITARIA)



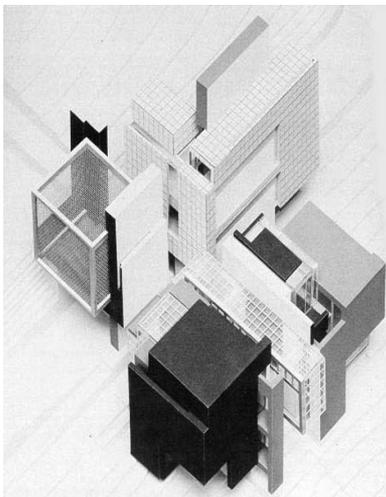
IGLESIA DE SANTA MARÍA DE CANÁ (POZUELO DE ALARCÓN)

### 3. La situación actual:

La **geometría fractal** surgió, ya desde sus inicios, como un **intento de describir la Naturaleza** (y la Naturaleza es irregular, aunque esto no implique que sus formas nos resulten “extrañas”). Ha quedado demostrado gracias a la gran cantidad de científicos que han trabajado en el tema, que esta geometría describe a la Naturaleza de un modo mucho más exacto de lo que lo hace la tradicional Geometría Euclidiana y por lo tanto las modelizaciones que provee permiten interpretar con mayor exactitud una serie de fenómenos de diferentes campos del conocimiento. Sin embargo, todo este proceso no habría sido posible si no se contara con el aporte que la evolución e innovación tecnológica ha hecho a través de la informática. Ella es quien ha facilitado la producción de modelizaciones de todo tipo, desde un elemento biológico a un notable desarrollo urbano que favorezca su ajunto a la función sin alejarse de las características del entorno. Pues bien, a día de hoy el avance de una geometría informática con mucho potencial permite más que nunca un uso práctico de la geometría fractal en arquitectura.

Una empresa madrileña INPHINIART ha respondido recientemente al reto de introducir a la comunidad de diseñadores y urbanistas en las ilimitadas posibilidades que ofrece la geometría fractal, para crear espacios y objetos naturales, bellos funcionales óptimos y respetuosos con el medio ambiente. Esta entidad junto a una consultora norteamericana Eco\*Integrations organizó el primero de los congresos ya mencionados.

En ellos se abordaron en ponencias temas tan variados como “el potencial fractal en los jardines japoneses”, “los fractales en la cultura material africana” o la “perspectiva cognitiva y medioambiental de los fractales aplicados al diseño”. Arquitectos pioneros en la investigación o la aplicación de los fractales en la proyección arquitectónica compartieron el resultado de años de trabajo con los presentes. Entre otros autores de referencia como Carl Bovill o Inés Moisset, ambos escritores recientes de buenos libros especializados en la materia que se citan entre las referencias.



El británico Paul S. Soates dirige actualmente un máster de “Ciencia en la Arquitectura: Computación y Diseño” en la Escuela de Arquitectura y Artes Visuales de la East University de Londres, en donde experimentan con la descomposición fractal basada en la diversidad de proporciones y otras reglas de división de volúmenes. Otro británico, Andrew Crompto, expuso las conclusiones de una opción de diseño favorecida por él, que no se limita a las características fractales del simple ornamento sino que busca expresamente la composición fractal del propio edificio y se centra, sobre todo, en la flexibilidad del comportamiento de su interior. Del lado español, Rosa Cervera y Javier Pioz se inspiraron especialmente en el conocimiento de la lógica de los principios de flexibilidad, adaptabilidad y ahorro de energía que rigen en todas las especies naturales.

Por otro lado, María Antonía Castro, representante de la empresa organizadora defendió la tesis de que ese cautivador orden interno que encontramos en la naturaleza es lo que venimos identificando como belleza a lo largo de los siglos porque ambos conceptos se describen matemáticamente con las mismas leyes fractales.

La quinta edición de esta conferencia internacional se realizará el próximo agosto en Australia. En esta ocasión presenta como objetivo dar a conocer el aumento de importancia que están adquiriendo los fractales, los procesos no lineales y los sistemas dinámicos en el campo del análisis de datos y la dirección de procesos relacionados con las ciencias medioambientales. Quizá se haya alejado un poco de la envoltura arquitectónica con que se inició el ciclo de estos

congresos, en esta ocasión la geometría fractal se pone al servicio de las ciencias de la tierra. Sin embargo, es poco probable que la arquitectura ya haya dado de sí todas las posibilidades que este campo la ofertaban.

En conjunto, hubo algo que quedó claro y aún sigue quedando en las nuevas ediciones de este congreso. Las leyes de la naturaleza producen distintas formas y funciones dependiendo de los parámetros que actúan en cada momento, lo que conocemos por “in-puts”. La inspiración de la arquitectura en la naturaleza, por tanto, no puede limitarse a copiar las formas sino que debe aspirar a aplicar las leyes. Las formas son simples consecuencias y los fractales, las herramientas geométricas necesarias en el camino hacia unas cotas de expresión artística tan creativas y variadas como la propia naturaleza.



**NATURALEZA - GEOMETRÍA FRACTAL - ARQUITECTURA**

**¿UN VÍNCULO SÓLIDO?**

- **Referencias:**

- *THE FRACTAL GEOMETRY OF NATURE* – (Tusquets, 1982) Benoît Mandelbrot, catedrático en Yale e investigador en IBM
- *ARQUITECTURA DE LOS FRACTALES* – Susana López Arteta, periodista
- *FRACTAL GEOMETRY: MATHEMATICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS* – Falconer, Kenneth (2003)
- *LA GEOMETRÍA FRACTAL EN LA ARQUITECTURA Y EL DISEÑO* – Carl Bovil
- *FRACTALES Y FORMAS ARQUITECTÓNICAS* – Inés Moisset
- *LA DIMENSIÓN FRACTAL DEL ESPACIO URBANO* – Vaizidoy y Pantazi
- “*LA CARTA DE ATENAS*” – Le Corbusier