

Universidad de Salamanca

Departamento de Historia del Arte - Bellas Artes

Máster Universitario en Estudios Avanzados en Historia del Arte



**Selección de las formas
matemáticas en la naturaleza y su
emergencia en la arquitectura**

Autora: Mercedes Torrens Bermejo

Tutor: Eduardo Azofra Agustín

2013

Departamento de Historia del Arte - Bellas Artes

Máster Universitario en Estudios Avanzados en Historia del Arte



**Selección de las formas
matemáticas en la naturaleza y su
emergencia en la arquitectura**

Firma Autora:

Firma Tutor:

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL.....	4
1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	4
2. OBJETO DE ESTUDIO.....	4
3. METODOLOGÍA.....	4
4. PLAN DE TRABAJO.....	5
PRIMERA PARTE	
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. ORIGEN DE LA FORMA NATURAL.....	5
2.1. OBJETOS Y FENÓMENOS DE LA REALIDAD.....	6
2.2. IDENTIDAD DE LOS OBJETOS.....	6
2.3. LA FORMA DE LOS OBJETOS.....	7
2.4. LEY NATURAL.....	8
2.5. NOCIÓN DE INDIVIDUO.....	9
2.6. TIPOS DE SELECCIÓN.....	11
2.7. VENTAJA PARA SEGUIR SIENDO: LA FUNCIÓN.....	15
3. PERCEPCIÓN DE LA FORMA	
3.1. LA PERCEPCIÓN COMO PRIMER CONTACTO CON LA REALIDAD.....	18
3.2. LA PERCEPCIÓN SELECCIONA.....	21
3.3. PERCIBIR LA FORMA.....	22
3.4. PERCIBIR LA FORMA MATEMÁTICA.....	23
4. PERCEPCIÓN DE LO INTELIGIBLE Y DE LO BELLO.....	25
SEGUNDA PARTE	
1. INTRODUCCIÓN.....	28
2. FORMAS NATURALES MATEMÁTICAS FRECUENTES POR SU FUNCIÓN...29	
2.1. LA ESFERA PROTEGE.....	29
2.2. EL HEXÁGONO CUBRE.....	33
2.3. LA ESPIRAL EMPAQUETA.....	34
2.4. LA HÉLICE AGARRA.....	36
2.5. LA PARÁBOLA RECIBE Y EMITE.....	38
2.6. LA CATENARIA RESISTE.....	39

2.7. LOS FRAZTALES COLONIZAN.....	40
3. FORMAS NATURALES MATEMÁTICAS FRECUENTES APLICADAS EN LA ARQUITECTURA.....	42
3.1. LA ESFERA EN LA OBRA DE LOS ARQUITECTOS ÉTIENNE-LOUIS BOULLÉE Y JOHN SOANE.....	42
3.2. EL HEXÁGONO EN LA OBRA DE FRANK LLOYD WRIGHT, NICHOLAS GRIMSHAW Y OFIS ARCHITECTS	49
3.3. LA ESPIRAL Y LA HÉLICE EN LA OBRA DE LOS ARQUITECTOS FRANK LLOYD WRIGHT, PT BAMBOOPURE BALI Y PETER KARLE...53	
3.4. LA PARÁBOLA Y LA CATENARIA EN LA OBRA DE GAUDÍ.....	58
3.5. LOS FRAZTALES EN LA OBRA DE GAUDÍ	62
CONCLUSIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Este trabajo pretende confirmar la emergencia y proliferación de algunas formas matemáticas en la realidad natural y artificial (artística-arquitectónica). Siguiendo la premisa natural de que todo lo que existe ha superado algún tipo de selección para permanecer en la realidad, constataremos que las formas matemáticas en la naturaleza han vencido la selección natural por ser las más idóneas para cumplir su función y, del mismo modo, en el mundo artificial creado por el hombre han rebasado la selección culta.

Desde el punto de vista científico, siguiendo el esquema evolucionista, afirmaremos que el hombre como ser vivo persevera en la realidad al superar la selección natural, anticipándose a la incertidumbre ambiental. Mediante la selección perceptiva (cultura), el hombre abstrae de forma innata lo común, lo frecuente, de entre lo diverso y lo inteligible y lo bello de lo que no lo es, experimentando con todo ello el gozo mental. La naturaleza supondrá una fuente de conocimiento y gozo para el hombre, al encontrar en ella formas inteligibles y bellas que emergerán creativamente en su arquitectura.

2. OBJETO DE ESTUDIO

Demostrar el empleo de las formas matemáticas en la naturaleza y en la arquitectura, ejemplificando de este modo que el arte es una de las consecuencias de la evolución natural, creado por la mente culta del hombre, al lograr transformar la realidad de su entorno, mediante un ejercicio de retroalimentación y reciclaje, partiendo de las formas inteligibles y/o bellas que percibe en él.

3. METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que en este Trabajo Fin de Máster (TFM) se relacionarán Arte y Ciencia en sus hipótesis, la metodología a seguir no se apartará de esta idea, adoptando un método de tipo inductivo-deductivo al pretender mediante la observación de formas naturales frecuentes deducir las funciones que cumplen, y así demostrar como el hombre al percibir las y comprenderlas o no, abstrae las leyes que las rigen empleando la matemática, con el fin de reproducirlas geoméricamente en sus manifestaciones arquitectónicas.

4. PLAN DE TRABAJO

El proyecto se estructura en dos partes:

- La primera consiste en una exposición que mediante la relación de varias fuentes de tipo psicológico, filosófico, científico e historiográfico, fundamente la teoría que justifique la emergencia de formas en la naturaleza, que por ser ideales para su función, son susceptibles de superar la selección cultural y matemática.

- La segunda supone una descripción de las formas geométricas más frecuentes en la naturaleza, y de modo comparativo se pretende demostrar la emergencia de las mismas en algunas obras arquitectónicas humanas relevantes a lo largo del tiempo y de la Historia del Arte, como manifestaciones tecnológico-artísticas, fruto del gozo que por su comprensión y captación de su belleza experimenta el hombre al percibir las.

PRIMERA PARTE

1. INTRODUCCION

En esta primera parte del TFM trazaremos un esquema conceptual que fundamente como surgen las formas en la realidad, para posteriormente en la segunda parte del mismo defender su emergencia en la arquitectura.

Siguiendo el patrón evolutivo de los seres, entendidos como concentración de materia, energía e información, estableceremos la selección como filtro determinante en la configuración de la realidad, de modo que de todo lo que accede a ésta sólo logra permanecer aquello que supera un tipo de selección. La selección favorece lo que permite seguir perseverando, existiendo. En los seres inertes se selecciona lo que permite seguir estando, resistiendo a la incertidumbre, buscando la estabilidad. En el mundo vivo la selección prima lo que permite seguir viviendo, modificando la incertidumbre, la movilidad, la tecnología, haciendo posible la adaptabilidad y la capacidad de evolucionar. En el mundo culto, cuyo sujeto seleccionador es la mente, mediante la inteligencia abstracta anticipa la incertidumbre y es capaz de comprender e intuir. Superar estas selecciones supone aumentar su independencia frente a la incertidumbre.

Al final de este trayecto, una mente humana se pregunta como evoluciona la materia, dando origen a este proyecto de investigación. Y es que los humanos, como individuos vivos,

dotados de mente abstracta, nos anticipamos al devenir, intentando comprender la realidad circundante. Dotados de filtros sensores seleccionamos la información que la percepción de la realidad nos proporciona. Así, discernimos que la propia forma de los objetos varía su frecuencia en pos de una función que propicia la permanencia de los mismos en la realidad.

Una vez planteado el esquema conceptual, pretendemos cualificar a la percepción visual como mecanismo de selección cultural. La mente a través de la percepción, dirigida por estímulos como la inteligibilidad y la belleza, busca formas frecuentes y sus funciones en la realidad, con las que posteriormente elabora proyectos en las que éstas emerjan y con ello perseverar.

2. ORIGEN DE LA FORMA NATURAL

2.1. OBJETOS Y FENÓMENOS DE LA REALIDAD

La realidad se organiza en objetos y fenómenos. Los objetos se constituyen de materia, energía e información, mientras que las variaciones temporales de los objetos son los fenómenos. Según la cosmología nada más crearse la realidad se originó el tiempo y un instante después empezó la transformación en el espacio. Poco después la materia, la energía y la información se estabilizaron pasando de un objeto a otro, variando su identidad. Todo lo que empieza, termina o se transforma.

En un principio la realidad era una especie de mezcla más o menos homogénea de quarks. Pero si observamos nuestro alrededor, percibiremos que las cosas son más complejas. Existen objetos constituidos fundamentalmente de materia (un grano de arena), otros de energía (un relámpago) y otros de información (un segmento de ADN).

Lo que más poseemos es tiempo, el cual también acaba pasando. Con el transcurrir de éste, los objetos que aparecen se transforman y desaparecen, “engrosando el gran catálogo de objetos del mundo, de objetos que en algún momento accedieron a la realidad”¹.

2.2. IDENTIDAD DE LOS OBJETOS

“En rigor y en límite un objeto es sólo idéntico a sí mismo”². El conjunto de propiedades que diferencian un objeto de otro es su identidad. Podemos decir que todo objeto posee tres conceptos que lo definen: “su interior, su exterior y la frontera que separa lo uno de lo otro. Propiedades típicamente interiores son, por ejemplo, la estructura o la composición;

¹ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas. O cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta*. Barcelona: Tusquets Editores, *Ibidem*, p. 22.

propiedades exteriores son la inteligibilidad, la frecuencia de su presencia, la diversidad o la función; y, propiedades de la frontera son la forma o el tamaño”³.

Las propiedades de los objetos pueden ser más o menos objetivas dependiendo de cómo se definan o midan. Así, variarán según sea la calidad del receptor, del estímulo y su capacidad cognitiva para interpretar la información que se desprende del objeto.

Si la identidad de dos objetos coincide fielmente, se trata entonces del mismo objeto. Lo que comparten objetos de una misma especie determina lo que llamaremos clase. Clasificar es un modo de reunir, de catalogar. La clasificación es un modo de comprender. Al clasificar, deducimos otras dos propiedades que relacionan al objeto con su entorno, la frecuencia y la diversidad. La frecuencia es la cantidad de individuos de una clase. En un paisaje, un tipo de planta puede ser rara y en otro frecuente. La diversidad es una propiedad que ordena las distintas clases y la frecuencia de su disposición por los objetos. Existir supone haber superado alguna clase de selección. Superar una selección supone salvar una prueba de afinidad con la realidad.

En principio la propiedad que nos interesa describir es la forma y, de algún modo, la función que se deriva de ella. “La forma de un objeto es una propiedad de la superficie frontera que separa su interior de su exterior. La forma es una profunda propiedad superficial de un objeto”⁴.

2.3. LA FORMA DE LOS OBJETOS

Como hemos dicho, la forma es, junto al tamaño, una propiedad frontera de los objetos. Por medio de ella obtenemos información del aspecto de lo que nos rodea. Nuestro entorno cotidiano está constituido por una multitud de elementos, de contextos naturales y artificiales que tienen distintas envolturas físicas, “distintos límites o contornos, es decir, distintas formas”⁵.

La forma determina la identidad de cada cosa, es una conjunción de puntos, de líneas, de planos, de texturas y de colores, que originan la apariencia de algo concreto, y que lo diferencia de otro objeto del gran catálogo.

³ *Ibidem*, p. 20.

⁴ *Ibidem*, p. 22.

⁵ TARTARKIEWICZ, W. *Historia de seis ideas. Arte, belleza, forma, creatividad, mimesis, experiencia estética*. Traducción de Francisco Rodríguez Martín. Madrid: Editorial Tecnos, 2001, pp. 254-255.

Gracias a la forma podemos comprender mejor la realidad. Así, por ejemplo, no existen planetas cónicos o si observamos la forma de un animal podremos discernir su manera de desplazarse. Del mismo modo, la diferencia de forma entre una tijera y un vaso indica cual es más apropiado para contener un líquido y cual lo es para cortar. Además, cada uno de ellos nos indica algo de su individualidad, pero también del género de cosas a la que pertenecen.

2.4. LEY NATURAL

El conjunto de leyes fundamentales que restringen las demás leyes de la naturaleza será la constitución de la realidad. Pero existe más de una realidad. La realidad puede expresarse desde varios niveles distintos de observación, con leyes diferentes. Las realidades que son perceptibles, son las que nos permiten comprender el mundo. “La estructura de la realidad está compuesta de realidades que se contienen las unas a las otras, como las famosas muñecas rusas”⁶.

La noción de realidad que nos interesa es aquella que según autores como Darwin, Borges o Boltzman, aún con limitaciones y cierta dosis de azar, existe con el consentimiento de la ley. Una realidad con cierto derecho a la contingencia donde se puede y se debe elegir.

La idea de “ley” es inherente a la naturaleza pues permite que el mundo sea como es, y no de otra manera. “Una ley en la naturaleza es una limitación, es más bien una prohibición que una obligación”⁷. En la naturaleza las prohibiciones permiten que se dé la selección. En ella reside la creatividad de la evolución biológica, el azar o la incertidumbre. Según la teoría de la evolución de Darwin⁸, “en la naturaleza la selección natural es la que selecciona”⁹. Del mismo modo, en palabras de Wagensberg, “la prohibición es un buen estímulo para la creatividad humana. Un mundo de obligaciones deja a nuestro cerebro sin trabajo”¹⁰.

2.5. NOCIÓN DE INDIVIDUO

Como hemos dicho existe la materia viva y la materia inerte. La primera contiene a la segunda. La materia se compone de partículas fundamentales que pueden interaccionar o no para crear una individualidad nueva superior. En la materia inerte se entiende por

⁶ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 48.

⁷ *Ibidem*, p. 28.

⁸ Charles Robert Darwin (1809-1882). Naturalista inglés que postuló que las diferentes especies de seres vivos evolucionan con el tiempo mediante el proceso de la selección natural a partir de un antepasado común. Demostraba en el año 1859 en su libro *El origen de las especies*, que la vida es una lucha permanente por la existencia en la que al final subsisten tan sólo aquellas especies que consiguen adaptarse mejor al medio en que viven. La selección natural no permite que a la larga sobreviva lo ineficaz, todo está organizado con el mayor sentido y eficacia. Sólo permanecen las formas que mejor se adaptan a su entorno. En la actualidad supone la base de la síntesis de la evolutiva moderna.

⁹ DUTTON, D. *El instinto del arte. Belleza, placer y evolución humana*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, 2010, p. 125.

¹⁰ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 35.

individualidad a ciertos objetos trascendentes y estables como las partículas, los átomos o las moléculas; un individuo en la materia viva lo son objetos de propiedades especiales como los genes, las células o los organismos; y en la materia culta se muestra de forma más nítida, será pues, la mente. Luego “un individuo es una unidad evolutiva, la clase de objetos que tienden a favorecer cualquier clase de selección”¹¹. “Un individuo vivo es un objeto que tiende a mantener una identidad independiente de la incertidumbre del entorno”¹².

“Se entiende por complejidad, a la variabilidad de estados accesibles al individuo vivo, que expresan su identidad. (...) (Por) Incertidumbre, a la complejidad del entorno o variabilidad de estados accesibles al entorno. (...) La capacidad de cambiar el entorno, o variabilidad de estados accesibles del entorno, una vez conocida la complejidad del individuo, pueden producir un impacto ambiental, o determinar la manera accesible al individuo para introducir esas modificaciones, pudiendo ser dos las soluciones: mediante la tecnología (cambiar el entorno) o la movilidad (cambiar de entorno)”¹³.

La ley general de cambio provoca que si la incertidumbre del entorno de un individuo aumenta, la selecciones –fundamental, natural o culta- dejarán pasar las innovaciones que faciliten su independencia. Así comprender un objeto en la realidad equivale a captar sus funciones o garantías de independencia local que permiten su frecuencia y perseverancia en la realidad. La manera que posee un ser inerte de perseverar frente a la incertidumbre es la de resistir, la de un ser vivo es la anticipación desglosada en tres modos de ganar independencia:

- La independencia pasiva: El individuo se aísla del medio dejando de intercambiar materia, energía o información, dando lugar así a la muerte. Pero hay modos límite de aislamiento por simplificación en que se reduce la actividad interior del individuo casi a cero. Es el caso de sistemas simples como semillas, esporas, etc., que permanecen inactivos a la espera de condiciones más favorables, o la hibernación, el letargo o la latencia a la que se someten individuos más complejos. Otro caso de independencia pasiva se desarrolla por aislamiento, en que se anula el intercambio y sólo permanece la actividad interior del individuo. Son *el abrigo*, el crecimiento de pelo invernal, la protección de un caparazón blindado o de un nido. La *inercia* cuando el aislamiento es difícil se recurre al aumento de tamaño. Cuanto mayor es un individuo más difícil es que sea devorado, como le ocurriría a una ballena frente a un pez payaso. También se puede producir una alteración de *la*

¹¹ *Ibidem*, p. 51.

¹² *Ibidem*, p. 54.

¹³ *Ibidem*, pp. 110-111.

forma, de la frontera del individuo frente al exterior. Consiste básicamente en reducir o aumentar su volumen en relación a la superficie. Lo hace un pájaro al extender sus alas y así aprovechar mejor las corrientes de aire, por el contrario si lo que se pretende es no perder energía el individuo reduce su superficie, se acurruca, tendiendo a la forma de una *esfera*.

- La independencia activa: El individuo está dispuesto a cambiar tanto su actividad interna como de intercambio con el exterior, con tal de mantener su identidad. Una manera consiste en aumentar la capacidad de anticipación. Un individuo cuanto más evolucionado más tiende a mejorar dicha capacidad, salvo excepciones donde algunos individuos que viven en entornos poco cambiantes se especializan mejorando la eficacia de sus funciones en detrimento de mejorar su capacidad de anticipación, como le ocurre a las especies que viven en las profundidades abisales. La tecnología surge al mejorar la capacidad de anticipación para cambiar el entorno y la movilidad al favorecerlo. Ejemplos que surgen al poner en práctica la tecnología son la agricultura, la ganadería, el comercio frente al trueque, la búsqueda de abrigo a modo de refugios y construcciones, la arquitectura. Intrínsecas al desarrollo humano son la inteligencia y el sistema inmunitario. De movilidad, el encriptarse, mimetizarse con el paisaje o encontrar un paisaje que se parezca al individuo y esconderse en él. La dotación de alas y aletas en algunos seres vivos. La dualidad de crecimiento y movilidad que supone la función de empaquetamiento mediante la forma espiral.
- La independencia nueva: Consiste en la renuncia de la propia identidad individual y seguir vivo con otra para ganar algo de independencia respecto de la incertidumbre de su entorno. La reproducción y la asociación son los procedimientos más eficaces para crear identidades nuevas. La incertidumbre de un entorno no tiene por qué mantenerse constante. Cuando aumenta la incertidumbre, la complejidad de los sistemas tiende a aumentar. Cuando disminuye la incertidumbre, lo que aumenta es la eficacia (gastar menos, aprovechar más, evitar la competencia). En nuestro planeta, para que el progreso evolutivo se produzca, han de intercalarse largos períodos críticos, como grandes catástrofes, en que han de escogerse seres complejos de entre los fabricados durante intervalos normalmente cortos, de paz o baja incertidumbre, profusos en variedad.

Otra manera de crear una nueva identidad es hacerlo a partir de otras dos viejas. Es cuando dos individuos se asocian para crear uno nuevo. Hay dos modos posibles: entre individuos similares, digamos sociedades, y entre individuos distintos, digamos simbiosis. En el primer tipo podemos incluir desde el concepto de familia, hasta el de sociedad, pasando por el de mero agregado o manada. El mecanismo fundamental es la reproducción, sobre todo sexual. Hay múltiples ejemplos: los pingüinos resisten mejor las fluctuaciones de temperatura gregariamente; los insectos sociales como las abejas constituyen el individuo vivo más independiente de la incertidumbre del entorno, y más complejo que cualquiera de sus miembros por separado. Hace cientos de millones de años ante el aumento de la incertidumbre, muchas bacterias se agruparon para con ello dar lugar a una textura fina y consistente. Del mismo modo fueron avanzando las estructuras jerárquicas en la evolución. La reproducción sexual es el gran mecanismo por el cual se generan nuevas identidades a partir de antiguas. Con la sexualidad surge el concepto de muerte necesaria. En el segundo tipo está la integración de dos o más individuos distintos o simbiosis. En ella se produce una interacción no nula. Cuando una célula que se alimenta bien y se mueve mal se funde con otra que se alimenta mal y se mueve bien dan lugar a una nueva célula más independiente que cada una de ellas por separado. La presión de la incertidumbre del entorno es el gran estímulo para que los pactos simbióticos en todos los niveles biológicos se produzcan.

2.6. TIPOS DE SELECCIÓN

Cada vez que ajustemos el zoom de nuestros sentidos para observar un pedazo de realidad, estaremos observando otros tipos de realidades. Son pedazos de realidades unos dentro de otros. Distintas leyes fundamentales actúan en cada nivel de realidad donde los objetos logran existir, y lo hacen porque emergen fácilmente, bien por combinación con lo que ya existe, bien porque su permanencia es afín con la realidad en la que emergen. Y para comprender hay que elegir desde qué nivel de observación queremos estar, el microscópico o el macroscópico, así según *la Tabla de Esmeralda*, “lo que está mas abajo es como lo que está

arriba, y lo que está arriba es como lo que está abajo”¹⁴. Tratar de unificar ambos niveles sigue siendo un desafío universal iniciado por Einstein¹⁵.

En el principio de los tiempos la nada se rebeló contra sí misma y dio lugar a la materia inerte. A partir de este momento se produjo la evolución de la realidad hace ya 13.500 millones de años. La materia viva surgió hace 3.800 millones de años con la emergencia del primer ser vivo, y la materia culta apareció hace 100.000 años con el desarrollo de la inteligencia abstracta y la aparición del primer ser humano.

Cada tipo de materia se somete para existir a un tipo distinto de selección, para de esta forma permanecer en la realidad el mayor tiempo posible. En la materia inerte, el objetivo a seguir es resistir la incertidumbre mediante la estabilidad, sometiéndose a la selección fundamental (leyes como la gravitación, la propagación de la luz, la erosión, etc.). En el mundo vivo la selección natural premia la adaptabilidad al medio del ser vivo; éste además de resistir la incertidumbre, la modifica y evoluciona. En ambas el sujeto seleccionador es el azar. En el mundo culto, el sujeto seleccionador es la mente humana. La selección cultural, anticipándose a la incertidumbre mediante la observación, se alimenta a sí misma para seguir conociendo, y así modificar el mundo mediante la creatividad.

Los seres vivos están dotados de inteligencia. La inteligencia de la inteligibilidad, es decir, la que puede descubrir una esencia común entre dos casos distintos (comprender), es la Cultura. Lo que persevera ante la incertidumbre es la esencia de la cosa, del objeto. La selección natural no actúa sobre cualquier cosa, actúa sobre una individualidad capaz de perseverar. Esta misma aseveración podemos encontrarla de algún modo en la *Ética* de Baruch Spinoza¹⁶, siempre y cuando previamente sustituyamos la idea de Dios por la de naturaleza o Universo. La de Dios infinito, por la de naturaleza finita. Matizar que ya “Calicles, en el *Gorgias* de Platón, y Hobbes, habían centrado su antropología en la tendencia del hombre a perseverar en la existencia”¹⁷. Aquí Spinoza sostiene que los modos o expresiones finitas de la sustancia divina infinita tienen un deseo de perseverar en la existencia, un esfuerzo en la conservación del ser, que denomina bajo la antigua categoría de

¹⁴ BINIMELIS, M. I. *Una nueva manera de ver el mundo. La geometría fractal*. Barcelona: RBA Coleccionables, 2012, p.10.

¹⁵ Albert Einstein (1879-1955). Nacido en Alemania y más tarde nacionalizado en los Estados Unidos, fue uno de los científicos más importantes del siglo XX. Conocido por su Teoría de la Relatividad Espacial, sentaría las bases de lo que sería la física estadística y la mecánica cuántica. En 1915 presentó su Teoría General de la Relatividad, en la que reformuló el concepto de gravedad. Consecuencia de ello fue el estudio científico del origen del universo por la rama de la física denominada cosmología.

¹⁶ Baruch Spinoza (1632-1677). Nace en Ámsterdam, en el seno de una familia judía, aunque más adelante será excomulgado. A pesar de considerarse panteísta, los ortodoxos lo acusarían de ateo. Se le considera uno de los grandes racionalistas de la filosofía del siglo XVII, junto a René Descartes, su gran maestro, y Gottfried Leibniz. Además, se definirá como monista y determinista. A lo largo de su vida se interesará por la ciencia, la religión y la filosofía, publicando varios tratados. En su *Ética demostrada según el orden geométrico* (1661-1675) logrará concentrar todo su pensamiento –metafísica, antropología y moral-, realizando además una fuerte crítica de las concepciones filosóficas más tradicionales: Dios, el hombre y el universo, estructurándola matemáticamente mediante definiciones, axiomas, corolarios y escolios.

¹⁷ DUTTON, D. *El instinto del arte...*, p. 137.

“conatus” (de conato: tentativa, propósito, empeño, esfuerzo). Así, dice en la parte tercera de su *Ética*:

“Proposición VI: Cada cosa se esfuerza, cuanto está a su alcance, por perseverar en su ser. Demostración: En efecto, todas las cosas singulares son modos, por los cuales los atributos de Dios se expresan de cierta manera y determinada manera (...) cosas que expresan de cierta y determinada manera la potencia de Dios, por la cual es obra, y ninguna cosa tiene en sí algo en cuya virtud pueda ser destruida, o sea, nada que le prive de su existencia (...) sino que, por el contrario, se opone a todo aquello que pueda privarle de su existencia (...), y, de esta suerte, se esfuerza cuanto puede y está a su alcance por perseverar en su ser. Q.E.D.”.

Proposición VII: El esfuerzo con que cada cosa intenta perseverar en su ser no es distinto de la esencia actual de la cosa misma. Demostración: Dada la esencia de una cosa cualquiera, se siguen de ella necesariamente ciertas cosas (...), y las cosas no pueden ser más que aquello que se sigue necesariamente a partir de su determinada naturaleza (...); por ello, ya junto con otras, obra o intenta obrar algo, eso es (...), la potencia o esfuerzo por el que intenta perseveraren su ser- no es nada distinto de la esencia dada, o sea, actual, de la cosa misma. Q.E.D.”¹⁸.

Podríamos decir que “la cosa” para Spinoza sería el alma de la misma. “De modo que la cosa con ser que no persevera en su ser no es una cosa real”¹⁹. Ya decíamos que se accede a la realidad por afinidad con la constitución del mundo. Toda variación del entorno del objeto es un reto para seguir estando en la realidad. Dos árboles tienen en común su esencia de ser árbol. A la hora de perseverar lo hace con más garantías la especie de árboles que un árbol particular de la especie. El ser es la esencia de la cosa. Persevera el superorganismo. La esencia de cada cosa persevera en su estabilidad.

Cada tipo de selección fundamental, natural y cultural contiene a la anterior. La selección cultural también está implícita en el “conatus”. “Para Spinoza las “acciones” son aquellos actos cuya única causa es el alma, y las “pasiones” son efecto de causas externas. El “conatus” es entonces concebido no sólo como simple conservación del ser, sino como la realización de sus potencialidades”²⁰:

“Proposición IX: El alma, ya en cuanto tiene ideas claras y distintas, ya en cuanto las tiene confusas, se esfuerza por perseverar en su ser con una duración indefinida, y es consciente de ese esfuerzo suyo. *Demostración*: La esencia del alma está constituida por las ideas adecuadas e inadecuadas (...), y así (...), se esfuerza por perseverar en su ser tanto en cuanto tiene las unas como en cuanto tiene las otras, y ello (...), con una duración indefinida. Y como el alma

¹⁸ SPINOZA, B. *Ética demostrada según el orden geométrico*. Traducción, Introducción y notas de Vidal Peña García. Notas y epílogo de Gabriel Albiac. Madrid: Editorial Tecnos, 2007, pp. 209-210.

¹⁹ STEVEN, B. S. *Spinoza y el libro de la vida. Libertad y redención Ética*. Madrid: Editorial Biblioteca Nueva, 2007, p. 137.

²⁰ *Ibidem*, pp. 138-145.

es necesariamente consciente de sí (...), por medio de las ideas de las afecciones del cuerpo, es, por tanto, consciente de su esfuerzo (...). Q.E.D.

Escolio: Este esfuerzo, cuando se refiere al alma sola, se llama voluntad, pero cuando se refiere a la vez al alma y al cuerpo, se llama *apetito*; por ende, éste no es otra cosa que la esencia misma del hombre, de cuya naturaleza se siguen necesariamente aquellas cosas que sirven para su conservación, cosas que, por tanto, el hombre está determinado a realizar. Además, entre “apetito” y “deseo” no hay diferencia alguna, sino es la que el “deseo” se refiere generalmente a los hombres, en cuanto son conscientes de su apetito, y por ello puede definirse así: *el deseo es el apetito acompañado de la conciencia del mismo*. Así pues, queda claro, en virtud de todo esto, que nosotros no intentamos, queremos, apeteceamos ni deseamos algo porque lo juzguemos bueno, sino que, al contrario, juzgamos que algo es bueno porque lo intentamos, queremos, apeteceamos y deseamos²¹.

Las tres selecciones –fundamental, natural y cultural- pueden encajar en el “conatus” de Spinoza. Concretamente en la selección cultural, cualquier reflexión humana que genere conocimiento sería una “acción” en la tarea de permanecer en la realidad y perseverar, mientras que la “pasión” sería la curiosidad por conocer cuando se trata de ciencia y/o de la emoción cuando se habla de arte.

Para Spinoza el hombre como ser de deseo es entonces concebido a partir de una perspectiva relacional, pues los modos finitos tienen asimismo un cuerpo y un espíritu a partir del que aparecen los afectos o pasiones. “Spinoza divide las “pasiones” en dos grupos: las “pasiones” tristes y las “pasiones” alegres, las que disminuyen la capacidad de acción y las que estimulan el “conatus” y las que llevan a la acción”²².

“Proposición XI: La idea de todo cuanto aumenta o disminuye, favorece o reprime la potencia de obrar de nuestro cuerpo, a su vez aumenta o disminuye, favorece o reprime, la potencia de pensar de nuestra alma.

Escolio: Vemos, pues, que el alma puede padecer grandes cambios, y pasar, ya a una mayor, ya a una menor perfección, y estas pasiones nos explican los afectos de la alegría y la tristeza. De aquí en adelante, entenderé por alegría: una pasión por la que el alma pasa a una mayor perfección. Por tristeza, en cambio, una pasión por la cual el alma pasa a una menor perfección. Además, llamo al afecto de la alegría, referido a la vez al alma y al cuerpo, placer o regocijo, y al de la tristeza, dolor o melancolía. Pero ha de notarse que el placer y el dolor se refieran al hombre cuando una parte de él resulta más afectada que las restantes, y el regocijo y la melancolía, al contrario, cuando todas resultan igualmente afectadas. Por lo que toca al deseo, he explicado lo que es en el Escolio de la Proposición IX de esta parte; y, fuera de estos

²¹ SPINOZA, B. *Ética demostrada...*, pp. 211-212.

²² STEVEN, B. S. *Spinoza y el libro de la vida...*, pp. 145-146.

tres, no reconozco ningún afecto primario: mostraré, efectivamente, a continuación que los demás surgen de esos tres”²³.

Los estímulos son necesarios para ganar unas funciones que de otro modo no se darían hasta extinguirse. Los estímulos probablemente se basen en el binomio placer y dolor. En el caso de querer ganar conocimiento en la mente abstracta, las alternativas fluctúan entre el premio y el castigo, entre la curiosidad, el gozo mental y el miedo que nos empuja a anticipar la incertidumbre.

2.7. VENTAJA PARA SEGUIR SIENDO: LA FUNCIÓN

Cuando se rebasa la frontera del ser, un objeto puede transformarse en otra cosa con otro ser. Por ejemplo, el agua pasa del estado líquido al sólido cuando supera los 0° C. de temperatura. “Los biólogos dicen que toda la morfología está sujeta a la adaptación, lo que supone que a través de las generaciones una especie alterará su forma para acomodarse mejor al clima, territorio, movimientos, obtención de alimento, etc. Y todas las innumerables circunstancias que integran su medio ambiente y la vida que lleve dentro de éste; es decir, su funcionamiento”²⁴.

Para que algo exista previamente ha debido de ser seleccionado. Continuamente se selecciona todo aquello que puede permanecer en la realidad. Las propiedades que superan selecciones de los objetos suponen una ventaja para perseverar en la realidad y seguir existiendo. A estas propiedades las llamamos funciones. Una vez planteado este esquema conceptual matizaremos que el término función será empleado tanto para las formas inertes como las vivas, carente de cualquier connotación intencional o teleológica.

El final del ciclo hacia la estabilidad lo encontramos por ejemplo en el mundo inerte comparando un grano de arena vieja redondo frente a otro joven irregular. “Es una fuerte intuición conocer las funciones fundamentales de lo real, ya que tiene que ver con la comprensión de la realidad”²⁵. Una función en el mundo inerte proporcionará resistencia a los cambios ambientales. En el mundo vivo, el símil de la esfera será la forma huevo, ya que esta forma protege contra el enfriamiento y la depredación. Además no rueda tanto como la esfera y es más fácil su salida del cuerpo de la madre que lo genera. Una función en el mundo vivo permitirá a un individuo mantener lo máximo posible su identidad, modificando lo que haya que modificar para perseverar, proponiendo innovaciones compatibles con la selección natural.

²³ SPINOZA, B. *Ética demostrada...*, p. 213.

²⁴ WILLIAMS, C. *Los orígenes de la forma*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1984, p. 76.

²⁵ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 97.

A diferencia de las selecciones fundamental y natural que generan funciones, la función fundamental y la función natural, la selección cultural las busca, la función en el mundo culto se anticipa a la incertidumbre. Hay una intención. Crear en el mundo culto es seleccionar. El pintor ha de decidir el encuadre desde el cual representar un paisaje de entre todos los posibles. Crear quizás sea una ilusión, pero para comprender también hay que seleccionar. Si no existiese ningún tipo de selección, todos los objetos y sucesos serían igualmente probables y no habría, por tanto, nada que comprender.

La tarea planteada en este TFM es la de comprender las formas de los objetos favorecidas por las tres clases de selección –fundamental, natural y cultural-, a través de sus funciones por su frecuencia relativa en la realidad.

Al igual que ocurre en el acto de la percepción, cuando el científico descubre que algo se repite en la naturaleza, cuando descubre casos comunes en objetos y fenómenos diferentes, agudiza su ingenio. Cuando de forma oculta o no, actúa algún tipo de restricción, de selección, que determina una ley, esto da lugar al conocimiento, a la inteligibilidad.

Si observamos formas helicoidales como colas o trompas en un paisaje vivo, y tornillos, o cuerdas en un paisaje culto, conoceremos que la presencia de la hélice en la realidad viene asociada a la función de agarrar. Comprender la forma de un objeto consiste en observar sus funciones fundamentales, naturales o cultas, que comparte con otros objetos de igual o parecida forma. Dichos objetos constituyen una familia que definida por su frecuencia en la realidad, puede haber sido resultado de una o varias de las selecciones fundamental, natural o culta, para perseverar (resistiendo, modificando o anticipando) en la realidad. Cuanto más ha perseverado un objeto más probabilidades de seguir haciéndolo tiene.

“Si comprender tiene que ver con lo común entre lo diverso, entonces comprender la forma tiene que ver por lo menos con dos cosas: los objetos que comparten forma y las formas que comparten función”²⁶.

La singularidad nos gusta. Comprender tiene que ver con lo frecuente. Cuantos más objetos relacionables muestren una esencia común, más sencillo nos será comprenderla. Dicha esencia común es su inteligibilidad, la función. La inteligibilidad de un objeto puede depender de la inteligibilidad de sus propiedades (composición, estructura interior, su forma, su tamaño, su frecuencia, diversidad y función exterior), o puede depender de la mente que pretende comprenderlo. Para ello se pueden enfrentar su propiedad forma con una propiedad

²⁶ *Ibidem*, p. 135.

que podemos examinar y que tiene que ver con su perseverancia en la realidad, su función. Algunos objetos muy diferentes en muchos aspectos presentan la misma forma, o parecida.

Uno de los principios del método científico es el de elegir de entre varias posibilidades la más abstracta, la más compacta. El lenguaje común se ocupa de nombrar una forma sin aludir al objeto que la presenta. Usamos la palabra esfera en vez de decir forma de naranja. En el idioma moderno existe un número mucho más pequeño de palabras que de objetos. En ciencia el lenguaje de la vida diaria se queda corto. Por eso surge la matemática, con un lenguaje propio más abstracto y flexible. La selección matemática puede ser el cuarto tipo de selección.

La comprensión de las formas reales tiene que ver con la observación de las mismas, con la frecuencia de su presencia, con los tipos de selección que dan sentido a la forma en el contexto general de la evolución. Ya Aristóteles dijo: “La abstracción elimina los atributos más particulares de los casos más específicos y, de este modo, llega a los conceptos superiores, que son de contenido más pobre, pero de extensión más vasta”²⁷. Con la selección matemática el esquema conceptual gana un grado, puesto que al abstraer las formas se comprenden profundamente, pudiendo ser reproducidas. Y es que la mejor comprensión de un pedazo de realidad es la mínima expresión del máximo común denominador de todas sus manifestaciones.

La propiedad común en cualquier tipo de realidad, inerte, viva, o culta, es la de perseverar. En todos los casos la penúltima oportunidad es la de cambiar de identidad. La materia inerte supera la selección fundamental mediante la estabilidad. La materia viva supera la selección natural mediante la adaptabilidad. La materia culta supera la selección culta mediante la creatividad. Un ser vivo puede sacrificar su estabilidad en favor de una eventual adaptabilidad y un ser culto su adaptabilidad a favor de una posible creatividad. Cada una se ramifica en otras subfunciones.

En resumen podemos decir que:

1. Utilizamos el lenguaje matemático para nombrar las diferentes formas. Muchas de las formas matemáticas observadas en la naturaleza son ya palabras del lenguaje común: esfera, recta, hexágono, etc. Así, D'Arcy Thomson²⁸ decía:

“El estudio de la forma puede ser meramente descriptivo o puede llegar a ser analítico. Empezamos describiendo la forma de un objeto con las palabras del lenguaje ordinario,

²⁷ ARNHEIM, R. *El pensamiento visual*. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, 1986, p.22.

²⁸ Dary Wentworth Thomson (1860-1948). Profesor en zoología en la universidad escocesa de St. Andrews, y uno gran erudito, ya que además de matemático, físico-biólogo y experto conocedor de los clásicos griegos y latinos, era un humanista y polígrafo incansable. Su tratado *Sobre el crecimiento y la forma* es un compendio genuino de todos estos saberes, donde da una visión dinámica de la morfogénesis, de la física aplicada al estudio de los seres vivos, y propone una matemática aplicada a la biología.

terminamos definiéndolo con el lenguaje preciso de las matemáticas; y un método tiende a seguir al otro en un estricto orden científico y continuidad histórica. Así, por ejemplo, la forma de la tierra, de una gota de lluvia o de un arco iris, la forma de una cadena colgante, o la trayectoria de una piedra arrojada al aire, pueden describirse todas, aunque inadecuadamente, con palabras comunes; pero cuando hemos aprendido a comprender y a definir la esfera, la catenaria o la parábola, hemos realizado un avance maravilloso y tal vez múltiple. La definición matemática de una forma tiene una cantidad de precisión de la cual carecía bastante nuestro estadio más temprano de mera descripción; se expresa en pocas palabras o incluso con símbolos más breves, y estas palabras o símbolos están tan impregnados de significado que economiza el pensamiento mismo; nos conducimos por medio de esto en armonía con el aforismo de Galileo (tan antiguo como Platón, tan antiguo como Pitágoras, tan antiguo, tal vez, como la sabiduría de los egipcios), que “La filosofía está escrita en este gran libro continuamente abierto ante nuestros ojos, me refiero al universo, pero no se puede comprender si antes no se ha aprendido su lenguaje y nos hemos familiarizado con los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, y los caracteres son triángulos, círculos y demás figuras geométricas, sin los cuales es humanamente imposible entender ni una sola palabra; sin ellos se da vueltas en vano por un oscuro laberinto”²⁹.

2. La realidad se compone de aquello que resulta de las tres selecciones: fundamental, natural y cultural.
3. En esta realidad encontramos muchas formas cercanas a las formas que abstractamente define la selección matemática.
4. La frecuencia con la que se observa una forma matemática en la realidad de este mundo se mide por el número de objetos reales que la comparten.
5. Las formas matemáticas que se observan no son igual de probables. La simetría circular es la que más prolifera.

3. PERCEPCIÓN DE LA FORMA

3.1. LA PERCEPCIÓN COMO PRIMER CONTACTO CON LA REALIDAD

Hablar de percepción para los teóricos de la Gestalt³⁰ no conlleva referirse a una función psíquica específica, sino a un conjunto en el que forman parte también las sensaciones, al igual que la asociación y la atención, quedando definidas como:

²⁹ THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento de la forma*. Madrid: Ediciones Akal, 2011, p. 258.

³⁰ Teoría perceptiva GESTALT. Creada durante las primeras décadas del siglo XX por los investigadores alemanes Wertheimer, Koffka y Köhler. Parte de lo que formulan sobre el conocimiento Descartes y Kant, pues, la mente está preparada y es sensible al acto de concebir, existe una predisposición para ello. Esto supone contar en principio con la capacidad de organización perceptual innata. Consideran la percepción como el proceso fundamental de la actividad mental, y suponen que las demás actividades psicológicas como el aprendizaje, la

- Sensación: Los elementos que percibimos surgen en forma de sensaciones y se experimentan luego en forma de imágenes. Por lo tanto, cada sensación está relacionada con su estímulo, es la “hipótesis de la constancia”. Ante un estímulo dependiendo del órgano sensorial que lo perciba sabremos que sensación experimentará el sujeto dependiendo del grado de atención que tenga.

- Asociación: Es actualmente el más importante principio de la memoria y, además, el factor que rige nuestras ideas. La relación creada entre determinados elementos que en algún momento se encontraron en consecución espacial o temporal provoca que posteriormente se perciban unidos.

- Atención: Es el menos claro de los tres conceptos mencionados, pero está íntimamente relacionado con los otros dos. Para que nuestros sentidos capten un estímulo debe haber estado precedido de una llamada de atención; pues de no ser así, dicho estímulo habría pasado desapercibido. Por lo tanto, la atención es un factor que además de influir en los procesos conscientes se ve influida por ellos.

Ya Platón arguyó sobre las sensaciones en el *Timeo*: “De la relación de los cuerpos particulares con el nuestro nacen las impresiones acompañadas o no de sensación, y desde luego las impresiones comunes al cuerpo entero (las del tacto)”³¹.

La filosofía kantiana se refleja principalmente en el uso, por parte de los teóricos de la Gestalt, de la distinción entre sensibilidad, entendimiento y razón, y de la diferencia entre conceptos empíricos y conceptos puros. Además, tanto Kant como los psicólogos gestaltistas reconocían alguna relación entre el término de sensación y el de percepción, pero el filósofo hacia surgir la relación de los procesos mentales y los psicológicos de los procesos cerebrales.

Por otro lado, el filósofo alemán Edmund Husserl (1859-1938) defendió que tanto en los conceptos fundamentales de la Teoría de la Gestalt, como en sus métodos experimentales, que existe la necesidad de comprender la experiencia consciente como vía fundamental para la descripción de los procesos mentales.

Según la Gestalt, “nuestras percepciones se estructuran de distinta forma que la estimulación sensorial”³². Es decir, nuestras percepciones son diferentes de las sensaciones. Profundas investigaciones y experimentos confirmaron que podemos ver movimiento donde realmente no lo hay. Así, demostraron que esto no ocurría debido a la fijación de los músculos

memoria, el pensamiento entre otros, dependen del adecuado funcionamiento del proceso de organización perceptual. El enfoque de la GESTALT, como planteamiento de la Psicología de la Percepción, influirá enormemente en posteriores estudios acerca de la Teoría de la Forma. El propio término GESTALT se traduce por “forma”, pero equivale más a “estructura” o “configuración”.

³¹ AZCÁRATE, P. DE. *Obras completas de Platón. Puestas en la lengua castellana por primera vez por Patricio de Azcárate, Tomo VI.* Reproducción facsímil. Madrid: Medina de Navarro Editores, 1872, p. 136.

³² MARGALEF, J. B. *La percepción, desarrollo cognitivo y artes visuales.* Barcelona: Editorial Anthropos, 1987, pp. 23-24.

de los ojos, tal y como se había defendido hasta el momento, sino que se debe al “fenómeno phi” o movimiento aparente, esto es, ilusiones ópticas que se crean al simular movimiento mediante la presentación oportuna y continuada de estímulos estáticos iluminados. La percepción no está determinada por el estímulo, sino que la percepción misma es quien da forma y significado a los estímulos. En segundo lugar, que la percepción es capaz de separar el campo perceptivo en dos partes: en la que se focaliza la atención (figura) y otra menos clara e importante (fondo). Y, por último, que aún habiendo hecho la anterior clasificación, nuestra percepción no recibe la información de forma individual, sino que tiende a estructurar ambas partes, formando una totalidad, de acuerdo con unas leyes: 1. Ley de la proximidad: los estímulos próximos entre sí tienden a percibirse agrupados; 2. Ley de la semejanza: los estímulos parecidos entre sí tienden a percibirse agrupados; 3. Ley del cierre: las figuras abiertas, inacabadas o incompletas, tienden a cerrarse, acabarse o completarse, con el fin de que adquieran una forma; 4. Ley del destino común: los elementos que se desvían de un modo similar respecto de un grupo mayor, tienden a percibirse agrupados; 5. Ley de concisión: ley general que tiende a formar una “buena” Gestalt. El término “buena” incluye: regularidad, simetría, equilibrio, etc.; es decir, una suma de todas las leyes anteriores.

Teniendo en cuenta a Rudolf Arnheim, el cual centró sus estudios en la percepción visual, se podría decir que “el conjunto de operaciones cognoscitivas mentales –tales como la recepción, el almacenaje, la repetición-, y el procesamiento de la información –percepción sensorial, memoria, pensamiento y aprendizaje-, son fundamentales en la percepción. De modo que se entiende por percepción visual al pensamiento visual”³³.

Si tenemos en cuenta la descripción que los físicos hacen del proceso óptico, diremos que “los objetos de la realidad emiten y reflejan luz de modo que las lentes de nuestros ojos, proyectan imágenes de esos objetos sobre las retinas, que transmiten mensajes al cerebro”³⁴; y, según Arnheim, “El mundo arroja su reflejo sobre la mente, y este reflejo sirve de material en bruto que debe ser examinado, probado, reorganizado y almacenado”³⁵. De este modo, podremos sostener que la percepción visual es eminentemente activa. Y es que, tal y como ya dijo Platón en el Timeo, “la luz del día encuentra la corriente del fuego, visual (fuego interior) uniéndose íntimamente lo semejante á su semejante, se forma en la dirección de los ojos un cuerpo único, donde se confunden la luz, que sale de dentro, y la que viene de fuera. Este cuerpo luminoso, sujeto á las mismas afecciones en toda su extensión, á causa de la semejanza de sus partes, ya toque á cualquier objeto, ó sea tocado, trasmite los movimientos,

³³ ARNHEIM, R. *El pensamiento visual...*, p. 27.

³⁴ *Ibidem*, p. 22.

³⁵ *Ibidem*, p. 28.

que recibe al través de todo nuestro cuerpo, hasta el alma, y nos hace experimentar la sensación que llamamos vista”³⁶.

De lo dicho anteriormente podemos afirmar que la percepción visual se anticipa al pensar y por otra parte, que todo conocimiento es precedido de un proceso de percepción. La continua respuesta al medio constituye la base del sistema nervioso. Los sentidos evolucionaron como auxiliares biológicos. El estado vigilante a los constantes cambios del medio de la mente activa permite la supervivencia humana.

“Se nos dice que lo que una persona ve ahora no es más que el resultado de lo que ha visto en el pasado”³⁷. Sin embargo, sí matizamos, Gaetano Kanizsa lo expresa así: “Si hemos podido con las cosas de nuestro entorno, es precisamente porque ellas se han constituido para nosotros a través de las fuerzas de organización perceptual que actuaban con anterioridad, independientemente de la experiencia, permitiéndonos de ese modo experimentarlas. En segundo lugar la interacción de la forma del objeto presente y de las cosas vistas en el pasado no es automática y omnipresente, sino que depende de que se perciba una relación entre ellas”³⁸.

Y, según Gombrich, “Cuanta mayor importancia biológica tenga para nosotros un objeto, más sincronizados estaremos a reconocerlo, y más tolerantes serán nuestros criterios de correspondencia formal”³⁹.

3.2. LA PERCEPCIÓN SELECCIONA

“La percepción tiene unos fines, es selectiva”⁴⁰, pues entre otras facetas, se activa cuando percibe un cambio en el medio. Dichos cambios se acrecientan por el movimiento del propio cuerpo del observador y la visión impone al material que registra un orden conceptual, tiende a simplificar el mensaje, este tipo de abstracción es innata. “En el plano neuropsicológico se producen varias etapas: la primera constituye una fase de búsqueda y de selección, distinguiendo el estímulo significativo del conjunto. Esto exige una exploración y, por tanto, el establecimiento de un plan, hay una anticipación. Finalmente las sensaciones recogidas se seleccionan”⁴¹. Por su parte, “los movimientos del ojo que seleccionan los estímulos que destacan dentro del propio campo visual se encuentran a medio camino entre el

³⁶ AZCÁRATE, P. DE. *Obras completas...*, p. 187.

³⁷ ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual. Psicología del ojo creador*. Madrid: Alianza Editorial, 1979, p. 64.

³⁸ *Ibidem*, p. 64.

³⁹ *Ibidem*, p. 66.

⁴⁰ *Ibidem*, p. 33.

⁴¹ VIGOUROUX, R. *La fábrica de lo bello*. Barcelona: Editorial Prensa Ibérica, 1996, p. 177.

automatismo y la respuesta voluntaria”⁴². Esto supone la distinción de un objeto respecto del contexto, por sí mismo o por atender a las propias necesidades del observador. Según Arheim, “de la correcta selección del nivel perceptual elegido, dependerá el pensamiento cognoscitivo resultante”⁴³. Así, en segundo lugar, “se produce la aprehensión, la transmisión y el tratamiento de la información, apareciendo una representación mental del objeto. Y finalmente se produce la integración de los datos recogidos en el conjunto de las actividades neuropsicológicas. La cosa vista, (...) se convierten en fenómenos vividos. La realidad es experimentada como tal, confrontada a las representaciones memorizadas e incorporada a la propia intimidad del universo mental”⁴⁴.

3.3. PERCIBIR LA FORMA

“Percibir consiste en la formación de “conceptos perceptuales”. (...) Por tanto, la visión es una actividad creadora de la mente humana. La percepción realiza a nivel sensorial lo que en el ámbito del raciocinio se entiende por comprensión. La vista de cada uno de los hombres se anticipa modestamente a la capacidad del artista para hacer esquemas que interpreten válidamente la experiencia mediante la forma organizada. Ver es comprender”⁴⁵.

La percepción de la forma siguiendo los preceptos de la teoría de la Gestalt consiste en “la captación de los rasgos estructurales más que en el registro indiscriminado de los detalles, que se encuentran en el material estimulante y que es organizado al llegar al cerebro con la configuración más simple compatible con él”⁴⁶.

De este modo, la forma entendida como concepto perceptual destaca por dos propiedades: 1. Posee generalidad y, por tanto, ha de poder ser clasificada; 2. Es fácilmente identificable.

Siguiendo el principio de la Gestalt de “la buena continuación”, toda forma bidimensional o tridimensional al sufrir una transformación proyectiva sufre una deformación perceptual, “las varias proyecciones del sólido no se dispersan al azar en el espacio y el tiempo sino que aparecen como secuencias legales de cambio gradual”⁴⁷. La armonía y concordancia inherente en esa secuencia logran la constancia de la forma.

“Las varias proyecciones bidimensionales de un cubo se ven como un cubo porque ese sólido tridimensional es la forma más simple, simétrica y regular a que todas ellas pueden

⁴² *Ibidem*, p. 182.

⁴³ ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual...*, p. 27.

⁴⁴ VIGOUROUX, R. *La fábrica...*, pp. 177 y 182.

⁴⁵ ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual...*, p. 62.

⁴⁶ ARNHEIM, R. *El pensamiento...*, p. 41.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 61.

referirse. (...) La distorsión que produce la perspectiva en el cubo se percibe como una desviación o convergencia geoméricamente simple de su forma invariable, y el carácter de estas modificaciones impuestas, que es conforme a ley, hace posible que la mente distinga entre lo que pertenece a la forma del objeto de por sí, y lo que se debe a la distorsión proyectiva. (...) La percepción más rica observa y goza de la hechizante y esclarecedora variedad de la forma proyectantemente cambiante”⁴⁸.

Este tipo de abstracción requiere de una mente capaz de percibir no sólo el aspecto que recibe en un momento dado, sino que sea capaz de ver lo momentáneo como parte integrante de un todo más amplio.

3.4. PERCIBIR LA FORMA MATEMÁTICA

A la hora de captar la forma el sentido de la vista casi siempre la aprehende, captando un esquema global. Según defiende la Gestalt “todo esquema estimulador tiende a ser visto de manera tal, que la estructura resultante sea tan sencilla como lo permitan las condiciones dadas”⁴⁹. Es obvio que las figuras geométricas simples están muy lejos del tipo de esquema intrincado que normalmente encontramos en el arte y en la naturaleza. Pero también es verdad que las construcciones teóricas nunca pretenden otra cosa que dar una versión aproximada de las complejidades de la realidad.

Hasta aquí hemos estado hablando de la simplicidad absoluta, pero también ha de considerarse la simplicidad relativa, que se aplica a todos los niveles de complejidad.

Cuando se desea hacer una afirmación o desempeñar una función, hay que plantearse dos cuestiones: ¿cuál es la estructura más sencilla que servirá al fin buscado (parsimonia)?, y ¿cuál es la manera más sencilla de organizar su estructura (orden)? Para los científicos el principio de parsimonia adoptado, como ya se dijo anteriormente, exige que siempre que varias hipótesis den cuenta de los hechos se tome la más sencilla. Como dice D’Arcy Thomson: “Debemos aprender de los matemáticos a eliminar y a descartar; a mantener el tipo en la mente y abandonar el caso singular, con todos sus accidentes, único; y a encontrar en este sacrificio de lo que poco importa y en la conservación de lo que es imprescindible, las excelencias peculiares del método de las matemáticas”⁵⁰. Por su parte, para los artistas el principio de parsimonia es estéticamente válido, en cuanto que no debe ir más allá de lo que sea preciso para sus propósitos. Y, por último, la naturaleza, en palabras de Isaac Newton, “no

⁴⁸ *Ibidem*, pp. 63-64.

⁴⁹ ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual...*, p. 70.

⁵⁰ THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento...*, p. 259.

hace nada en vano, y lo más es en vano cuando bastaría con menos; pues la naturaleza se complace en la simplicidad, y no gusta de la pompa de las cosas superfluas”⁵¹.

“Las grandes obras de arte son complejas, pero también las elogiamos por su sencillez, con lo cual queremos decir que reúnen una abundancia de significado y forma dentro de una estructura global que define claramente el lugar y función de cada uno de los detalles del conjunto. A esa manera de organizar una estructura necesaria de la manera más simple que sea posible la podemos llamar su orden”⁵². Ya Spinoza en la primera parte de su *Ética* sienta las bases de este concepto, al hablar de las cosas.

“Apéndice: Pues decimos que están bien ordenadas cuando están dispuestas de tal manera que, al representárnoslas por medio de los sentidos, podemos imaginarlas fácilmente y, por consiguiente, recordarlas con facilidad; y si no es así, decimos que están mal ordenadas o que son confusas. Y puesto que las cosas que más nos agradan son las que podemos imaginar fácilmente, los hombres prefieren, por ello, el orden a la confusión, como si en la naturaleza, el orden fuese algo independiente de nuestra imaginación”⁵³.

“La unidad de concepción del artista conduce a una simplicidad que, lejos de ser incompatible con la complejidad, sólo muestra su virtud dominando la abundancia de la experiencia humana, en lugar de refugiarse en la pobreza de la abstinencia. (...) Ver y recordar implica la creación de totalidades organizadas”⁵⁴.

En este punto resulta realmente interesante el siguiente razonamiento de Gombrich: “Una vez que comprendamos que ventajas obtiene el hombre racional de la aplicación del principio de simplicidad, de su preferencia por las líneas rectas y las formas geométricas estandarizadas, tal vez estemos en mejores condiciones de estudiar la aparición de una conducta análoga a lo largo de toda la escala evolutiva. Ya no nos asusta utilizar en estas cuestiones argumentos teleológicos ni preguntar por qué nuestra constitución mental favorece la simplicidad, tanto en la percepción como en la elaboración. Si estas tendencias no tuviesen un fuerte valor de supervivencia, no habrían llegado a formar parte de nuestra herencia orgánica”⁵⁵.

En la naturaleza hay muchos sistemas que tienden a regularse, es decir, a formar una Gestalt. La relación entre las gestalten físicas y las gestalten fenoménicas son justificadas mediante el “Principio del Isomorfismo Psicofísico”, por el cual el orden en el espacio y sucesión de los procesos mentales es idéntico.

⁵¹ ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual...*, p. 46.

⁵² *Ibidem*, p. 76.

⁵³ SPINOZA, B. *Ética demostrada...*, pp. 118-119.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 81.

⁵⁵ GOMBRICH, E. H. *El sentido del orden*. Nueva York: Universidad de Nueva York-Phaidon, 2004, vol. IX, p. 7.

4. PERCEPCIÓN DE LO INTELIGIBLE Y DE LO BELLO

“La lectura de un paisaje no se lleva a cabo según las leyes del azar. Es, al mismo tiempo, una captación inmediata de la información percibida y una anticipación. Recurre a una memoria predictiva. Necesita “un saber tácito subyacente”, que es la expresión de la historia personal y de la impregnación cultural del espectador. Pero exige también una estrategia de búsqueda, dependiente de hipótesis de placer establecidas a partir de hechos de memoria”⁵⁶. Por tanto, este suceso ocurre como si la mente se esforzara por satisfacer deseos inconscientes.

Hasta ahora lo que hemos aprendido es que podemos comprender las formas de la naturaleza e incluso reproducirlas. Para dar rienda suelta a nuestra creatividad previamente debemos comprender. ¿Pero cuáles son los mecanismos que han sido seleccionados para este fin? La inteligibilidad y la belleza.

“La inteligibilidad es el estado mental al que se accede por reflexión al descubrir lo común entre lo diverso. La belleza es el estado mental al que se accede por un estímulo visual o cualquier otro sentido. Ambos empiezan en el exterior, pero mientras la inteligibilidad de un pedazo de realidad se refiere a su relación con el resto, la belleza de un pedazo de realidad tiene que ver con la relación entre las partes del pedazo mismo”⁵⁷. “El sentimiento de la perfecta adaptación de un objeto o de un animal a su razón de ser (o a sus condiciones de vida), sugerido por su forma a nuestro subconsciente, es lo que causa el placer estético que procura su contemplación”⁵⁸. Algo nos resulta inteligible cuando se repite entre una variedad. “La repetición en el espacio es la armonía. La repetición del tiempo es el ritmo. La belleza se compone de armonía y ritmo”⁵⁹. De modo que podemos definir belleza como el grado de repetición que puede percibirse entre las partes de un pedazo de realidad cuando se recorre el espacio y el tiempo. La simetría se da en pedazos de realidad cuyas partes se repiten. La simetría es un referente para la belleza.

Percibir la inteligibilidad es comprender. Comprender es separar lo común entre lo diverso. El grano de la paja. El ruido de la información. Percibir la inteligibilidad y la belleza puede producir gozo mental. ¿Cuándo surge el gozo al percibir la belleza? Éste se haya en una zona de equilibrio de la mente. Si al observar un pedazo de realidad no hay ningún tipo de regularidad, de orden, de repetición, si no hay ritmo ni armonía, y la mente no tiene nada que

⁵⁶ VIGOUROUX, R. *La fábrica...*, p. 183.

⁵⁷ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 276.

⁵⁸ GHYKA, M. C. *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las Artes*. Barcelona: Editorial Poseidón, 1983, p. 16.

⁵⁹ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 276.

resolver, entonces llega un momento en que se rinde. Si por el contrario, si hay demasiado ritmo y armonía, la solución es demasiado obvia para la mente, y se aburre. Luego el gozo mental debe hallarse en un punto intermedio entre la frustración y el aburrimiento. De este modo, Gombrich dice: “El hecho más básico de la experiencia estética justifica el hecho de que el deleite se encuentre en algún lugar entre el aburrimiento y la confusión. Si la monotonía dificulta la atención, un empacho de novedad sobrecargará el sistema y hará que abandonemos”⁶⁰. Por otra parte, el grado de armonía y ritmo que provoca gozo mental depende de la mente y su cultura. “La naturaleza del sentimiento estético necesita una recreación personal, a partir del cual nace el placer. (...) se remite entre otras cosas a su memoria cultural, formada por el conjunto de recuerdos almacenados a lo largo de los aprendizajes, (...) que se transmiten de cerebro en cerebro, de individuo a individuo, de generación en generación y de material artístico en material artístico”⁶¹. Entonces, ¿cuándo surge el gozo por percibir la inteligibilidad? Lo que hay que tener claro es que ambos gozos son la constatación de una anticipación. El gozo mental en el caso de la inteligibilidad debe estar entre la predicción y la sorpresa.

Estudios paleontológicos confirman que el hombre era capaz de percibir la belleza mucho antes que percibir la inteligibilidad. Ciertas piezas de la industria lítica fabricadas por el *homo erectus*, en las que la simetría de las mismas es casi perfecta, lo prueban.

La mente humana ha evolucionado inmersa en la realidad natural. En ella se suceden continuamente repeticiones de ritmos y regularidades. “Tan profundamente arraigada está nuestra tendencia a contemplar el orden como marca de una mente ordenante, que reaccionamos instintivamente con admiración cada vez que percibimos regularidad en el mundo natural”⁶². La sucesión de las estaciones o la salida y puesta del sol son indicativas de que todo marcha bien. “A nuestro alrededor, la naturaleza late con unos ritmos complejos, y estos ritmos sirven para el propósito de la vida”⁶³, pues ese orden, esa repetición y frecuencia nos indica que la incertidumbre es menor. Surge entonces “la necesidad del organismo como un agente activo que busca el entorno, no a ciegas ni al azar, sino guiado por su inherente sentido del orden”⁶⁴. La naturaleza está dotada equilibradamente de repeticiones y regularidades, de armonías y ritmos, gracias a los cuales funciona.

El gozo mental por la belleza está asociado a cierto grado de repetición en un punto de equilibrio entre la predicción y la sorpresa, entre el orden y la contingencia. Este grado varía

⁶⁰ GOMBRICH, E. H. *El sentido del orden...*, vol. IX, p. 9.

⁶¹ VIGOUROUX, R. *La fábrica...*, pp. 182 y 203.

⁶² GOMBRICH, E. H. *El sentido del orden...*, vol. IX, p. 11.

⁶³ *Ibidem*, p. 11.

⁶⁴ *Ibidem*, p. 6.

con las culturas pero existe una inteligibilidad común y un gozo mental de todos los individuos humanos. “La mente ha evolucionado en el entorno natural, por tanto se puede decir que el grado de orden que produce el gozo mental por la belleza esté en la misma dosis de orden propia de la naturaleza”⁶⁵.

La naturaleza está repleta de armonías y ritmos, de simetrías⁶⁶ y de fractalidades, de períodos que se suceden. Tal vez en un momento dado de la evolución, el hombre fabricó una herramienta que no empleó para llevar a cabo la función habitual. La hizo igual por ambos lados. La dotó de simetría bilateral como la que estaba acostumbrado a ver en los rostros de sus familiares, de los animales, de las hojas de las plantas, siguiendo el grado de incertidumbre de su derredor estable. Lo hizo así para contemplarlo, por su belleza. Esa forma simétrica asociada a la belleza ha permanecido, a través de las sucesivas selecciones, y ha dado lugar a lo que estamos intentando definir como gozo por lo bello. Así, por ejemplo, Alberti⁶⁷ en su *De re aedificatoria* define la belleza como: “una especie de armonía y acuerdo entre todas las partes, que constituye un todo construido según un número fijo, una cierta relación, un cierto orden, tal como el principio de simetría –que es la ley más elevada y perfecta de la naturaleza- lo exige”⁶⁸. Del mismo modo, el primer hombre que fue capaz de gozar con la belleza por lo primaveral fue el que se percató de que cada año volvía a suceder. De esta forma surgió el gozo por la inteligibilidad.

La selección cultural trabaja en favor del arte y de la ciencia. Para hacer ciencia es necesario percibir la inteligibilidad. Para hacer arte, la belleza. Pero así como la ciencia no está reñida con lo bello, ni el arte con la inteligibilidad, el arte puede tan sólo intuir. Luego puede haber arte sin inteligibilidad. De modo que la ciencia se puede comprender sin necesidad de intuir, mientras que el arte se puede intuir sin comprender. Por tanto, se puede dar la intuición científica en el arte.

La arquitectura es una manifestación artística que el hombre crea como tecnología concebida para cambiar el entorno y, con ello, reducir la incertidumbre del medio. Gaudí era un claro ejemplo de artista, arquitecto y científico que observó las múltiples formas que se

⁶⁵ DUTTON, D. *El instinto del arte...*, p. 129.

⁶⁶ Simetría. (Del lat. *Simetría* y este del gr. Συμμετρία), según FATÁS, G. Y BORRÁS, M. G. *Diccionario de términos de arte y elementos de arqueología, heráldica y numismática*. Madrid: Alianza Editorial, 1992, p. 216, “Modo de disponer los objetos en torno a ambos lados de un eje real o imaginario, de modo que cada uno de ellos se corresponda con otro situado al otro lado de un eje. Una disposición estrictamente simétrica sobre un eje vertical se realiza de modo que, al ser doblada la figura por el eje, ambas mitades coinciden perfectamente. En general, equilibrio ordenado de las partes de una obra respecto de su eje mayor o principal”.

⁶⁷ LeonBattista Alberti (1404-1472). Se le considera el primer teórico del arte del Renacimiento. Gran humanista, cultivó con igual amplitud la filosofía, la ciencia, el saber clásico y las artes siendo arquitecto, músico y poeta. Las ideas teórico-prácticas que consideraba todo artista debía conocer se encuentran esencialmente en tres de sus obras. La más antigua es el tratado *Della Pittura*. El segundo y más importante, *De re aedificatoria*, comprende los diez libros de arquitectura, y el último es un opúsculo sobre escultura *De statua*. El aspecto más innovador de sus propuestas consiste en partir de lo antiguo para dar forma a lo moderno, práctica que ya había comenzado Filippo Brunelleschi.

⁶⁸ BLUNT, A. *La teoría de las artes en Italia del 1450 a 1600*. Madrid: Ed. Cátedra, 1992, p. 27.

repetían en la naturaleza. “Ser original es acercarse a los orígenes”⁶⁹. Así, las formas naturales que emergen en la obra de Gaudí cumplen las mismas funciones que en la naturaleza.

SEGUNDA PARTE

1. INTRODUCCIÓN

La segunda parte de este TFM, teniendo en cuenta lo expuesto hasta el momento, consistirá en una presentación de algunas de las formas frecuentes que por su función emergen en el mundo natural y artificial.

La selección natural y culta que dichas formas superan otorga a las mismas tiempo en su existir, perseverando en la realidad mudable. La selección culta, mediante la percepción y sus mecanismos anteriormente descritos, traza una imagen mental simple al abstraer matemáticamente su forma, y las dota de inteligibilidad y belleza, propiciando con ello su posterior transformación al integrarlas en sus arquitecturas, ejemplos fehacientes de funcionalidad y estética, fruto de la creatividad humana. En el libro citado anteriormente Alberti al referirse a la arquitectura dice: “Aquello que nos gusta en las cosas más bellas y exquisitas proviene bien de una inspiración racional del espíritu o de la mano del artista o bien la naturaleza lo produce con sus propios materiales. La tarea de la inteligencia consiste en elegir, dividir y ordenar esta clase de cosas que confieren a la obra su dignidad. La labor manual del artista consiste en la reunión, el ensamblaje, el corte, el recorte, el pulido, el trabajo delicado y otros cometidos parecidos que dan a la obra su gracia particular”⁷⁰.

Como colofón de este TFM, se mostrará una clasificación de las obras arquitectónicas que atendiendo a lo expuesto hemos seleccionado para este fin. Este hecho, aunque suponga una aportación ínfima, acrecentará de nuevo su presencia y sus posibilidades de perseverar frente a la incertidumbre.

2. FORMAS NATURALES MATEMÁTICAS FRECUENTES POR SU FUNCIÓN

“Una vez que comprendamos que ventajas obtiene el hombre racional de la aplicación del principio de la simplicidad, de su preferencia por las líneas rectas y las formas geométricas estandarizadas, tal vez estemos en mejores condiciones para estudiar la aparición de una conducta análoga a lo largo de toda la escala evolutiva. Ya no nos asusta utilizar en

⁶⁹ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma. Espacio, geometría, estructura y construcción*. Barcelona: Lunwerg Editores, 2002, p. 20.

⁷⁰ BLUNT, A. *La teoría de las artes...*, p. 27.

estas cuestiones argumentos teleológicos ni preguntar por qué nuestra constitución mental favorece la simplicidad, tanto en la percepción como en la elaboración. Si estas tendencias no tuviesen un fuerte valor de supervivencia, no habrían llegado a formar parte de nuestra herencia orgánica”⁷¹.

2.1. LA ESFERA PROTEGE

La definición geométrica de la circunferencia es que ésta es el perímetro más corto que encierra una superficie plana. La esfera es la superficie tridimensional de la circunferencia. Y, por tanto, se define como la menor superficie que encierra un volumen dado.



Fig. 1. Visión parcial del espacio astronómico. Fuente: SANDOVAL, A. G. *Observar...*, p.44.

En el mundo inerte la esfera emerge por selección fundamental al ser la forma más estable en entornos homogéneos, isotrópicos o simétricos. “En la naturaleza surge el orden cuando las leyes de la física pueden actuar en sistemas aislados y sin mutuos estorbos”⁷².



Fig. 2. Gota esférica de agua al caer. Fuente: SANDOVAL, A. G. *Observar...*, p.44.

Así, de simetría por omisión, donde ninguna dirección prevalece sobre otra, se manifiesta en forma de planetas en el espacio ingravido, de una gota de agua a punto de caer, de una burbuja bajo el mar, etc.

(Fig. 1 y 2). De simetría por acción, donde la forma

esférica sigue siendo la más probable, tenemos un buen ejemplo en la desembocadura de los ríos, donde el resultado del paso del tiempo origina diminutos granos de arena que reposan resultantes del desgaste de los cantos rodados al chocar unos con otros en todas las direcciones.

En el mundo vivo también la esfera prolifera como resultado de la selección natural en semillas, frutos y huevos como los de las ninfas de la chinche de la familia de los odoníferos, *Pentatomidae* de campo (Fig. 3), la ooteca de la araña tigre *Argiopebruennichii* (Fig.



Fig. 3. Ninfas recién salidas del huevo. Fuente: PFEFFER. *Los continentes...*, p. 249.

⁷¹ GOMBRICH, E. H. *El sentido...*, vol. IX, p.7.

⁷² *Ibidem*, p.5.

4), o las huevas esféricas de los *opistognácidos* (Fig. 5). Animales como las medusas o los erizos son también buenos ejemplos de ello (Fig. 6). Pero la función de la esfera en el mundo



Fig. 4. Ooteca de araña Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.27.

vivo ya no es la estabilidad. En una superficie frontera mínima cómo es la esfera, el tránsito de materia, energía o información es menor que en cualquier otra superficie. El ojo de los animales tiende a ser esférico para captar la mayor cantidad de información (Fig. 7). En parajes de luz isótropa, la copa de los árboles se torna esférica.

En un entorno isotrópico como es el agua, los animales fijos a un lugar o que vagan a la deriva topándose con el



Fig. 5. Huevas esféricas. Fuente: FERRARI. *Océanos secretos...*, p. 189.

alimento tienden a la simetría circular.

Al evolucionar los seres vivos son dotados de movilidad pudiendo ir en busca del alimento, ganando independencia. Surge así la simetría tendente a una dirección: la simetría bilateral, de modo que los animales muestran la boca en posición opuesta al ano. Moverse en el aire o en el agua genera formas aerodinámicas o fluidos dinámicos que se adaptan al medio.



Fig.6. Medusas. Acuario de Gijón (Asturias. España). Fotografía de Mercedes Torrens Bermejo

La forma esférica también dificulta un ataque a mordiscos por las fauces de un predador. Algunos animales, como los erizos terrestres, recogen esféricamente su cuerpo con ese fin. Los primeros huevos se dieron en el agua; sin embargo, en el medio terrestre los huevos esféricos salen peor del vientre materno y tienden a rodar con facilidad. La selección natural ha favorecido nuevas variaciones de la forma esférica para combatir mejor la nueva incertidumbre, surgiendo así el ovoide. La gallina cuando incuba hace de

manta, es decir, evita que el huevo se enfríe; pero no lo calienta. El calor fluye poco a poco del huevo a la gallina, o sea, es el huevo el que calienta a la gallina.



Fig. 7. Ojo de insecto. Fuente: <http://www.IGraffcaracas.es>

El mínimo tránsito de materiales a través de la forma esférica provoca que ciertas especies vegetales como los cactus, que habitan zonas desérticas, adopten esta forma. Incluso, en ocasiones, los cactus no esféricos se reúnen en conjuntos que sí lo son formando colonias



Fig. 8. Nido del verdecillo. Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.72.

con la finalidad de no perder agua al protegerse del calor. Dicha agrupación se da también en algunos frutos como las frambuesas o las moras. Por tanto, la función de las esferas vivas es la de proteger contra el enfriamiento y la depredación, por citar sólo algunos casos.

La arquitectura animal está repleta de manifestaciones de simetría circular. Sólo tenemos que observar la mayoría de los nidos y las madrigueras, así como sus entradas y salidas. A partir de cierto tamaño, las construcciones esféricas dejan de ser funcionales y pasan a tener forma de cúpula como el nido en forma de cúpula invertida del verdecillo (Fig. 8). También encontramos viviendas con forma de bóveda. Una bóveda es un arco repetido que forma una estructura en tres dimensiones. La bóveda cubre un espacio en forma de techo y está formada por elementos que se apoyan mutuamente y ejercen una presión exterior soportada por paredes o pilares. La fuerza de la gravedad y las fuerzas laterales que llegan a la bóveda se desvían siguiendo la forma de la envolvente hasta llegar al suelo o al apoyo. Un ejemplo lo encontramos en la bóveda que el cangrejo *Mictyris* (Fig.9) se construye con la arena húmeda de la playa que contiene el aire que necesita; de esta forma se sepulta para protegerse del oleaje y los depredadores.

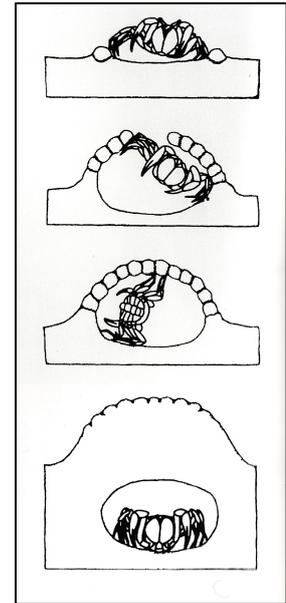


Fig. 9. Proceso de construcción de una bóveda por el cangrejo *Mictyris longicarpus*. Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.76.

En el mundo culto, la esfera, la circunferencia y el círculo, en definitiva la simetría circular también triunfan. En este caso no es tan importante la función de protección, sino otras más simbólicas como la de perfección, la eternidad o lo divino. El hombre desde el principio de su existencia advirtió la sucesión de la vida y la muerte, del día y la noche, del cambio de las estaciones de forma cíclica, y de la importancia que tenían los cielos para predecir los cambios. Seguimos la trayectoria de una circunferencia, volvemos una y otra vez al mismo punto. Por eso ya el primer hombre de forma intuitiva o lógica asocia la forma circular y lo cíclico, al concepto de eternidad. Hoy para nosotros eternidad es sinónimo de inmortalidad, permanencia, inmutabilidad. ¿Y que otra cosa ansía el hombre que no sea permanecer, perdurar, etc.?, pero, ¿acaso el hombre es eterno?. El hombre necesita creer que existe algún ser superior inmortal y le llamará Dios. De modo que lo divino se simbolizará con la forma circular perfecta, homogénea, equilibrada, ideal y de absoluta unidad. La

circunferencia es la forma geométrica asociada al número uno, a la unidad primigenia, a lo universal. También lo son su superficie plana, el círculo, así como tridimensional, la esfera.



Fig. 10. Cromlech. Fuente: <http://www.timerime.com>

su función simbólica asociada. Un ejemplo claro lo tenemos en la arquitectura. Los cromlech prehistóricos (Fig. 10), los iglús de las tribus esquimales, las pallozas y castros celtas (Fig. 11), los tholos romanos son algunos de los ejemplos arquitectónicos en que prevalecerá una u otra función y donde los cerramientos se basarán en la construcción de “falsas cúpulas” al tratarse de



Fig. 11. Castro celta. Fuente: <http://www.minube.com>

estructuras adinteladas sin esfuerzos horizontales notorios. Sin embargo, la evolución desde



Fig. 12. Panteón de Agripa. Fuente: <http://www.viajarsi.com>

este punto dio origen a uno de los métodos de cubierta más complejo que resolvía la compensación de esfuerzos de tracción y compresión de los muros. Surgirían así las auténticas “cúpulas”⁷³, siendo uno de los ejemplos más notables en su ejecución el Panteón romano de Agripa (Fig. 12). La selección cultural ha ido evolucionando a lo largo del tiempo hasta nuestros días, permitiendo que las formas geométricas derivadas de la circunferencia y la esfera dieran lugar a los distintos polígonos y poliedros. Expresiones de estos últimos serán las denominadas cúpulas geodésicas, una de cuyas aplicaciones veremos más adelante.

⁷³ Cúpula: (*Del it. cupola*). Según FATÁS, G. Y BORRÁS, M. G. *Diccionario...*, p. 76, “Bóveda semiesférica. Generalmente cubre un espacio cuadrado cuyo paso a *planta circular u octogonal se da por medio de *trompas o *pechinas. Cuando se desea conseguir una mayor elevación de la cúpula, se hace a ésta reposar no sobre las trompas o pechinas directamente sino sobre un ancho anillo o *tambor, a modo de cuerpo cilíndrico u octogonal. Cuando la iluminación no se hace mediante *vanos en el tambor o quiere reforzarse ésta, se agrega a la parte superior de la cúpula una pieza llamada *interna que es un segundo cuerpo cilíndrico o poligonal cubierto, a través de cuyos vanos, practicados en derredor, entra la luz: no debe confundirse con el *duomo o domo, que a veces se recubre exteriormente. Los gallones o gajos: la que recuerda o imita el aspecto de los gajos de una naranja. **Falsa cúpula: La obtenida por aproximación sucesiva de hiladas”.

2.2. EL HEXÁGONO CUBRE

La simetría circular, como ya se ha dicho, emerge en ambientes isotrópicos. Pero si una gran cantidad de círculos se ciñe a un espacio, éstos adoptan la forma hexagonal. En el mundo inerte una vívida demostración tridimensional de este hecho la encontramos en la

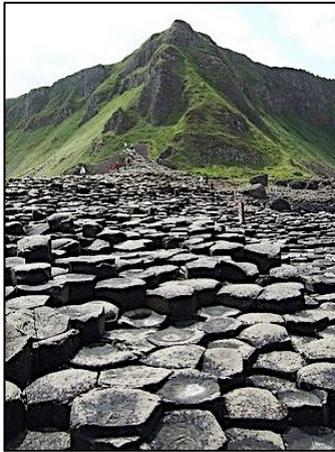


Fig. 13. "Calzada de los Gigantes". Irlanda del Norte. Fuente: <http://www.dublin.es>

formación rocosa de la denominada "Calzada de los Gigantes", en el condado de Antrim, en Irlanda del Norte (Fig. 13). Se trata de una importante cristalización, de unas 40.000 columnas de basalto en forma de prismas hexagonales, que debió acontecer hace aproximadamente 60.000 millones de años. Al enfriarse relativamente rápido la lava de una caldera volcánica se produjo una contracción que empujó la lava hacia arriba, y ésta cristalizó formando las columnas. La forma hexagonal también emerge en la cristalización de algunos minerales o en la estructuración de algunos corales marinos. La selección fundamental permite la

emergencia de la forma hexagonal por ser la más estable, puesto que a diferencia de las aglomeraciones esféricas o circulares no deja huecos a la hora de cubrir el espacio; es decir, lo pavimenta.

En el mundo vivo también se suceden multitud de ejemplos en los que el crecimiento de las construcciones animales se realiza por agregados de estructuras modulares mediante la repetición de un mismo elemento. Uno de ellos lo



Fig. 14. Cilindros en nido de papel de *Polistesgallicus*. Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.76.



Fig. 15. Panal de abejas de la miel, *Apis mellifera*. Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.82.

constituyen los panales de las abejas y otros himenópteros, que pretendiendo aprovechar el espacio con el menor gasto de material, construyen celdas en sus nidos donde depositarán sus huevos o almacenarán el alimento. Por ejemplo, los *polistes* o avispas papeleras construyen sus panales mediante cilindros apretados mezclando celulosa de vegetales con sus secreciones salivales (Fig. 14). Las abejas de la miel hacen crecer sus panales agregando cera con la que forman celdas hexagonales consiguiendo aprovechar al máximo el espacio (Fig. 15).

El ojo facetado o compuesto de los insectos también sigue el mismo patrón hexagonal descrito, al constituirse por un aglomerado de cilindros comprimidos en el espacio ocular, cuya función es seleccionar los rayos de luz que le llegan,

para construir una imagen lo más nítida posible y así poder defenderse mejor de los depredadores y encontrar el alimento con facilidad (Fig. 16). Dentro de los sistemas tegumentarios de los animales encontramos por ejemplo que el caparazón de la mayoría de las tortugas constituye un escudo de hexágonos sin intersticios

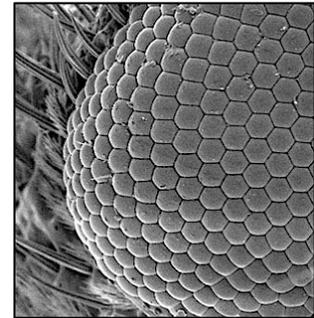


Fig. 16. Ojo facetado de insecto. Fuente: <http://www.neofronteras.com/especiales/>



Fig. 17. Tortuga caguama. Acuario de Gijón (Asturias. España). Fotografía de Mercedes Torrens Bermejo

donde puedan penetrar los colmillos de un posible depredador (Fig. 17). Del mismo modo, la piel de muchas

especies de reptiles y peces tienen el cuerpo cubierto de escamas con forma hexagonal como “el pez cofre”, *Ostracidae Tretraodontiforme* (Fig. 18), cuyo cuerpo

está protegido por un receptáculo acorazado rígido. Concretamente la especie *Tetrosomus gibbosus* tiene la piel pavimentada de hexágonos divididos en triángulos. La corteza de muchos frutos presenta también esta configuración como, por ejemplo, la del ananás.



Fig. 18. Pez cofre. Fuente: FERRARI, A. *Océanos secretos...*, p. 78.

El hexágono también pavimenta las superficies curvas en el mundo culto mediante redes o mallas de estructura hexagonal o triangular equilátera (polígono que surge de la división en partes iguales de un hexágono regular), las cúpulas geodésicas tan empleadas hoy en arquitectura son superficies que surgen de la sucesiva triangulación del icosaedro (poliedro cuyas veinte caras son triángulos equiláteros), pero la forma más adecuada para cubrir superficies esféricas se consigue mediante una red de hexágonos y pentágonos, dando así lugar a una figura poliédrica truncada, el icosaedro arquimediano⁷⁴. Aplicaciones de esta figura la encontramos en los balones de fútbol reglamentario.

2.3. LA ESPIRAL EMPAQUETA

La espiral deriva al igual que el hexágono de la simetría circular. “Es una curva que, empezando desde un punto de origen, disminuye continuamente su curvatura al alejarse de

⁷⁴ “Los poliedros arquimedianos o poliedros semirregulares son poliedros convexos cuyas caras son polígonos regulares idénticos de dos o tres tipos diferentes y en los que cada vértice recibe el mismo número de aristas. Es decir, son una extensión de los regulares al admitir más de un tipo de cara regular, pero mantienen la exigencia de iguales incidencias en los vértices”, en ALSINA, C. *Las mil caras de la belleza geométrica. Los poliedros*. Madrid: RBA Coleccionables, 2010, p. 59.



Fig. 19. Galaxias. Fuente: <http://www.freepik.es>

ese punto; o, en otras palabras, cuyo radio crece sin cesar”⁷⁵. Es decir, se trata de una forma matemática simple que se genera con el desplazamiento progresivo de un punto al girar entorno al centro de una circunferencia.

En el mundo inerte la selección fundamental favorece la emergencia de espirales, por ejemplo en la generación de las galaxias (Fig. 19). “Éstas son cientos de miles de millones de estrellas interactuando a través de fuerzas gravitatorias.

Son quizás los mayores conjuntos de materia con cierta independencia del resto del universo”⁷⁶. En el mundo vivo la espiral surge para ahorrar espacio y garantizar la movilidad. Se presenta en la forma hermosa de las conchas de los moluscos, que como dijo Plinio “magan ludentis Natura evarietas (jugáis con la gran variedad de la naturaleza)”⁷⁷, y en los caparazones de muchos invertebrados. También se hallan “en los cuernos de los rumiantes, entre los flósculos de un girasol, en los bordes de una hoja cordiforme (Fig. 20), y de forma transitoria en el enroscamiento de la trompa de un elefante (Fig. 21), en las espiras envolventes de una serpiente, en los enrollamientos del brazo de una sepia, o en las colas de un mono, de un caballito de mar, de un camaleón”⁷⁸ o de una mariposa (Fig. 22). La

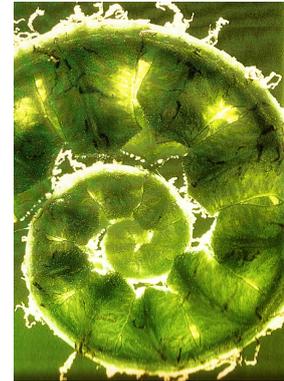


Fig. 20. Hoja de helecho al abrirse. Fuente: PEARSON, D. *Arquitectura orgánica...*, p.52



Fig. 21. Trompa de elefante. Fuente: <http://www.taringa.net>

espiral en los caparazones y cuernos se produce por incrementos sucesivos a lo largo del tiempo de materia antigua sobre nueva conformando un todo. Y es que el tiempo lo cambia todo. Sólo es cuestión de tiempo. La espiral, en definitiva, empaqueta, bien para ahorrar espacio, bien para mejorar la movilidad. Esta función ha ido en progreso a lo largo de la evolución. En todos los ejemplos citados la naturaleza exhibe, al menos como dijo Plinio “un reflejo de las rigurosas formas que



Fig. 22. Trompa de mariposa. Fuente: <http://www.esmaloal.wordpress.com>

⁷⁵ THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento...*, p. 171.

⁷⁶ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p.196.

⁷⁷ THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento...*, p. 171.

⁷⁸ *Ibidem*, p. 171.

estudia la geometría”⁷⁹. Todos son un ejemplo de la conocida espiral equiangular o logarítmica.



Fig. 24 . Sección de una concha de Nautilus. Fuente: PEARSON, D. *Arquitectura orgánica...*, p. 64.

La espiral más básica es la conocida como espiral de Arquímedes, que se define como: “Si una línea recta gira uniformemente sobre su extremo, un punto que se desplace asimismo uniformemente sobre ésta describirá la espiral uniforme”⁸⁰ (Fig. 23). Mientras que la espiral en el Nautilus (Fig. 24) o en la concha del caracol pertenece al tipo que se define según Thomson como: “Si, en lugar de desplazarse con una velocidad uniforme, nuestro punto se mueve a lo largo del radio vector con una velocidad que se incrementa conforme aumenta su distancia del polo, entonces el camino descrito se denomina espiral equiangular”⁸¹ o logarítmica (Fig. 25).

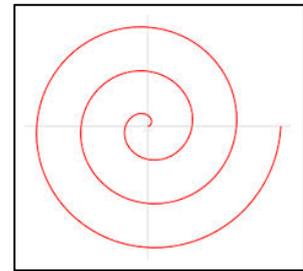


Fig. 23. Espiral de Arquímedes. Fuente: <http://www.wikipedia.org>

En el mundo culto la espiral inunda nuestros hogares en las proyecciones sobre el plano de tornillos, tuercas, casetes de radio, cintas de celofán, cds, etc. Simbólicamente “la espiral es un signo omnipresente en la historia de casi todas las culturas humanas y casi siempre con el mismo significado de símbolo solar, de eternidad, fecundidad o feminidad”⁸².

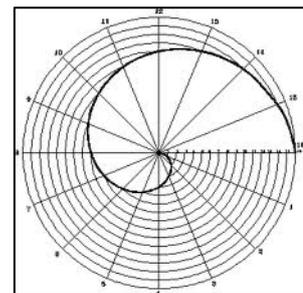


Fig. 25. Espiral logarítmica. Fuente: <http://www.epsilon.com>

2.4. LA HÉLICE AGARRA



Fig. 26. Zarcillo helicoidal de parra. Fotografía Mercedes Torrens Bermejo

La definición que dimos antes para la curva espiral excluye un tipo de curva que emerge de la anterior y comúnmente solemos confundir con la espiral verdadera. Se trata de la hélice. Esta puede ser cilíndrica o cónica. La cilíndrica es aquella que corta con un ángulo constante a las generatrices de un cilindro recto, mientras que la hélice cónica situada sobre un cono sigue la forma paralela del eje longitudinal de éste. Como dice D’ Arcy Thomson:

“cuya curva nunca comienza desde el origen definido, ni cambia su curvatura en el avance. El

⁷⁹ *Ibidem*, p. 173.

⁸⁰ *Ibidem*, p. 174.

⁸¹ *Ibidem*, p. 175.

⁸² WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 206.

engrosamiento espiral de las células vegetales leñosas, la fibra espiral dentro del tubo traqueal de los insectos o la contorsión y enrollamiento de espirales de los troncos trepadores (Fig. 26) no son, matemáticamente hablando, del todo espirales, sino que son roscas o hélices⁸³.

En el mundo inerte podemos observar hélices en remolinos, tornados y huracanes, también en los planetas al girar sobre sí mismos y trasladarse respecto de su estrella. Decíamos anteriormente que la espiral se empaqueta sobre sí misma, pero en el caso de la hélice generalmente lo hace en torno a otro cuerpo. La hélice empaqueta y, sobre todo, agarra. Le ocurre por ejemplo a algunas semillas que al caer describen una sorprendente trayectoria helicoidal. Éstas se agarran al aire y la selección natural ha favorecido esa función para que con ello conquisten otros territorios donde germinar, donde sobrevivir, donde perseverar.



Fig. 27. Trompa de elefante en forma de hélice.
Fuente: <http://www.Casualidaddiseño.blogspot.com>

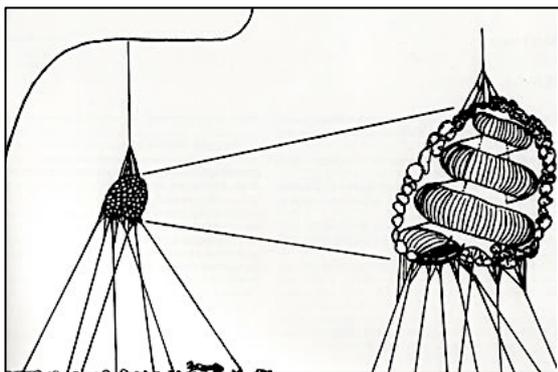


Fig. 28. Refugio hélice de la araña sudafricana. Fuente: CARLES, J. *Los otros arquitectos...*, p.101.

una hélice cónica que cuelga de un solo hilo (Fig. 28). Por último, no dejaremos de citar la doble hélice del ADN.

La hélice también agarra en el mundo culto. Es el caso de los tornillos y las cuerdas constituidas por tejido que se trenza sobre sí mismo confiriéndoles una gran resistencia (Fig. 29).

Dentro del mundo animal nos encontramos que muchas colas y trompas (Fig. 27) se agarran a una rama u otro material describiendo una hélice, incluso insectos como la araña *Achhaearaneaglobispira* sudafricana que construye su nido de seda en forma de burbuja, cubierto de arena, de unos trece mm de largo, de modo que la estructura interna adquiere la forma de



Fig. 29. Maroma encontrada en la bajo cubierta de la catedral vieja de Salamanca. Fuente: Fotografía Mercedes Torrens Bermejo

⁸³ THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento...*, p. 171.

2.5. LA PARÁBOLA RECIBE Y EMITE

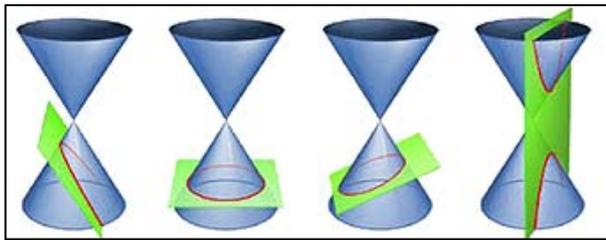


Fig. 30. Curvas cónicas: parábola, circunferencia, elipse e hipérbola. Fuente: <http://phy6.org>

Una parábola es una curva plana resultado de la sección producida por un plano que corta las generatrices de un cono recto. Dependiendo de la inclinación del plano que secciona se obtendrá como resultado otras curvas cónicas como la circunferencia, la elipse o en el caso de que el cono sea doble, la hipérbola (Fig. 30). La parábola también se define como el lugar geométrico de los puntos del plano que equidistan de un punto fijo llamado foco y de una recta fija llamada directriz. Podemos obtener fácilmente una curva parabólica al dirigir de forma oblicua un foco de luz sobre una superficie plana

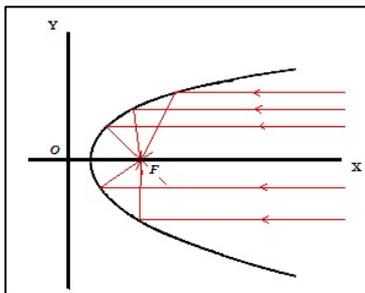


Fig. 32. Principio reflejo parabólico. Fuente: <http://www.conicaspárabola.blogspot.com>

como una pared (Fig. 31). Una de las propiedades de la parábola es que cualquier recta o rayo procedente del infinito y paralelo a su eje de simetría que incida sobre la curva se refleja pasando por su foco (Fig. 32). Del mismo modo, un emisor situado en su foco enviará un haz de rectas o rayos paralelos a su eje hacia el infinito.

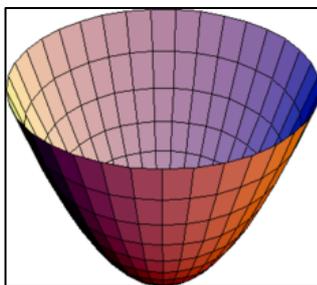


Fig. 34. Paraboloides elíptico de revolución. Fuente: <http://www.es.wikipedia.org>

En el mundo vivo encontramos que la forma parabólica se da con profusión en los pabellones auditivos de muchos mamíferos, como los conejos, los murciélagos, incluso los humanos, etc. En el mundo culto la parábola y sus variantes tridimensionales emergen a la par que la tecnología. Fue el arquitecto Antonio Gaudí uno de los primeros en seleccionar esta curva por su función y belleza incorporándola en sus obras, incluso cuando “las formas más complejas

utilizadas hasta entonces eran variaciones en torno al arco y la bóveda, Gaudí incorporó figuras geométricas mucho más complejas,

Una parábola es una curva plana resultado de la sección producida por un plano que corta las generatrices de un cono recto. Dependiendo de la inclinación del plano que secciona se obtendrá como resultado otras curvas cónicas como la circunferencia, la

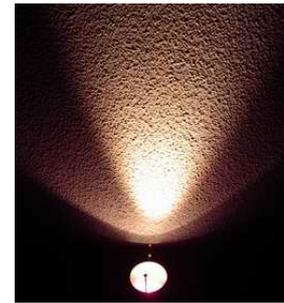


Fig. 31. Parábola de luz focal. Fuente: <http://www.centros5.pntc.es>

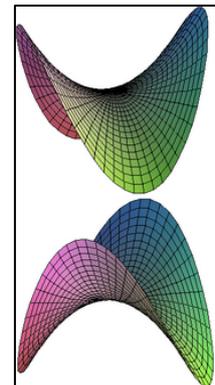


Fig. 33. Paraboloides hiperbólico. Fuente: <http://www.es.wikiaarquitectura.com>

y con esas definió la novedad de sus espacios”⁸⁴. Así, partiendo de las formas naturales y como fruto de su capacidad intuitiva y de análisis empleó por primera vez las superficies regladas y de revolución de la parábola: el paraboloides hiperbólico (“superficie reglada formada por una recta generatriz que avanza, siempre paralela al plano, sobre dos rectas directrices situadas en planos diferentes”⁸⁵) (Fig. 33), y el paraboloides elíptico de revolución (superficie resultante de girar una parábola en torno a su eje de simetría), que hoy en día se emplea en el diseño de las antenas parabólicas (Fig. 34). También empleó el hiperboloides de revolución (“superficie reglada formada por la rotación de una recta generatriz alrededor de otra directriz que no corta y que es paralela a ella”⁸⁶) derivado esta vez de la hipérbola (Fig. 35).

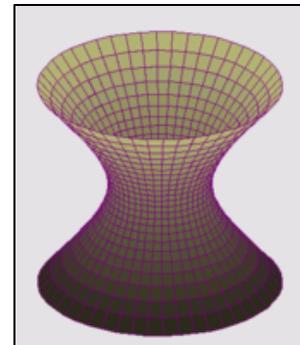


Fig. 35. Hiperboloides de revolución. Fuente: <http://www.es.wikipedia.org>

2.6 LA CATENARIA RESISTE

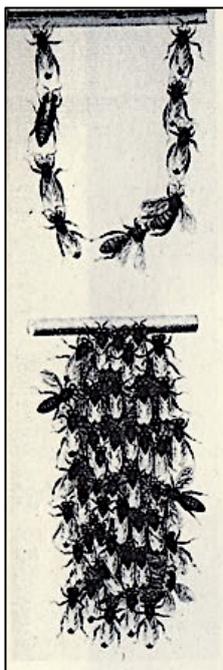


Fig. 36. Catenaria de abejas. Fuente: RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 47.

La catenaria surge por selección natural en el mundo vivo en el modo en que las abejas construyen sus colmenas: “Un grupo de obreras, enganchadas por las patas, forman una cadena que, suspendida en el aire, define un arco catenario inicial. El panal se edifica de arriba abajo, tomando como base formas funiculares”⁸⁷ (Fig. 36). Como fruto de la selección cultural, ya en el siglo XVIII el naturalista François Huber⁸⁸ dijo: “El trabajo arquitectónico está siempre escondido a nuestra mirada por un grupo de abejas de varias pulgadas de espesor. Es esta masa, y en medio de las tinieblas, como se construyen los panales; éstos están fijados, desde su origen, a las bóvedas de las colmenas, y se prolongan más o menos hacia la base de ésta según la época de su formación, y su diámetro aumenta proporcionalmente a su longitud”⁸⁹ (Fig. 37). Hoy en día la catenaria prolifera en el mundo culto en el diseño de hilos, cuerdas, cables y tendidos de alta tensión. Y es que si fijamos una cadena por dos puntos ésta se comparará bajo su propio peso por selección fundamental al

⁸⁴ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma. Espacio, geometría, estructura y construcción*. Barcelona: Lunwerg Editores, 2002, p. 48.

⁸⁵ *Ibidem*, p. 86.

⁸⁶ *Ibidem*, p. 114.

⁸⁷ RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena: de Gaudí a Le Corbusier*. Madrid: Ediciones Siruela, 1998, p. 47.

⁸⁸ François Huber (1750-1831). Naturista suizo considerado como uno de los padres de la ciencia apícola. A pesar de ser ciego, ayudado por su criado François Burnens, dedicó su vida al estudio de las abejas y construyó las primeras colmenas racionales o de cuadros móviles. En 1814 publicó la primera edición de su libro *Nouvelles observations sur les abeilles*.

⁸⁹ RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, pp. 47-48.

someterse a la fuerza de gravedad. “La catenaria es por tanto la curva en la que todas las fuerzas que actúan sobre un punto (su peso y las tensiones debidas a los dos puntos contiguos anterior y posterior) se anulan entre sí. (...) Es la situación de máximo descanso, de mínima rigidez”⁹⁰. De modo que podemos afirmar que la función de la catenaria es resistir.

La inteligibilidad y belleza de la catenaria pronto captaron la atención del genial arquitecto Antonio Gaudí, para quien “la belleza es el resplandor de la verdad; como el arte es belleza, sin verdad no hay arte. Para encontrar la verdad se deben conocer bien los seres de la creación”⁹¹. Pronto seleccionaría la catenaria como elemento indispensable en sus obras.

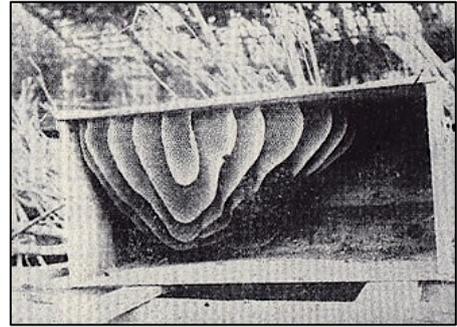


Fig. 37. Panales naturales que conservan la forma de las catenarias. Fuente: RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 47.

2.7 LOS FRACTALES COLONIZAN

El término fractal fue tomado por el matemático Benôit Mandelbrot⁹² en 1975 del adjetivo latino *fractus*, que proviene del verbo *frangere*, que significa romper, crear fragmentos irregulares. Según su propia definición se trata de un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o irregular, se repite a diferentes escalas. Una característica que presentan los fractales es la autosimilitud. “Se dice que un objeto es autosemejante cuando sus partes tienen la misma forma que el todo, pudiendo darse a diferentes escalas y ligeramente deformadas”⁹³. “Son figuras fractales, figuras con un motivo que se propaga a escalas progresivamente reducidas. (...) Iterando un patrón cierto número de veces en escenarios cada vez más pequeños”⁹⁴. Sin duda, la naturaleza crea formas complejas resultado de la combinación y repetición de elementos muy simples. Por tanto, “una forma fractal no es entonces propiamente una forma, sino más bien una familia, una clase de formas”⁹⁵. Todo fractal tiene partes que se repiten si las observamos a la escala adecuada.

⁹⁰ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 244.

⁹¹ RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 46.

⁹² Benoit Mandelbrot (1924-2010) nació en Varsovia, y desde muy joven mostró dotes hacia el estudio matemático y la intuición geométrica. Se interesó por cuestiones como la rugosidad de las superficies y de las grietas que se dan en la naturaleza. Sostuvo que muchos patrones de la naturaleza son tan fragmentados e irregulares que resultan demasiado complejos de analizar mediante la geometría euclidiana. A esta familia de formas la denominó fractales. La geometría capaz de describir los fractales que Mandelbrot desarrolló es la Geometría Fractal.

⁹³ MANDELBROT, B. *La geometría fractal en la naturaleza*. Barcelona: Tusquets Editores, 2000, p. 54.

⁹⁴ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 250.

⁹⁵ *Ibidem*, p. 250.

En el mundo inerte, vivo y culto, los fractales se manifiestan profusamente aumentando con ello su inteligibilidad. Así, por ejemplo, “si observamos el perfil geológico del litoral que marca una frontera natural entre tierra firme y el océano, o en un paisaje esculpido por corrientes de agua, si acercamos el zoom observaremos que en muchos casos las fracturas de materiales generan grietas fractales, y muchos procesos de agregación de partículas que se adhieren unas a otras desarrollan también formas fractales”⁹⁶. También la descarga eléctrica en forma de relámpago adquiere la disposición fractal; así, cualquier trocito de relámpago debidamente ampliado se parece al relámpago entero. Igualmente ocurre con un copo de nieve (Fig. 38). Esta vez se trata de un fractal ordenado que presenta una simetría perfecta adoptando un esquema hexagonal perfecto, puesto que, como ya dijimos, éste (el hexágono) es la forma de empaquetar que menos huecos deja, la más compacta, la más adecuada para ahorrar espacio y material. El hexágono pavimenta. Por eso cuando vemos un paisaje nevado vemos, en realidad, un pavimento nevado. Microscópicamente esta conclusión es irrefutable. Todos estos ejemplos son seleccionados en el mundo inerte por ser una manera estable de crecer y resistir la incertidumbre ambiental.



Fig. 38. Fractal de un copo de nieve.
Fuente:
<http://www.lasupergalaxia.wordpress.com>



Fig. 39. Hoja de helecho. Fuente:
<http://www.dreamstime.com>

La selección natural favorece la emergencia de múltiples casos de fractalidad. Por ejemplo, en mayor o menor medida cualquier árbol presenta una forma fractal. También tenemos un caso de gran exactitud en plantas como los helechos (Fig. 39) o la coliflor (Fig. 40). Y es que en el mundo vivo la fractalidad coloniza, crece.

Favoreciendo esta tendencia expansiva uniforme,

aumentan las posibilidades de intercambio de energía y materiales dentro y fuera del individuo. Aumenta su probabilidad de supervivencia. En el mundo animal la fractalidad externa se da en contados casos, como en algunas medusas y algunas estrellas. Normalmente la fractalidad animal es interior, procurando facilitar el transporte de energía, materia e

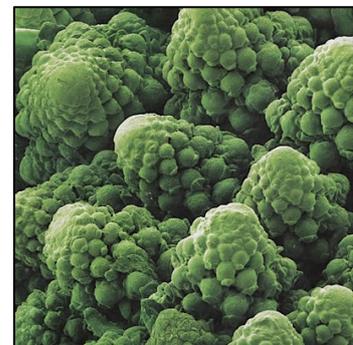


Fig. 40. Coliflor. Fuente:
<http://www.todointeressante.com>

⁹⁶ *Ibidem*, p. 253.

información a cualquier punto de ese volumen interior, invirtiendo la menor cantidad de energía en el proceso y manteniendo al individuo vivo.

En el mundo culto al observar una forma fractal se experimenta gozo mental. Sentimos gozo mental ante lo inteligible y ante lo bello. Puesto que como ya se dijo, la repetición en el espacio es la armonía y el ritmo es la repetición en el tiempo y algo que define a una forma fractal es la repetición armónica y rítmica de sus partes, podemos concluir que percibir fractalidad en ciencia y en arte es una manera de percibir inteligibilidad y belleza, es una manera de experimentar gozo mental y, por tanto, de sentir placer estético.

3. FORMAS NATURALES MATEMÁTICAS FRECUENTES APLICADAS EN LA ARQUITECTURA

“Los artistas, los diseñadores y los arquitectos consideran que la forma sigue a la función. Esta teoría aplicada al medio natural y al medio humano conduce a creer que existe un resultado final, cuando de hecho el proceso mismo es el final, y el objeto de este proceso, la forma en evolución, puede estar cambiando siempre, confiando atrapar la evasiva forma de una perfecta obediencia”⁹⁷. La arquitectura como tecnología que modifica el medio minimizando el impacto ambiental propicia el bienestar de sus moradores para asegurar que la especie sobreviva y evolucione.

3.1. LA ESFERA EN LA OBRA DE LOS ARQUITECTOS ÉTIENNE-LOUIS BOULLÉE Y JOHN SOANE.

“La esfera en el mundo culto protege, rueda, genera, simboliza la perfección, etc.”⁹⁸. En el mundo culto encontramos multitud de ejemplos arquitectónicos en que se aprecia la selección de la simetría circular y de los atributos que con anterioridad se han citado. En este caso analizaremos algunas de las obras de dos arquitectos, uno de finales del siglo XVIII y el otro del primer tercio del XIX.

Étienne-Louis Boullée (1728-1799) nació en París, donde estudió pintura, si bien más tarde siguió los pasos de su padre, arquitecto de profesión. Representó, junto a Claude Nicolás Ledoux y Jean Jacques Lequeu, el grupo de los llamados arquitectos “visionarios”, a caballo entre el Neoclasicismo y el Romanticismo. “Representantes de la arquitectura revolucionaria francesa. (...) Boullée encarna la lucha por las nuevas formas; Ledoux, la búsqueda del nuevo

⁹⁷ WILLIAMS, C. *Los orígenes de la forma...*, p.76.

⁹⁸ WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas...*, p. 182.

orden de los componentes y Lequeu, la última etapa trágica (...), la desesperación, la resignación y la vuelta al pasado”⁹⁹. Encontraremos reminiscencias de la influencia que supuso para Boullée las enseñanzas de quienes fueron sus profesores. Así, para uno de ellos, Jacques-François Blondel “la concatenación y la integración eran tan importantes como la graduación. Abogó por la unidad de las partes, la cual podía ser obtenida por medio de la simetría (Una de las principales bellezas de la arquitectura)”¹⁰⁰. También promulgaba que aunque el principiante debe seguir a los antiguos, el arquitecto maduro tiene que adaptar sus formas a las exigencias modernas y a los materiales disponibles. La arquitectura es creatividad, genio, el arte del gusto”¹⁰¹. Por su parte, otro de sus maestros, Germain Boffrand, “arremetía contra la confusión de líneas y rectas, y elogiaba la noble simplicidad y la calma. (...) Sentía que una estructura debía tener significado y tenía que expresarlo. (...) Este era el nuevo programa de la arquitectura parlante (arquitectura narrativa), una arquitectura que más que apelar al ojo del espectador hablara a su mente. (...) Pasó a aplicar tanto la unidad de la forma como la unidad de carácter”¹⁰². Los escritos de Abbé Laugier, a pesar de no ser arquitecto, también aflorarán notablemente en la obra de los jóvenes arquitectos revolucionarios, entre ellos Boullée. Promulgaba que la arquitectura debía ser considerada susceptible de contener emociones. Para ello el nuevo arquitecto debía trabajar con formas geométricas simples. Finalmente citaremos al profesor Jean-Laurent Le Geay, con quien se dice “empezó el renacimiento del gusto”¹⁰³ y cuyos grabados sirvieron de base también a Giambattista Piranesi¹⁰⁴.

“Los planes visionarios de Boullée perseguían establecer una nueva arquitectura que simbolizara los derechos del hombre”¹⁰⁵. Tras la Revolución Francesa, influenciado por el pensamiento de Montesquieu, Voltaire y Rousseau, en su tratado *Ensayo sobre el arte* y en sus múltiples proyectos hizo poesía de la arquitectura. “El arquitecto debería tender a lo sublime”^{106,107}. Así, encontramos en Boullée una mente culta que busca en la naturaleza y sus

⁹⁹ KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios, Boullée, Ledoux y Lequeu*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980, p. 58.

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 63.

¹⁰¹ *Ibidem*, p. 72.

¹⁰² *Ibidem*, p. 77.

¹⁰³ *Ibidem*, p. 81.

¹⁰⁴ Giambattista Piranesi (1720-1778), arquitecto y grabador italiano, que tanto trabajó en Venecia como posteriormente en Roma, ambos lugares parada obligada del *Gran Tour*, del viaje cultural que hacen los artistas de esta época, motivo por el que estará en contacto directo con el prolífico intercambio de ideas a nivel arquitectónico y arqueológico suscitado. En su obra incorporará como formas de representación la *veduta*, vista topográfica, y el *capriccio*, o fantasía, todo ello combinando elementos ligados a la tradición con los nacidos en la contemporaneidad. Su temática fundamentalmente arquitectónica tenderá a la simplicidad, a la falta de decoración y a la claridad de volúmenes característica del Panteón, de proporciones grandiosas, valorando las masas, las texturas y los contrastes lumínicos. Representará en sus grabados utopías arquitectónicas donde a través de las ruinas arqueológicas romanas definirá una actitud de defensa de la autonomía itálica frente a la helénica. Determinará la arquitectura como un arte intelectual y comercializará su arte de forma independiente de cualquier comitente.

¹⁰⁵ HARTT, F. *Arte. Historia de la pintura, escultura y arquitectura*. Madrid: Akal, 1985, p. 917.

¹⁰⁶ Según HONOUR, H. *Neoclasicismo*. Madrid: Xarait, 1982, p. 175. “La palabra “sublime” en sí misma, originalmente utilizada para designar un estilo oratorio, fue aplicada por “Longinus” a otros tipos de literatura y revivió a finales del siglo XVII para desplazarse en el siglo XVIII hacia las artes visuales y los fenómenos de la naturaleza. En general significa una emoción de temor reverente, que bordea el

formas el sentido de su arquitectura. Como él mismo dijo: “He demostrado que los principios constitutivos de la arquitectura provienen de la regularidad. (...) Sobre la base de observar la naturaleza, mis miras acerca de mi arte se han extendido. (...) El hombre no puede elevarse en su arte más que por medio del estudio de la naturaleza, que es por ella por la que se adquiere la poesía de la arquitectura, que es ella la que verdaderamente constituye el arte y que es la única manera de poder llegar a excitar en nosotros diversas sensaciones al conceder a los monumentos el carácter que les es propio”¹⁰⁸. La arquitectura debe producir el efecto de sus imágenes y domar nuestros sentidos. (...) que proviene de los efectos de los cuerpos y es lo que constituye la poesía”¹⁰⁹. “La composición de masas arquitectónicas es lo importante para él, en otras palabras, la forma arquitectónica”¹¹⁰. En su ensayo asevera: “La simetría gusta – nos dice Montesquieu- porque presenta la evidencia y porque el alma, que busca sin cesar concebir, abraza y consigue sin esfuerzo el total de los objetos que representa. Yo añado que nos gusta porque es la imagen del orden y de la perfección”¹¹¹. “La forma de la esfera perfecta,

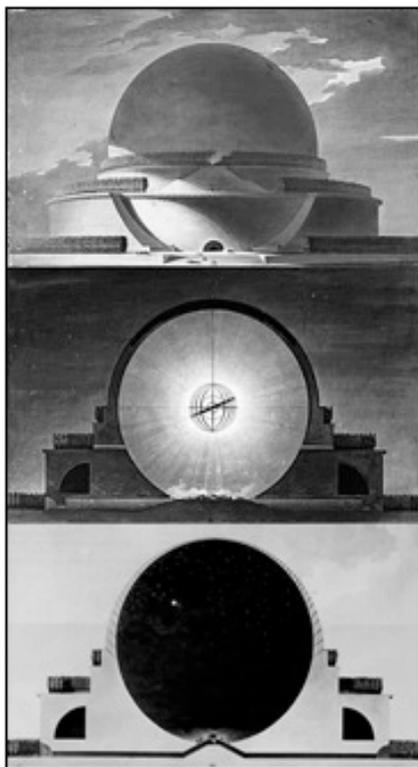


Fig. 41. Cenotafio a Newton. Fuente: KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, p. 96.

por su magnífica belleza, refleja las convicciones básicas del artista. (...) Encontró posibilidades nuevas en todos los sólidos regulares, (...) pues cautivaban por su simplicidad, por su regularidad, y por su reiteración. (...) La geometría elemental como base del proyecto arquitectónico halló en él su paladín”¹¹². Boullée considera las formas matemáticas en su arquitectura como un medio para experimentar el gozo mental. “La variedad nos agrada. (...) De todas formas, los objetos se reproducen bajo distintas apariencias por medio de la variedad. De aquí se deduce que este medio sirve para reanimar el alma ofreciéndole nuevos placeres”¹¹³. Buscó no sólo nuevas formas, sino descubrir su efecto artístico. “Analizando las cualidades específicas de los sólidos geométricos, he intentado descubrir cómo éstos pueden congobernarnos. (...) Todo el efecto proviene del

terror, inspirada en los fenómenos naturales. Pero también se aplicaba a las obras artísticas que expresaban una grandeza sobrehumana, si bien cargando más el acento siempre en el noble y excelso que en lo turbulento o sobrenatural. La copiosa literatura en torno a esta cuestión nace del deseo típicamente neoclásico de deducir reglas de lo que está por encima de las reglas, de definir lo indefinible”.

¹⁰⁷ *Ibidem*, p. 28.

¹⁰⁸ BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte*. Int. de C. Sambricio. Barcelona: Gustavo Gili, 1985, p. 143.

¹⁰⁹ *Ibidem*, p.30.

¹¹⁰ KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, p. 112.

¹¹¹ BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte...*, p. 58.

¹¹² KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, pp. 112-113.

¹¹³ BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte...*, p. 58.

conjunto, y no de los detalles. (...) La distribución de las masas, la iluminación, las dimensiones monumentales y el énfasis en el carácter del edificio. Las masas tienen que ser grandes, y llenas de movimiento, el carácter depende de ellas. (...) Se consideraba el inventor de la arquitectura de las sombras y de las tinieblas”¹¹⁴. Al observar los antiguos monumentos funerarios descubre esa sensación sublime que intenta plasmar en sus obras empleando el claroscuro. Así se decía a sí mismo: “*Fiat Lux*, y según tu voluntad, el templo se verá resplandeciente de luz o no será más que la vivienda de las tinieblas. (...) A continuación ya no me ocuparé de otra cosa que de la arquitectura”¹¹⁵.

La mayoría de los proyectos que diseñó no llegaron a realizarse al ser demasiado colosales, de ahí que su obra se tilde de “utópica”. Un buen ejemplo de ello fue el denominado *Cenotafio para el físico Isaac Newton*, que diseñó en 1784 (Fig. 41). En él “se

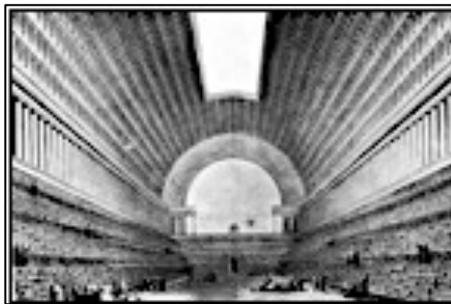


Fig. 42. Proyecto de la Biblioteca Nacional. 1785. Fuente: BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte...*, p. 115.

pone de manifiesto la tensión espacial. El sarcófago en relación con la bóveda es tan diminuto, (...) que la sala se convierte en un basto campo magnético atravesado por innumerables líneas de fuerza. Por una idea de composición extraordinariamente simple, el vacío vive. (...) Tenemos el irreconciliable contraste entre lo finito y lo infinito”¹¹⁶. Inspirado en el Panteón romano¹¹⁷, basa su concepción en la simetría circular empleando una gran

bola de unos 150 metros de diámetro que aparece semienterrada, pues como el mismo decía: “Habiendo determinado caracterizar la estancia de la muerte con una entrada de cementerio, me llegó el pensamiento de la arquitectura enterrada”¹¹⁸; tal vez esta idea la tomó observando “las arquerías con la base hundida en la tierra para cargar el acento en la sencillez semicircular”¹¹⁹ de los grabados de Piranesi. Dicha esfera macla una plataforma circular cubierta de cipreses, pretendiendo

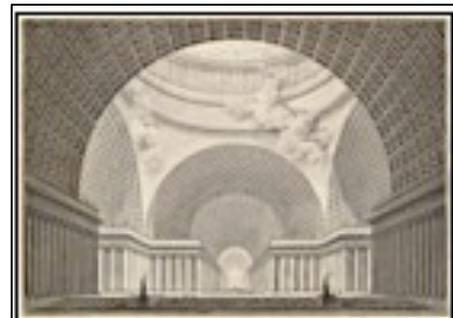


Fig. 43. Proyecto de la Iglesia Metropolitana, 1780-1781. Fuente: KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, p. 103.

¹¹⁴ KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, pp. 112-113.

¹¹⁵ BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte...*, pp. 81-82.

¹¹⁶ KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, p. 109.

¹¹⁷ Panteón de Agripa (templo de todos los dioses) que gobernó Roma en el año 27 a.C. y posteriormente, sobre los restos del mismo, construyó Adriano el templo actual. Se trata de una construcción en que el uso del hormigón y la coronación de la cúpula mediante óculo, son métodos pioneros del momento. La cúpula evocaba la forma esférica del universo y la luz cenital que entraba por el óculo, la luz enviada por los dioses. En el interior la planta circular junto a la cúpula facilitan la centralización del espacio, todo ello unido a las grandes dimensiones del edificio recrean la sensación cosmológica.

¹¹⁸ BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte...*, p. 112.

¹¹⁹ HONOUR, H. *Neoclasicismo...*, p. 94.

representar la sensación de tristeza extrema producida por las sombras de los árboles proyectadas sobre la tierra a la luz de la luna. En su interior, sobre un basamento escalonado, se alza el sarcófago de Newton, iluminado por la luz que penetra a través de las perforaciones



Fig. 44. Proyecto reconstrucción La Opera de París. Fuente: KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios...*, p. 98.

realizadas conforme a la disposición que los astros presentan en la naturaleza, de modo que, “los efectos de esta imagen están producidos por la naturaleza”¹²⁰.

También destacan entre sus proyectos el de la Biblioteca Nacional (Fig. 42), la reconstrucción de la Iglesia Metropolitana (Fig. 43) o la Opera de París (Fig. 44), entre otros. Todos ellos elocuentemente muestran de su perseguida simplicidad y solemnidad. Sus diseños aún hoy siguen siendo inspiración para muchos arquitectos.

John Soane (1753-1837), arquitecto de vocación, claro exponente de la arquitectura Europea de la Ilustración y del primer tercio del siglo XIX, está considerado uno de los grandes genios de la arquitectura británica y “precursor del historicismo ecléctico”¹²¹.

Estudió en la *Royal Academy of Art*, ganando en 1772 una beca con la que pasaría dos años de su juventud en Italia, a modo de Grand Tour, suerte de experiencia iniciática para su futuro como arquitecto, conociendo a “personalidades y artistas como Piranesi, del que se convertiría en ferviente coleccionista, el arte italiano clásico y renacentista, y la luz meridional”¹²².

Soane empleará los diversos elementos arquitectónicos de las distintas épocas, combinándolos y creando un estilo integrador, como el mismo dijo, “una unión de las artes”¹²³, al relacionar el clasicismo con el gótico. “Cualesquiera que fuesen sus modelos, supo cómo usar los diversos elementos para expresar crecimiento, movimiento y unidad”¹²⁴. Traspasará las fronteras de la teoría y de la práctica fusionando ambas ramas en su quehacer. Será, pues, un buen ejemplo del concepto que definía, según Alberti en su *De re aedificatoria*, a un buen artista: “el artista debe dominar los principios fundamentales de su arte por medio de la razón; debe estudiar las mejores obras de los artistas de las generaciones anteriores a la

¹²⁰ *Ibidem*, p. 130.

¹²¹ KAUFMAN, E. *La arquitectura de la ilustración. Barroco y postbarroco en Inglaterra, Italia y Francia*. Barcelona: Gustavo Gili, 1974. p.53.

¹²² María LÓPEZ-FANJUL DIEZ DEL CORRAL. “Sir John Soane, arquitecto de colecciones. Su Casa-museo”, *Museos*, nº 3 (Madrid: 2007), p. 125. Disponible en: <http://www.mcu.es/museos/MC/MES/index.html>. (Consulta 20/08/2013).

¹²³ *Ibidem*, p. 123.

¹²⁴ KAUFMAN, E. *La arquitectura de la ilustración...*, p. 53.

suya; sólo así estará capacitado para formular preceptos relativos a la práctica de las artes que, sin embargo, debe ser combinada con la experiencia”¹²⁵.

Debido a los cambios de gusto, urbanísticos y la huella de las guerras quedan pocos restos de su legado. Sin embargo, aún podemos admirar algunos de ellos como su Casa Museo y el *Stock Office* del Banco de Inglaterra.

En sus arquitecturas podemos apreciar la atmósfera creada por el especial tratamiento de la luz, “*lumiéremystérieuse*”¹²⁶, con las que intentará imitar, gracias al empleo de vidrieras y demás estructuras, a la de las catedrales góticas. Cada una de sus obras supone un buen ejemplo, fruto de la selección cultural en la que la luz generadora del espacio unificará las formas relacionando el microcosmos con el macrocosmos. Se trata de espacios creados como seres vivos, donde el uso de la geometría en cúpulas, óculos, ventanas semicirculares sobre segmentos de arco y bóvedas cruzadas son el resultado de la abstracción del círculo o la esfera y, por tanto, de la simetría circular que tanto prolifera en la realidad, como hemos referido con anterioridad. Estas formas, a modo de ojos esféricos, dejan pasar la luz dirigida, marcando de una manera muy evidente una predominante tendencia cenital.

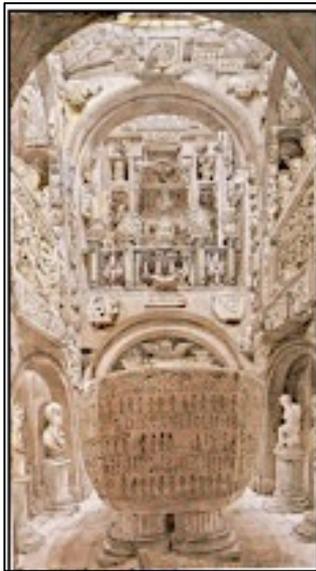


Fig. 45 .*The Dome*. La Cúpula balaustrada y la Cripta. Acuarela de C. J. Richardson. Fuente: VV. AA. *John Soane...*, p. 31.

La casa-museo donde vivió y “en la que trabajó desde 1812 hasta su muerte”¹²⁷, situada en Lincoln’s Inn Fields en Londres será “el primer museo de arquitectura concebido como tal”¹²⁸. Aloja las múltiples piezas que coleccionó a lo largo de su vida: antigüedades de las culturas griega, romana y egipcia, planos, maquetas, pinturas, esculturas, grabados de Piranesi y una nutrida biblioteca, etc., “aunque sin proponérselo lo que más coleccionó fue la luz”¹²⁹. Supone un muestrario de posibilidades arquitectónicas, “una academia para el estudio de la arquitectura sobre principios que son, al mismo tiempo, científicos y filosóficos”¹³⁰, “inspirada en Piranesi”¹³¹. El corazón del museo será *The Dome*, una estancia balaustrada que descansa sobre la Cripta. En realidad se trata de una linterna circular que simula una cúpula por la que entra la luz, que como él mismo decía, “surge a

¹²⁵ BLUNT, A. *La teoría de las artes...*, p. 23.

¹²⁶ VV. AA. *John Soane*. Londres: AcademyEditions/St. Martin’s Press, 1983, p. 31.

¹²⁷ KAUFMAN, E. *La arquitectura de la ilustración...*, p. 55.

¹²⁸ María LÓPEZ-FANJUL DIEZ DEL CORRAL, “Sir John Soane...”, p. 123.

¹²⁹ *Ibidem*, p. 125.

¹³⁰ *Ibidem*, p. 123.

¹³¹ KAUFMAN, E. *La arquitectura de la ilustración...*, p. 55.

menudo desde fuentes desconocidas”¹³² (Fig. 45). Concebida a modo de panteón sagrado, reflejo de su formación en la tradición renacentista, que afirma el arte griego y romano como ideal de belleza universal, y sobre el cual Soane decía: “en el centro del edificio hay una cúpula bajo la cual hay otra de diámetro menor que deja un espacio para el paso de la luz, a modo de la *Lumieremysterieuse*”¹³³. Aloja múltiples piezas de su colección entre las que destaca el sarcófago original del faraón Seti I.

Uno de los ejemplos arquitectónicos definitorio de su arquitectura es *The breakfast room* (Fig. 46), donde destaca la bóveda rebajada de doble arista, con espejos cóncavos en las esquinas y una gran linterna de cristal tintado, “la vista desde esta habitación hacia el Patio monumental y hacia el museo, los espejos en el techo, el cristal reflectante, combinado con una variedad de trazados y soluciones generales en el diseño y decoración del espacio limitado, presentan una sucesión de esos famosos efectos que constituyen la poesía de la arquitectura”¹³⁴. Estas salas ejemplifican también la cara y la cruz que representan el

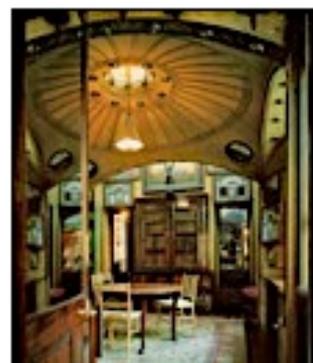


Fig. 46. *The breakfast room*, Lincoln's Inn Fields. (Soane Museum). Fuente: VV. AA., *John Soane...*, p. 8.

Neoclasicismo y el Romanticismo en la Historia del Arte pues, aunque es clásico el origen de las piezas, su exposición aglomerada, su evocación casi de ruina y dramática iluminación nos conducen al vértigo romántico de los delirios de Piranesi”¹³⁵.

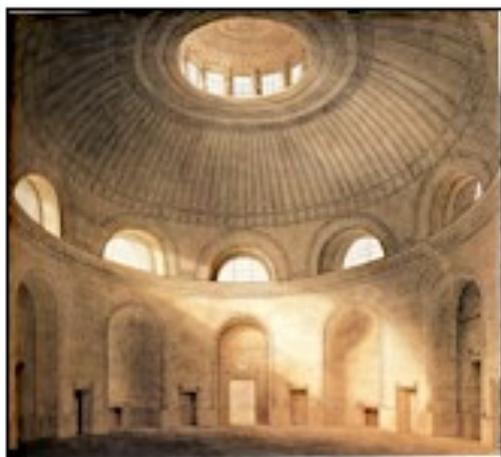


Fig. 47. *La Rotonda*. Acuarela de J. M. Gandy, 1798. Fuente: VV. AA. *John Soane...*, p. 73.

El Banco de Inglaterra, en el *Theadneedle Street*, fue construido por Soane entre 1792 y 1823, y supuso su obra más importante. Paradigma de la composición diáfana y utilitaria, curiosamente sirvió de modelo en la representación ruinosas que Soane encargó al pintor Joseph Michel Gandy, intentando imitar una vez más los edificios de la Antigüedad semiderruidos que tanto había admirado en las obras de Piranesi, en esa tendencia romántica de sugerir el

paso del tiempo, donde siempre veremos el edificio como algo bello, evocando la nostalgia por el pasado y lo sublime, permitiéndonos imaginar el esplendor vivido. Posteriormente Gandy pintaría la parte más emblemática del Banco, una

¹³² María LÓPEZ-FANJUL DIEZ DEL CORRAL, “Sir John Soane...”, p. 127.

¹³³ KAUFMAN, E. *La arquitectura de la ilustración...*, p. 54.

¹³⁴ VV. AA. *John Soane...*, p. 68.

¹³⁵ María LÓPEZ-FANJUL DIEZ DEL CORRAL, “Sir John Soane...”, pp. 127-128.

vez construida. Se trata de *La Rotonda* (Fig. 47), “donde Soane extasiado por los efectos cavernosos y opresivos de los interiores copulados de Piranesi recrea la arquitectura romana despojada de todo detalle innecesario, forjada en sus formas básicas y en toda su pureza geométrica”, diseñando así un espacio circular, funcional y diáfano, coronado por la gran cúpula por la que penetra la luz natural a través de linternas y lunetos esparciéndose de forma cenital, reforzando la captación de su belleza y proporcionalidad.

3.2. EL HEXÁGONO EN LA OBRA DE FRANK LLOYD WRIGHT, NICHOLAS GRIMSHAW Y OFIS ARCHITECTS.

Frank Lloyd Wright (1867-1959), arquitecto americano nacido en Wisconsin, inició su carrera en el taller de Sullivan en Chicago, pero pronto se independizó. Se le considera el primer clásico de la arquitectura moderna americana, conocido por su arquitectura orgánica y funcional. “Fue el único en llevar a la práctica los postulados de las escuelas que habían impulsado la reforma del diseño arquitectónico antes y después de su nacimiento, como el movimiento Arts and Crafts, el esteticismo de fin de siglo y las diversas corrientes Art Nouveau. (...) Estas escuelas promovían el diseño como progreso social para todos, aborrecían la ornamentación superflua, y aspiraban a la obra de arte unitaria o Gesamthunswerk”¹³⁶. El organicismo, aspecto clave de su ideario arquitectónico, “hará de la naturaleza arquitectura y de la arquitectura naturaleza”¹³⁷. Su obra bien puede representar el resultado de la selección cultural que surge al final del proceso evolutivo. “En él persisten dos tendencias distintas: una hacia lo racional y geométrico, y otra hacia lo irracional y lo orgánico. (...) Son dos maneras de abordar el entorno”¹³⁸. Efectivamente “el organicismo de Wright le lleva a fijarse en los ritmos y formas de la naturaleza. (...) Al concebir la naturaleza como reflejo de lo divino se le englobará dentro de los seguidores del transcendentalismo norteamericano. (...) Su propósito fue integrar sus edificios en la naturaleza en un sentido no sólo simbólico, sino también espiritual, empleando materiales vernáculos para tal fin”¹³⁹. “La reverencia que Wright siente por la naturaleza le ha llevado a conseguir en el efecto general una armonía que entronca directamente con el pintoresquismo de los primeros románticos”¹⁴⁰. Consideró la arquitectura como una culminación de las construcciones animales, diciendo: “El construir sobre la tierra es tan natural para el hombre como para los otros animales, aves o insectos. En la proporción

¹³⁶ FILLER, M. *La arquitectura moderna y sus creadores. De Frank Lloyd Wright a Frank Gehry*. Barcelona: Alba Editorial, 2012, p. 46.

¹³⁷ PRECKLER, A. M. *Historia del arte universal de los siglos XIX y XX. Arquitectura, pintura y escultura del siglo XIX. Arquitectura del siglo XX. Tomo I*. Madrid: Editorial Complutense, 2003, p. 515.

¹³⁸ GIEDION, S. *Espacio, tiempo y arquitectura. Origen y desarrollo de la nueva tradición*. Barcelona: Editorial Reverté, 2009, p. 413.

¹³⁹ RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 116.

¹⁴⁰ ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1990, p. 9.

en que él se distinguía de los otros animales, sus construcciones se convirtieron en lo que llamamos arquitectura”¹⁴¹. Su obra reflejó una actitud ecológica de respeto por el entorno, considerando al hombre un eslabón en la cadena de la evolución natural. Como él mismo dijo: “El hombre realiza una tarea positiva en la creación, siempre que levanta un edificio sobre la tierra, bajo la faz del sol. Si ese edificio tiene algún derecho de existencia, debe ser éste: que él también no sea más que un rasgo del paisaje, como las rocas, los árboles, los osos o las abejas de la naturaleza a la que debe la vida”¹⁴². Y testifica la aprehensión humana de las funciones percibidas y heredadas en las construcciones animales para posteriormente mediante la creatividad buscar nuevas soluciones siempre en sintonía con lo anterior. “Por naturaleza el hombre deseaba construir, así como los pájaros hacían mientras tanto sus nidos, los insectos edificaban sus ciudades y los animales buscaban sus cuevas, hacían sus guaridas o cavaban en el suelo. Y por medio de este deseo, la arquitectura se convirtió en la mayor prueba de la grandeza del hombre, de su derecho a la vida, a heredar la tierra”¹⁴³. Para Wright, la casa era un refugio, un cobijo al que el animal humano podía retirarse como si fuera una cueva, protegida de la lluvia y del viento y de la luz; en ella podía agazaparse con total seguridad y relajación, como un animal en su guarida¹⁴⁴.

La forma hexagonal de las colmenas de las abejas, insectos sociales por antonomasia, no pasó desapercibida para un organicista como Wright. En el proyecto de casa para La Colonia de verano de Lake Tahoe (1922), sigue su propio modelo/diseño “de planta alargada”¹⁴⁵ (Fig. 48). A partir de una sala central, en este caso de planta hexagonal, se extienden en ambos extremos otras dos salas, también de planta hexagonal, algo más pequeñas y levemente elevadas sobre el terreno. Una de ellas haría las veces de cocina y la otra de dormitorio principal. En las intersecciones romboidales resultantes se alojarían un baño y un vestíbulo respectivamente. Aquí tenemos un buen ejemplo en que la forma hexagonal, como dijimos, es la más adecuada para ahorrar espacio.

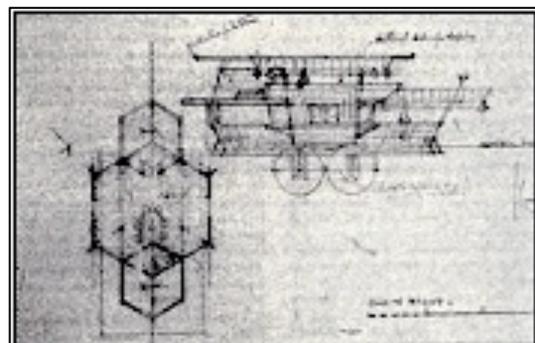


Fig. 48. Proyecto de casas en La Colonia de verano de Lake Tahoe. (1922). Fuente: RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 116.

¹⁴¹ *Ibidem*, p. 116.

¹⁴² *Ibidem*, p. 117.

¹⁴³ *Ibidem*, p. 116.

¹⁴⁴ GIEDION, S. *Espacio, tiempo y arquitectura...*, p. 417.

¹⁴⁵ *Ibidem*, p. 401.

The Honeycomb House, también conocida como la Casa Hanna, fue edificada por Wright entre 1935-1937 para el matrimonio Paul y Jean Hanna en Standford, California (Fig. 49). La búsqueda de un espacio flexible, tanto en la planta como en el interior, se consigue

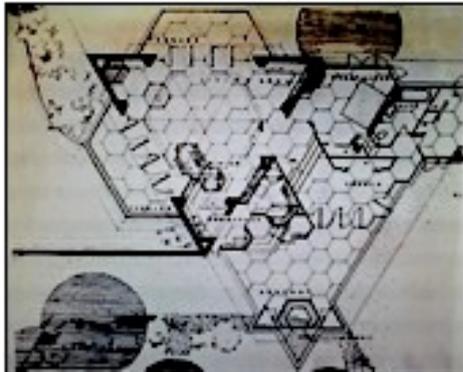


Fig. 49. Planta de la Casa Hanna. Fuente: BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright, 1867-1959...*, p. 62.

mediante un diseño basado en una “malla hexagonal que se abre en abanico en un mostreado de movimiento reflejo”¹⁴⁶, pues “la trama hexagonal se adapta al movimiento humano mucho mejor que las formas rectangulares”¹⁴⁷. Comparada según Wright con “una sección transversal de colmena”, mantenía “que su flujo y movimiento” dan una flexibilidad al espacio que le permite abrirse y cerrarse, expandirse y contraerse, y, finalmente, casi retornar a sí mismo sobre una curva

continua”¹⁴⁸. “Y entendí que en realidad era la propia casa la que nos hacía tomar conciencia de la curva pura del terreno, que en cierto sentido sus formas multiestratificadas y discretas conferían significado y definición a los contornos a partir de los cuales se levantaba”¹⁴⁹. Muchos detalles decorativos y utilitarios de la vivienda mantienen la configuración hexagonal del edificio, desde la chimenea, hasta los cojines, etc. (Fig. 50). Ésta fue otra de las contribuciones estilísticas de Wright, el cual “retomó esos elementos que



Fig. 50. Salón de la Casa Hanna. Fuente: BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright, 1867-1959...*, p. 63.



Fig. 51. Comedor del Colegio Jiju. Fuente: BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright, 1867-1959...*, p. 51.

estaban en todas partes, inadvertidos, elementos surgidos de soluciones puramente utilitarias, y descubrió en esa materia prima su expresividad oculta. (...) Puso de manifiesto su fuerza simbólica como hace un poeta al desvelar ese contenido interno de sensibilidad que tienen para él y para nosotros los árboles, las montañas, los ríos y los lagos de su tierra natal”¹⁵⁰.

El Colegio JiyuGakuen (Fig. 51), situado en el centro de Tokio (Japón), fue creado por Wright en 1921, siguiendo la

¹⁴⁶ ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright...*, p. 151.
¹⁴⁷ ZEVI, B. *Frank Lloyd Wright*. Barcelona: Gustavo Gili, 1988, p. 174.
¹⁴⁸ ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright...*, p. 181.
¹⁴⁹ GIEDION, S. *Espacio, tiempo y arquitectura...*, p. 415.
¹⁵⁰ *Ibidem*, p. 407.

ergonomía infantil. Como el mismo nombre de la escuela promulga, “espíritu libre”, Wright y su socio, Arata Endo, concibieron un lugar sencillo y feliz para niños felices. Tal como Wright dijo: “la fundadora de la escuela, Madame Hani, fue una inspiración para todos nosotros. (...) Entendía y amaba los ideales culturales de su pueblo y sabía de la importancia de inculcar el amor a la belleza en los niños que le habían sido confiados a su cuidado”¹⁵¹. El diseño interior y exterior del edificio, así como su decoración, siguieron una vez más el patrón hexagonal que se repite colonizando el espacio.

Frank Lloyd Wright terminaría también para la ciudad de Tokio el Hotel Imperial entre 1915-1922 (Fig. 52). En él pondría en práctica un sistema de cimientos y estructuras portantes totalmente novedoso hasta el momento. Su finalidad era combatir el efecto de los posibles movimientos sísmicos tan habituales en la zona. Empleó el hormigón armado, la piedra y el ladrillo como principales materiales, pero no dejó de lado su constante búsqueda de la forma hexagonal en múltiples detalles y estructuras.



Fig. 52. Comedor a la “PeacockRoom” del Hotel Imperial. Fuente: BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright 1867-1959...*, p. 47.



Fig. 53. Celdillas almohadilladas. EdenProject. Fuente: PEARSON, D. *Arquitectura orgánica moderna...*, p. 189.

biomas de Eden son una serie conectada de cúpulas de hasta sesenta metros de altura, construidas con células hexagonales cuyas diagonales alcanzan los nueve metros (Fig. 53). Las cápsulas geodésicas, como se explicó anteriormente, son una aproximación poliédrica de la esfera,

Nicholas Grimshaw (Hove, Gran Bretaña, 1939) es uno de los principales miembros del estudio arquitectónico Nicholas Grimshaw&Partners, que con frecuencia lleva a cabo proyectos arquitectónicos ligados con el desarrollo sostenible. Así, EdenProject consiste en un complejo medioambiental inspirado en la naturaleza y situado en la región de Cornualles. “Los

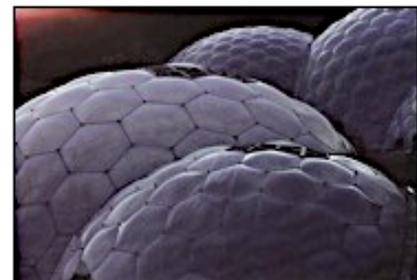


Fig. 54. EdenProject. Fuente: PEARSON, D. *Arquitectura orgánica moderna...*, p. 189.

¹⁵¹ BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright, 1867-1959. Construir para la democracia*, Madrid: Alianza Editores, 2004, p. 51.

poseen las mismas funciones que las cúpulas pero con la ventaja de ser livianas, versátiles, fácilmente desmontables y ampliables. Las células de Eden son infladas con aire y están compuestas por finas láminas transparentes (Fig. 54). Contienen plantas procedentes de dos regiones climáticas; el objetivo del proyecto es explotar las relaciones entre las plantas y los seres humanos, a través de la ciencia y la educación”¹⁵²

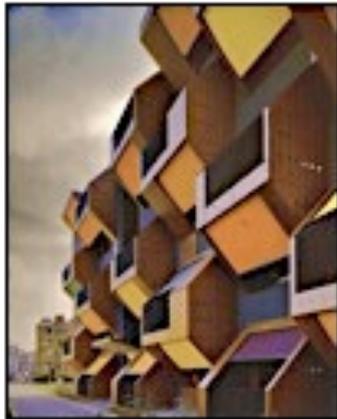


Fig. 55. The Archeseum, perspectiva, 1956. Fuente: DAL. *Frank Lloyd Wright...Apéndice dibujos y fotografías.*

El Estudio OFIS Architects (OFIS Arhitekti), constituido por los jóvenes arquitectos eslovenos Rok Oman (1970) y Spela Videcnik (1971), lleva a cabo en 2006 el proyecto de Apartamentos Izola en Eslovenia (Fig. 55). La idea pretendía crear un complejo de treinta viviendas de bajo coste para jóvenes, para lo que se ideó una solución funcional y flexible maximizando la superficie habitable. Inspirándose en la forma hexagonal de los panales de la abejas, lograron crear una solución fácilmente



Fig. 56. Detalle de los apartamentos Izola. Fuente: BAHAMÓN, A. *Analogías...*, p. 131.

adaptable al entorno por su economía de medios y ahorro de espacio, en relación estrecha con el clima mediterráneo y la luz (Fig. 56).

3.3 LA ESPIRAL Y LA HÉLICE EN LA OBRA DE LOS ARQUITECTOS FRANK LLOYD WRIGHT, PT BAMBOOPURE BALI Y PETER KARLE

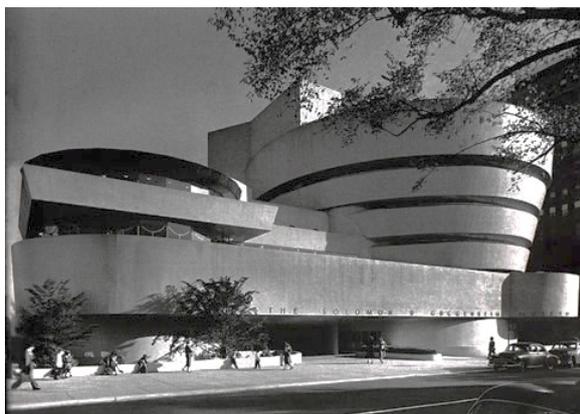


Fig. 57. Perspectiva del Museo Guggenheim, 1956. Fuente: DAL, F. C. *Frank Lloyd Wright...*, Apéndice de dibujos y fotografías.

La forma helicoidal y su función empaquetadora y de agarre es buscada en la selección cultural por el arquitecto Frank Lloyd Wright en su obra más creativa y simbólica, en la que volcó todo cuanto había aprendido a lo largo de su vida: el Museo Guggenheim emplazado en la Quinta Avenida de New York, cuya construcción se prolongó a lo largo de diecisiete años, retrasándose su inauguración hasta 1959 (Fig. 57). En él “la

¹⁵² PEARSON, D. *Arquitectura orgánica moderna. Un nuevo camino para el diseño urbano rural*. Barcelona: Art Blume, 2002, p. 186.

expresión integral de la forma circular es absolutamente dominante”¹⁵³. Se compone de un volumen principal que desarrollado verticalmente ocupa un extremo del solar y está destinado a albergar el área expositiva, de otro secundario, de menor tamaño, que denominado *Monitor* está reservado a usos administrativos, y de una plataforma horizontal elevada que unifica el conjunto (Fig. 58).

El volumen principal “posee una forma portentosa, semejante a una cáscara, *streamlined*, en el collar mediano que envuelve y compone volúmenes emergentes, toscamente modelada, sin juntas, fijada en el suelo de Manhattan a modo de las ilustraciones de Matsushita Hokusai, uno de los artistas predilectos de Wright”¹⁵⁴.

Se trata de una hélice inapropiadamente denominada “espiral invertida que denuncia e ilumina su discontinuidad sin límites; atornillándose al plano que parece sostenerla, interrumpe la Babel que la circunda, un trozo de tierra sobre la que se eleva como una potente metáfora, teatro de la urbe que se transforma en teatro de vida”¹⁵⁵. El edificio es una unidad, un organismo continuo que crece, desarrollándose desde dentro hacia fuera, “una voluta que gira en torno al vacío interno y que junto a la envoltura exterior no poseen ni representan identidades diversas y contrapuestas (...) sino que expresan una dinámica que las une y las transforma conjuntamente, puesto que el espacio no es sino orgánica relatividad”¹⁵⁶ (Fig. 59).

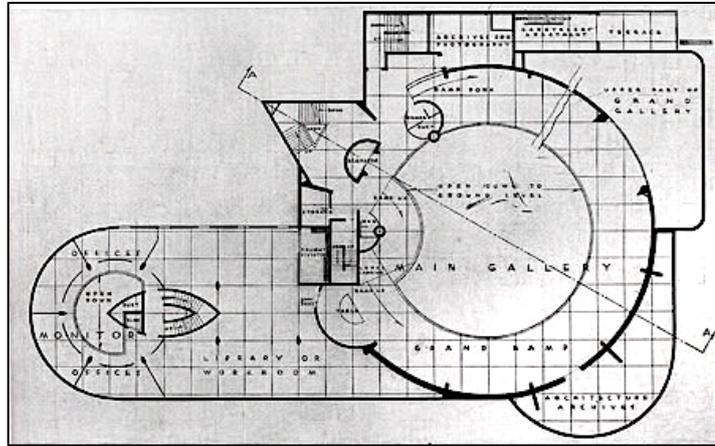


Fig. 58. Planta del Museo Guggenheim, 1956. Fuente: DAL, F. C. Frank Lloyd Wright..., Apéndice de dibujos y fotografías.

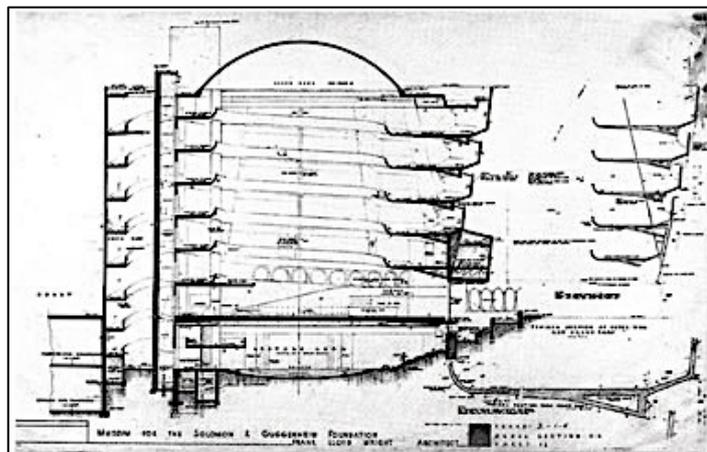


Fig. 59. Alzado del Museo Guggenheim, 1956. Fuente: DAL, F. C. Frank Lloyd Wright..., Apéndice de dibujos y fotografías.

¹⁵³ ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright...*, p. 182.

¹⁵⁴ ZEVI, B. *Frank Lloyd Wright...*, p. 248.

¹⁵⁵ DAL, F. C. *Frank Lloyd Wright y el museo Guggenheim. El tiempo y el arquitecto*. Madrid: Adaba Ediciones, 2011, p. 9.

¹⁵⁶ *Ibidem*, p. 67.

El sentido de extensión infinita del espacio se une a la sensación de suspensión del tiempo. Según Wright, “lo que caracteriza al edificio es esta cualidad extraordinaria de reposo absoluto conocida sólo en movimiento, un reposo completo similar al que produce una ondulación suave, que nunca se rompe, que nunca ofrece un objetivo a la visión”¹⁵⁷. La hélice cónica invertida que aumenta su diámetro a medida que asciende, “describe seis evoluciones completas cuyos diámetros internos disminuyen según se sube”¹⁵⁸, “una voluta continua cuyo diámetro se restringe progresiva y regularmente hacia la cúspide”¹⁵⁹ (Fig. 60). La simetría circular es una constante en todo el edificio desde la rotonda hasta el diseño del suelo, pasando por el gran lucernario, cuya forma hexagonal adoptada por el entramado regular de “horquillas para el pelo”¹⁶⁰, conforma la cúpula reloj con doce velas abasteciendo de luz natural al recinto (Fig. 61).



Fig. 60. Rampa del Museo Guggenheim, 1956. Fuente: DAL, F. C. *Frank Lloyd Wright...*, Apéndice de dibujos y fotografías.

Wright concibió este espacio de modo que el visitante pudiera “subir con el ascensor hasta el nivel superior de la rampa e ir descendiendo poco a poco por ésta alrededor del patio abierto –teniendo siempre la opción de subir o bajar con el ascensor desde todos los niveles de la rampa- para, por último, encontrarse al final de la exposición en el nivel más bajo, cerca de la salida”¹⁶¹. De este modo se conseguiría facilitar la visión ininterrumpida, a modo de

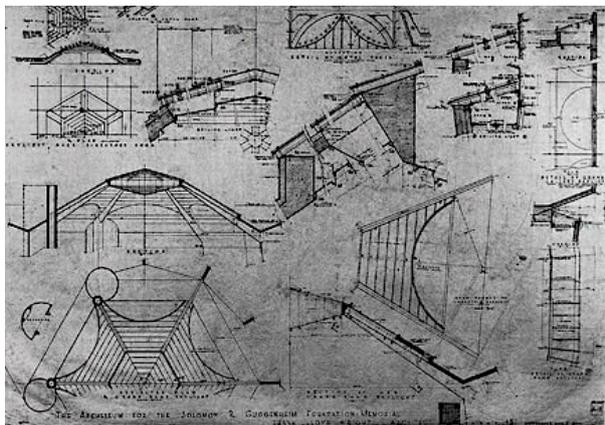


Fig. 61. Diseño de la Cúpula del Museo Guggenheim, 1956. Fuente: MACCARTER, R. *Frank Lloyd Wright Architect...*, p. 312.

fotogramas de una película, de las obras expuestas. Así, Wright afirmó que “las pinturas serán expuestas iluminadas por la luz natural, suspendidas en la atmósfera creada en torno a cada una de las obras, gracias a la dilatación espacial producida por las paredes inclinadas y continuas, trazadas por las volutas externas en espiral, que deben acompañarlas”¹⁶². Originalmente la rotonda iba acompañada de otra más pequeña y de una torre para albergar estudios

¹⁵⁷ ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright...*, p. 184.
¹⁵⁸ DAL, F. C. *Frank Lloyd Wright y el museo Guggenheim...*, p. 71.
¹⁵⁹ *Ibidem*, p. 29.
¹⁶⁰ *Ibidem*, p. 80.
¹⁶¹ GÖSSEL, P. *Frank Lloyd Wright*. Nuremberg: Taschen, 1994, p.151.
¹⁶² DAL, F. C. *Frank Lloyd Wright y el museo Guggenheim...*, p. 29.

para artistas y apartamentos. Hoy en día este Museo está considerado como uno de los hitos arquitectónicos del siglo XX, así como uno de los edificios más bellos.



Fig. 62. Estructura de la techumbre de la Green School. Fuente: Arquitectura Viva, “Bucles de bambú...”, p. 53.

En Bali, isla archipiélago de Indonesia, el equipo local PT BambooPure, dirigido por el escultor suizo afincado en la isla Aldo Landwehr, ha

construido el nuevo campus y escuela Green School. La construcción de esta escuela ha tenido presente los mismos principios que rigen la enseñanza de la misma, respetando los métodos tradicionales y el medio ambiente mediante el único empleo del bambú local, material de construcción intrínsecamente renovable y de rápido crecimiento. Ocupa una superficie de ocho hectáreas divididas en zonas construidas, con edificios abiertos y ligeros, y de cultivos. “Las estructuras que constituyen la techumbre están formadas por piezas de bambú apoyadas en pilares compuestos, situados en el interior y en una serie de soportes colocados perimetralmente”¹⁶³. Su forma sigue la disposición de la superficie reglada helicoidal cónica, que al igual que el sombrero tradicional de Indonesia se agarra a la testa de quien lo porta protegiéndole del sol y la lluvia (Fig. 62).

Como se puede apreciar en la imagen, “las aulas y los espacios comunes están contenidos en el edificio principal formado por la concatenación sucesiva de espirales de bambú ligeras,

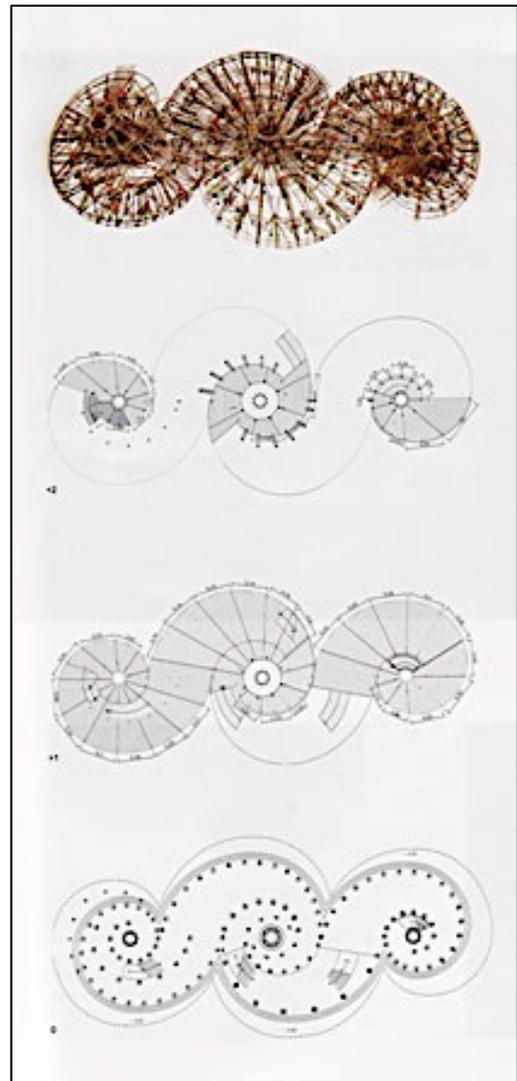


Fig. 63. Planta de la Green School. Fuente: Arquitectura Viva, “Bucles de bambú...”, p. 51.

¹⁶³ PT BambooPure, “Bucles de bambú. Campus y escuela Green School, Bali (Indonesia)”, *Arquitectura Viva*, nº 137 (Madrid, 2011), p. 51.

impermeables al agua y ventiladas, de tal modo que pueda hacerse frente al clima monzónico tropical del enclave”¹⁶⁴. Esta forma en espiral empaqueta el edificio, siendo la más práctica a la hora de ahorrar material y espacio (Fig. 63). También se han empleado materiales autóctonos como piedra y grava volcánica para fabricar los solados y caminos de acceso.

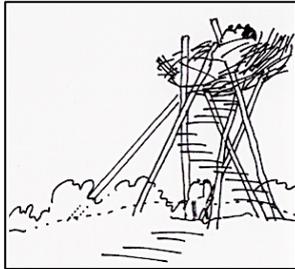


Fig. 64. Diseño del Mirador Vogelnest. BAHAMÓN, A. *Analogías entre el mundo animal...*, p. 88.

El mirador Vogelnest es diseñado por el arquitecto Peter Karle en 2001 integrándolo dentro de la reserva natural situada al norte de Hochheim, a las afueras de Wiesbaden y Francfort, Alemania (Fig. 64). Con este mirador se pretendía que el visitante pudiera observar las aves y el entorno natural sin entrar en contacto con el ecosistema protegido, para lo cual se ideó un observatorio elevado como el nido de las aves sobre los árboles. La plataforma del observatorio situada a unos siete metros y medio de altura es circular y está rodeada por un antepecho de anillos circulares de distintos diámetros colocados a distintas alturas e inclinaciones. Ocho postes de madera oblicuos entrecruzados en forma de tenedor la sustentan a modo de ramas de árbol. Se accede al observatorio mediante una escalera de forma helicoidal,

confiriendo al conjunto un gran dinamismo y funcionalidad (Fig. 65). Por tratarse de un mirador en el que lo que se pretende es tener el mayor ángulo de visión a distintas alturas, la forma adoptada más adecuada para tal propósito es la hélice cilíndrica. Ésta aparece sugerida en el observatorio dotándolo de un aspecto dinámico y apoyando la idea “nido” tan recurrente en este caso, mientras que es evidente en la escalera

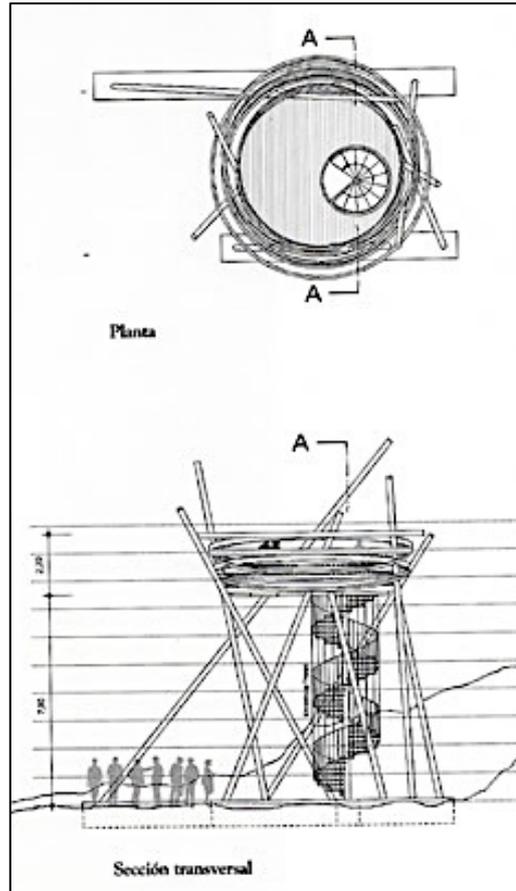


Fig. 65. Planta y sección transversal. Mirador Vogelnest. BAHAMÓN, A. *Analogías entre el mundo animal...*, p. 90.



Fig. 66. Mirador Vogelnest. BAHAMÓN, A. *Analogías entre el mundo animal...*, p. 89.

¹⁶⁴ *Ibidem*, p. 53.

optimizando su función (Fig. 66).

3.4 LA PARÁBOLA Y LA CATENARIA EN LA OBRA DE ANTONIO GAUDÍ

El arquitecto Antonio Gaudí (1852-1926) se caracterizó por desarrollar un espíritu indagador, alimentándolo desde su niñez cuando observaba la naturaleza de los campos de Reus (Barcelona), donde nació. Su manera de concebir la arquitectura libre y experimental le llevó a reflexionar constantemente sobre su labor, recogiendo de la tradición todo lo que le parecía válido y buscando siempre soluciones en las que el saber constructivo, la lógica estructural y la creatividad geométricas se fundieran en un todo. Según Gaudí “la evidencia es a los ojos del espíritu lo que a la visión los del cuerpo”¹⁶⁵. Esta teoría se aproxima a la que Rudolf Arheim formuló cuando sostuvo que “lo que se percibe visualmente es pensamiento”, entendiendo por pensamiento “los razonamientos, la intuición, la observación y la invención”¹⁶⁶.

Gaudí empleaba varios recursos visuales para sintetizar sus ideas, desde dibujos a perspectivas o maquetas. La geometría del espacio es un elemento fundamental para concebir su obra plagada de simetrías circulares, esferas, hexágonos, curvas cónicas, arcos parabólicos, catenarios y superficies regladas. El propio Gaudí llegó a afirmar: “soy geómetra, es decir, sintético. Yo lo calculo todo. (...) La geometría en la ejecución de las superficies no complica, sino que simplifica la construcción”¹⁶⁷. Según Gaudí “para que una obra arquitectónica sea bella, es necesario que se ajusten todos sus elementos”¹⁶⁸. Se inspiró en las formas orgánicas, “ser original es volver al origen”¹⁶⁹, buscando en dichas formas sus funciones y posibles aplicaciones, siempre cuidando la estética. “En su obra forma y función se identifican y se funden en una sola cosa”¹⁷⁰. Gaudí hacía pasar la inspiración por el tamiz de una creatividad personal inagotable.

Entre otras superficies Gaudí sostenía que “las formas curvas son las perfectas”¹⁷¹. Para Gaudí cualquier elemento del proceso constructivo era importante, pero puso especial dedicación al estudio de las estructuras buscando soluciones originales y prácticas, cualidades que rápidamente percibió en los arcos parabólicos y catenarios, elementos sustentantes ideales por su resistencia, eficacia y belleza. Obras como la Cooperativa Obrera Mataronesa, el Palacio Güell, el Colegio de las Teresianas y las buhardillas de la Casas Batlló y Milá

¹⁶⁵ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 18.

¹⁶⁶ ARNHEIM, R. *El pensamiento visual...*, p. 27.

¹⁶⁷ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 23.

¹⁶⁸ *Ibidem*, p. 22.

¹⁶⁹ *Ibidem*, p. 20.

¹⁷⁰ *Ibidem*, p. 22.

¹⁷¹ *Ibidem*, p. 34.

fundamentan su diseño en estos arcos. “Basta invertir un panel, como han hecho siempre los apicultores al catar las colmenas, para que aparezca apoyado sobre una base horizontal el arco catenario que antes colgaba”¹⁷²; de ahí que el experimento del modelo catenario en el plano se base en “las formas inversas de los arcos colgantes catenarios, funiculares o parabólicos, que soportan su propio peso o cargas y que siempre están traccionados, corresponden a las formas comprimidas que, con las mismas longitudes, soportarían las mismas cargas. (...) El arco catenario ideal puede modificarse en lo relativo a la forma por la acción gravitatoria de pesos insertados a lo largo, que

produzcan un arco funicular; cuando un gran peso central supera el resto de las cargas simétricas, se obtiene la forma de un arco funicular apuntado en el centro; cuando las cargas son mayores en los

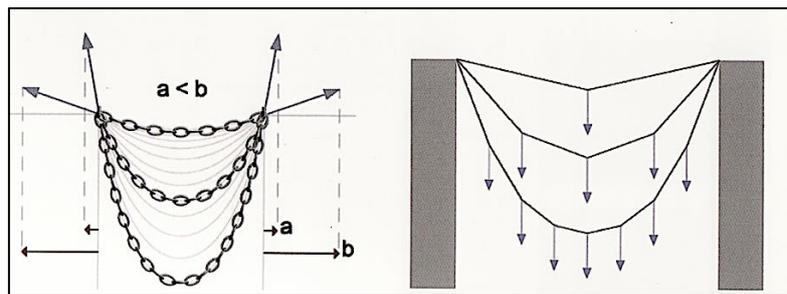


Fig.67. Catenarias con distintos empujes y funículos según cargas actuantes. Fuente: GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 97.

laterales, la forma del arco funicular se acerca al arco carpanel o elíptico; cuando la carga es uniforme horizontalmente, la forma es la de una parábola”¹⁷³ (Fig. 67).

Esta descripción llevada a la práctica con hilos y pesos es la que empleó Gaudí para obtener sus cálculos gráficos. Así, a la hora de diseñar la Iglesia de la Colonia Güell ideó primero una maqueta con cadenas a modo de cargas y posteriormente elaboró una segunda



Fig.68. Modelo funicular de la Iglesia de la Colonia Güell. Fuente: GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 99.

maqueta con saquitos como pesos que representaban las cargas de cada elemento de la cubierta. Colocando una tela en el interior de la maqueta simuló el espacio a escala y redibujando la fotografía tomada de la misma, la proyección invertida (Fig. 68). El ensayo de este modelo catenario para la Iglesia de la Colonia Güell, le sirvió de base para el elaborar el posterior proyecto de las naves y torres de la Sagrada Familia. “Lo calculo todo: primero, pongo unos pesos para buscar el funículo, después visto el funículo hallado con formas y materiales cuyos pesos vuelvo a revisar, y a veces varío ligeramente los funículos. De ese modo sale la forma lógica nacida de las necesidades. Los funículos de la Sagrada Familia los he encontrado gráficamente,

¹⁷² RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 48.

¹⁷³ *Ibidem*, p. 97.

y los de la Colonia Güell experimentalmente, pero ambos procedimientos son el mismo, y el uno es hijo del otro”¹⁷⁴.

Así, Gaudí empleó constantemente a lo largo de su producción tanto el arco parabólico como el catenarior. Sirvan como ejemplo los siguientes casos:

La primera obra en la que los utilizó fue la Cooperativa Obrera Mataronense, que surgió como resultado de la Asociación Internacional de Trabajadores en el año 1883 y consistía en una especie de pequeña ciudad lineal, con una fábrica textil situada en el barrio obrero, un casino y una nave destinada al blanqueo de tejidos (Fig. 69). Para la construcción de esta última Gaudí experimentó por primera vez con el arco catenarior, quizá movido por la simbología afin de las abejas, como insectos sociales, y la clase obrera, siendo la “colmena y sus arcos catenarior un símbolo de las virtudes del trabajo productivo y la solidaridad”¹⁷⁵.



Fig. 69. Catenarior en la Nave de la Cooperativa Mataronense. Fuente: RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 54.



Fig. 70. Fachada principal del Palacior Güell. Fuente: PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, p. 45.

una fachada principal acorde con la solemnidad que el edificio requería. Organizó una disposición ligeramente asimétrica levantando para la entrada y salida de los carruajes dos grandes y elegantes arcos catenarior cubiertos de una rejería de hierro con perfiles sinuosos (Fig. 70). El dinamismo sutilmente sugerido en la fachada suponía un aperitivo de lo que encontraríamos en el interior, donde destaca el espacio cuadrangular centralizado que “evocando los patios interiores característicos de las casas mediterráneas”¹⁷⁶ aparece cubierto por una cúpula constituida

Gaudí empleó magistral e indistintamente tanto el arco parabólico como el arco catenarior en el Palacior Güell le encargó construir aladaño a su vivienda. Concebido como un espacio de recepción y representación, su materialización se prolongó desde 1886 hasta 1895. Para este cometido Gaudí pretendió crear

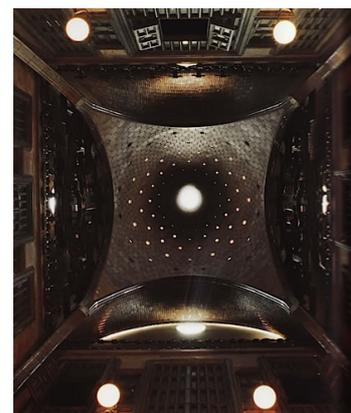


Fig. 71. Cúpula del Palacior Güell. Fuente: PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, p. 50.

¹⁷⁴ *Ibidem*, p. 32.

¹⁷⁵ RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena...*, p. 52.

por un paraboloides de revolución pavimentado por una recurrente retícula hexagonal perforada por tragaluces a través de los cuales entra la luz cenital a modo de cúpula celestial, sustentada en cuatro arcos también de tipo funicular que descansa sobre capiteles hiperbólicos dinamizando el conjunto (Fig. 71). Además, resulta ideal por otra parte para la celebración de conciertos por su acústica, sirviendo también en ocasiones de capilla.

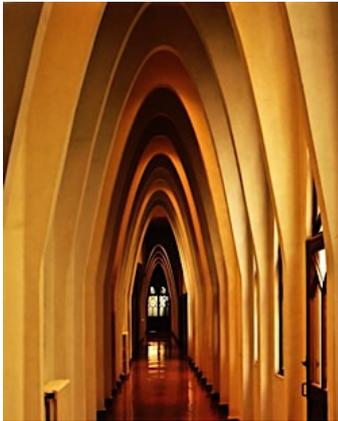


Fig. 72. Corredor de arcos parabólicos del Colegio de las Teresianas. Fuente: PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, p. 63.

Para resolver el apresurado encargo del Colegio de las Teresianas (1889-1894), para el que además contaba con un reducido presupuesto, Gaudí ideó un edificio austero y sintético pero cargado de inteligibilidad al conseguir crear un espacio mágico de contrastes lumínicos a la par que funcional mediante la repetición rítmica de vanos y huecos ciegos “como si de un muro-cortina se tratara”¹⁷⁷ en el exterior y de espacios diáfanos comunicados por corredores de sucesión de arcos parabólicos entorno a un patio de luz en el interior (Fig. 72).

“Normalmente en la obra de Gaudí las formas más puras, sin ornamentación, se localizan en los espacios poco relevantes (los sótanos y las buhardillas en los edificios)”. Así, en la casa Batlló (1905-1907), Gaudí no dudó en emplear los característicos arcos funiculares para cubrir la buhardilla de esta vivienda, que al no precisar contrafuertes ni paredes de carga suponían la solución más resistente para modelar los espacios livianos y eficientes empleados en las zonas destinadas a secadero, lavadero y trastero, así como de acceso al terrado (Fig. 73).



Fig. 73. Arcos catenarios en la buhardilla de la Casa Batlló. Fuente: GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 34.

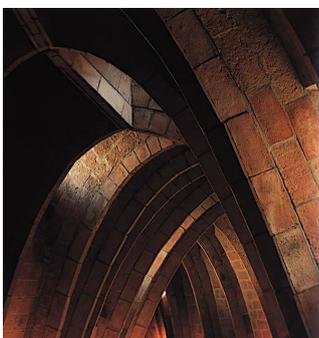


Fig. 74. Arcos catenarios de la buhardilla de la Casa Milá. Fuente: GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 34.

La buhardilla de la Casa Milá (1905-1910), popularmente conocida como la Pedrera, se sustenta en una serie de arcos catenarios de ladrillo (Fig. 74); estructuras de apoyo ligeras y resistentes de alturas irregulares, que determinan los mismos desniveles en la azotea del edificio. Seguramente la Casa Milá sea la obra maestra de Gaudí pues supone una muestra de todos sus recursos técnicos y expresivos, confiriendo al edificio un aspecto orgánico inspirado en la montaña.

¹⁷⁶ PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo. Gaudí*. Barcelona: Ediciones Poligrafía, 1996, p. 48.

¹⁷⁷ *Ibidem*, p. 60.

3.7 LOS FRAZTALES EN LA CASA BATLLÓ, LA CASA MILÁ Y LA SAGRADA FAMILIA DE ANTONIO GAUDÍ.

La arquitectura fractal es una forma creativa con que la mente se enfrenta a la incertidumbre. En ella la fractalidad emerge en distintos grados, como veremos en los ejemplos que se citan a continuación. Sin embargo, el gozo mental experimentado al percibir cada uno de ellos es una evidencia.

Gaudí, gran arquitecto y observador de la naturaleza, fue capaz muchas veces de intuir las formas como un artista y otras de comprenderlas científicamente. Gaudí es un magnífico ejemplo de seleccionador cultural, de mente que busca las formas en la naturaleza y con una alta dosis de creatividad las moldea, produciendo obras maravillosas de peculiar belleza e inquietante inteligibilidad. Para empezar, el propio modo globalizador de concebir sus proyectos desprende aroma a fractalidad. Gaudí ponía la misma dedicación e ingenio en todas y cada una de las partes de sus obras, en todos y cada uno de sus detalles. Desde las fachadas hasta los interiores, desde los suelos hasta las cubiertas, desde las puertas hasta los apliques de la luz, repitiendo en todos ellos las mismas señas de identidad que en el todo. Dotando de autosimilitud a la unidad constructiva, repitiendo el patrón fractal en cada elemento y en el todo. Y es que partiendo de elementos simples conseguía crear auténticas complejidades. Tal era la búsqueda de unidad y belleza en Gaudí que procuraba dar a cada elemento las formas que mejor cumpliesen su función sin que para ello perdiesen su belleza y equilibrio sintético para con el organismo, inspiración y guía de su obra. “Gaudí era de la opinión de que la nueva arquitectura que le inspiraba la observación de la naturaleza debía tener las características de la vida, que puede mostrarse con el color y el movimiento”¹⁷⁸. Buenas muestras de todo lo dicho son las Casa Batlló y Milá o la Sagrada Familia, ejemplos que testifican la evolución artística y fractal de este genio humano en busca de la verdad.

Al igual que los huesos que sirven de estructura fractal en los organismos animales, la Casa Battló se alza como un expositor monocromo de cráneos, clavículas y articulaciones hiperboloides sobre las que descansa el cuerpo draconiano herido, pavimentado de escamas y trencadís, cuya policromía y fuerza se desparrama, inundando cada forma de curvatura, o sea, cada porción, cada detalle interno o externo que en su descenso de los cielos a su paso encuentra (Fig. 75).

¹⁷⁸ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 105.



Fig. 75. Casa Batlló. Fuentes: ESTÉVEZ, A. T. *Gaudí...*, pp. 50-51; PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, pp. 127-147; GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, pp. 152-153.

La Casa Milá, pedrera ambivalente que cristaliza cual roca mineral marmórea a medio camino entre el mundo inerte y vivo, sometiéndose a la selección fundamental hacia la selección viva en busca de movimiento, en que la fractalidad, ondulantemente evidente e iterativa de llenos y vacíos, es sutilmente mojada por el color del mar mediterráneo y adopta formas vigilantes en sus crestas modeladas helicoidalmente por el viento (Fig. 76).



Fig. 76. Casa Milá. Fuentes: PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, pp. 150-167; ESTÉVEZ, A. T. *Gaudí...*, pp. 50-51; GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, pp. 54 y 155; <http://www.wikipedia.org>

La Sagrada Familia es el templo que aúna el saber gaudiano. Color, movimiento y fractalidad en sus más puras manifestaciones. “El interior del templo será como un

bosque”¹⁷⁹. “Este árbol cercano a mi obrador: este es mi maestro”¹⁸⁰. Al entrar en su interior nos maravilla un bosque fractal de columnas cual troncos de crecimiento helicoidal ramificados tetramórficamente, “se levantan para entregarse sin discontinuidad a los hiperboloides macizos que se abren más hacia arriba, hacia las formas estrelladas con los hiperboloides abiertos”¹⁸¹, complejas formas matemáticas de hojas de eucalipto, por las que se filtra la luz, colonizando y distribuyendo las tensiones y pesos de la forma más bella y eficaz que ninguna otra mente hubiese antes creado, “figura invertida del gótico”. Externamente, explosión de vida en crecimiento ascendente hacia el orden complejo y simple de lo divino en clave geométrica (Fig. 77).



Fig. 77. La Sagrada Familia. Fuentes: PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo...*, p. 173; GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, pp. 47 y 132.

¹⁷⁹ *Ibidem*, p. 47.

¹⁸⁰ *Ibidem*, p. 27.

¹⁸¹ *Ibidem*, p. 27.

CONCLUSIONES

Al final de este recorrido creemos lícito poder confirmar que efectivamente este TFM ha supuesto un ejercicio de selección, de observación, de percepción, de intuición y de conocimiento de las formas matemáticas en la naturaleza. De algún modo, en este trabajo de investigación las formas matemáticas naturales expuestas han superado los tres tipos de selección perceptiva, natural y cultural, logrando con ello perseverar un poco más en la realidad. Hemos corroborado que la percepción visual como proceso cognoscitivo supone un microcosmos en que constantemente y a lo largo del tiempo se producen selecciones que las imágenes de las formas que percibimos deben superar para permanecer en la memoria.

Según decía Goethe: “La naturaleza es bella cuando se asemeja al arte y el arte es bello cuando se parece a la naturaleza”¹⁸². Efectivamente al llevar a cabo este proyecto he experimentando gozo mental al percibir estas formas armónicas, inteligibles y bellas que por ser las más idóneas para cumplir su función emergen prolíficamente en el mundo culto a través de la arquitectura, siendo los ejemplos aquí expuestos una mínima selección de entre todos los posibles. De todas formas, no es menos cierto que, por encima de todos, destaca la figura de Antonio Gaudí, un genio que bien encaja con el que definió Kant al afirmar, “Por el genio, la naturaleza proporciona reglas al arte”¹⁸³, o al aseverar que: “En el hombre de genio, el macrocosmos penetra en un cerebro humano, se manifiesta en él y revela la ley profunda y misteriosa de las cosas, estableciendo entre ambos un estrecho nexo. Debido a que el alma del universo es análoga al alma del hombre, aquella puede en ocasiones entrar en ésta. Si no ofrecen el universo, los artistas por lo menos presentan símbolos del universo. (...) No es asombroso encontrar una analogía entre la obra de arte y los seres orgánicos. Es en la obra genial donde la naturaleza ha dado la ley; los genios son seres vivos creados por la naturaleza”¹⁸⁴. Su obra es un gran muestrario de ejemplos donde todas y cada una de las formas matemáticas naturales seleccionadas emergen frecuentemente (aunque en este TFM no se han expuesto más que algunas de ellas). Y si tenemos en cuenta sus palabras: “Ser original es volver al origen”¹⁸⁵ y “Mis ideas estructurales y estéticas son de una lógica indisputable”¹⁸⁶, concluiremos que en la naturaleza encontramos todo nuestro saber. En ella tenemos la fuente donde buscar las formas más eficientes y bellas con las que conseguir evolucionar y permanecer en la eternidad de lo real. Movidos por esta inquietud de búsqueda sospechamos

¹⁸² RAYMOND, B. *Historia de la estética*. México: Fondo de Cultura Económica, 1993, p. 209.

¹⁸³ *Ibidem*, p. 209.

¹⁸⁴ *Idem*.

¹⁸⁵ GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma...*, p. 20.

¹⁸⁶ *Ibidem*, p. 21.

que este es un pequeño comienzo de lo que esta investigación puede llegar a mostrarnos, motivados como estamos en continuar el camino emprendido.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, H. B. *Frank Lloyd Wright*. Barcelona: Ediciones del Serbal, 1990.
- ALSINA, C. *Las mil caras de la belleza geométrica. Los poliedros*. Barcelona: RBA Coleccionables, 2010.
- ANDALUZ, A, R. *Las armonías de la razón en Kant: Libertad, Sentimiento de lo Bello y Teleología de la naturaleza*. Salamanca: Publicaciones Universidad Pontificia de Salamanca, 2013.
- ARNHEIM, R. *Arte y percepción visual. Psicología del ojo creador*. Madrid: Alianza, 1979.
- *El pensamiento visual*. Barcelona: Paidós Ibérica, 1986.
- BAHAMÓN, A. *Analogías entre el mundo animal y la arquitectura contemporánea*. Barcelona: Parramón, 2007.
- BANFI, A. *Filosofía del arte*. Barcelona: Península, 1987.
- BENEVOLO, L. *Historia de la arquitectura moderna*. Barcelona: Gustavo Gili, 1987.
- BINIMELIS, M. I. *Una nueva manera de ver el mundo. La geometría fractal*. Barcelona: RBA Coleccionables, 2012.
- BOULLÉE, E. L. *Arquitectura. Ensayo sobre el arte*. Int. de C. Sambricio. Barcelona: Gustavo Gili, 1985.
- BROOKS, B. P. *Frank Lloyd Wright, 1867-1959. Construir para la democracia*. Madrid: Alianza, 2004.
- BLUNT, A. *La teoría de las artes en Italia del 1450 a 1600*. Madrid: Cátedra, 1992.
- CARLES, J. *Los otros arquitectos*. Barcelona: Gustavo Gili, 2003.
- CARPINTERO, H. *La psicología de la forma. Historia de las ideas psicológicas*. Madrid: Pirámide, 2003.
- CLEARY, R. *Frank Lloyd Wright*. Bilbao: Museo Guggenheim de Bilbao, 2010.
- COLOMBO, M. *Frank Lloyd Wright. Maestros de la Arquitectura*. Barcelona: Salvat, 2010.
- COLQUHOUN, A. *Modernidad y tradición clásica*. Madrid: Júcar, 1991.
- DARWIN, C. *El origen de las especies, por medio de la selección natural*. Estudio preliminar de Juan Comas. México: UNAM, 1959.
- DI LUCE, S. *Frank Lloyd Wright*. Milán: Rizzoli. 2001.
- DOMÍNGUEZ, A. *La Ética de Spinoza. Fundamentos y significado. Actas del Congreso Internacional, Almagro, 24-26 de octubre, 1990*. Colección Estudios. Ediciones de la Universidad de Castilla-la Mancha, 1992, pp. 83-85.
- DUTTON, D. *El instinto del arte. Belleza, placer y evolución humana*. Barcelona: Paidós Ibérica, 2010.
- DU PREY, P. *John Soane's architectural education, 1753-1800*. New York: Garland, 1977.
- *John Soane: the making of an architect*. Chicago: University of Chicago Press, 1982.
- ESTÉVEZ, A.T. *Gaudí*. Madrid: Susaeta Ediciones, 2001.
- FATÁS, G. Y BORRÁS, M. G. *Diccionario de términos de arte y elementos de arqueología, heráldica y numismática*. Madrid; Alianza Editorial, 1992.
- FERRARI, A. *Océanos secretos*. Madrid: Espasa Calpe, 2006.
- FILLER, M. *La arquitectura moderna y sus creadores. De Frank Lloyd Wright a Frank Gehry*. Barcelona: Alba Editorial, 2012.
- FRANCASTEL, P. *Arte, arquitectura y estética en el siglo XVIII*. Madrid: Akal, 1987.
- GIEDION, S. *Espacio, tiempo y arquitectura. Origen y desarrollo de la nueva tradición*.

- Barcelona: Editorial Reverté, 2009.
- GOMBRICH, E. H. *El sentido del orden*. Nueva York: Universidad de Nueva York-Phaidon Press Limited, 2004.
- *Arte e ilusión*. Nueva York: Universidad de Nueva York, Phaidon Press Limited, 2002.
- GÖSSEL, P. *Frank Lloyd Wright*. Nuremberg: Taschen, 1994.
- GONDRA, J. M. *La psicología de la Gestalt. Historia de la psicología. Introducción del pensamiento psicológico moderno. Volumen II: Escuelas, teorías y sistemas contemporáneos*. Madrid: Síntesis, 1998.
- GHYKA, M. C. *El número de oro. I. Los ritmos. II. Los ritos*. Barcelona: Poseidón, 1978.
- *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las Artes*. Barcelona: Poseidón, 1983.
- GIRALT-MIRACLE, D. *La búsqueda de la forma. Espacio, geometría, estructura y construcción*. Barcelona: Lunwerg Editores, 2002.
- HARTT, F. *Arte. Historia de la pintura, escultura y arquitectura*. Madrid: Akal, 1985.
- HEINZ, T. A. *Frank Lloyd Wright*. Barcelona: Gustavo Gili, 1982.
- HITCHCOCK, H-R. *Arquitectura de los siglos XIX y XX*. Madrid: Cátedra, 1985.
- HONOUR, H. *Neoclasicismo*. Madrid: Xarait, 1982.
- KAUFMAN, E. *Tres arquitectos revolucionarios, Boullée, Ledoux y Lequeu*. Barcelona: Gustavo Gili, 1980.
- *La arquitectura de la ilustración. Barroco y postbarroco en Inglaterra, Italia y Francia*. Barcelona: Gustavo Gili, 1974.
- LEYRA, A. M. *La mirada creadora. De la experiencia artística a la filosofía*. Barcelona: Península, 1993.
- LÓPEZ-FANJUL DIEZ DEL CORRAL, M^a. “Sir John Soane, arquitecto de colecciones. Su Casa-museo”. *Museos*, nº 3 (Madrid: 2007), pp. 122-129.
- MADEC, P. *Boullée*. Madrid: Akal, 1997.
- MARGALEF, J. B. *La percepción, desarrollo cognitivo y artes visuales*. Barcelona: Anthropos, 1987.
- MARTÍN, A. N. *La visión y la idea. Origen y derivas de la praxiteia romántica*. Madrid: Avarigani Editores, 2012.
- MACCARTER, R. *Frank Lloyd Wright Architect*. Londres: Phaidon. 1997.
- PEARSON, D. *Arquitectura orgánica moderna. Un nuevo camino para el diseño urbano rural*. Barcelona: Art Blume, 2002.
- PERMANYER, L. y LEVICK, M. *El Modernismo. Gaudí*
- PERONA, J. J. *La utopía antigua de Piranesi*. Murcia: Universidad de Murcia, 1986.
- PFEFFER, P. *Los continentes. Asia*, Barcelona: Seix Barral, 1972.
- PRECKLER, A. M. *Historia del arte universal de los siglos XIX y XX. Arquitectura, pintura y escultura del siglo XIX. Arquitectura del siglo XX. Tomo I*, Madrid: Editorial Complutense, 2003.
- PT BambooPure, “Bucles de bambú. Campus y escuela Green School, Bali (Indonesia)”. *Arquitectura Viva*, nº 137 (Madrid, 2011), pp. 50-53.
- RAMÍREZ, J. A. *La metáfora de la colmena: de Gaudí a Le Corbusier*. Madrid: Siruela, 1998.
- RAYMOND, B. *Historia de la estética*. México D.F. Fondo de Cultura Económica, 1993.
- RYKWERT, J. *Los primeros modernos: los arquitectos del siglo XVIII*. Barcelona: Gustavo Gili, 1982.
- SANDOVAL, A. G. *Observar. Interpretar. Expresar*. Santander: Sandoval, 2002.
- SPINOZA, B. *Ética demostrada según el orden geométrico*. Traducción, Introducción y notas de Vidal Peña García. Notas y epílogo de Gabriel Albiac. Madrid: Tecnos, 2007.
- STEVEN, B. S. *Spinoza y el libro de la vida. Libertad y redención ética*. Madrid: Biblioteca Nueva, 2007.

- TARTARKIEWICZ, W. *Historia de seis ideas. Arte, belleza, forma, creatividad, mimesis, experiencia estética*. Traducción de Francisco Rodríguez Martín. Madrid: Tecnos, 2001.
- THOMSON, D. A. *Sobre el crecimiento de la forma*. Madrid: Akal, 2011.
- ULLMANN, H. F. *Neoclasicismo y Romanticismo: Arquitectura, escultura, pintura, dibujo*. Colonia: Ullmann&Könemann, 2007.
- VIGOUROUX, R. *La fábrica de lo bello*. Barcelona: Prensa Ibérica, 1996.
- VILLACAÑAS, J. L. *Inmanuel Kant. Crítica de la razón pura*. Prolegómenos a toda metafísica futura. Relato de la vida y el carácter de Inmanuel Kant por Ludwing Ernst Borowski. Estudio introductorio por José Luís Villacañas. Madrid: Gredos, 2005.
- VV. AA. *John Soane*. Londres, AcademyEditions/St. Martin's Press, 1983.
- WAGENSBERG, J. *La rebelión de las formas. O cómo perseverar cuando la incertidumbre aprieta*. Barcelona: Tusquets, 2007.
- WIEBENSON, D. *Los tratados de la arquitectura. De Alberti a Ledoux*. Madrid: HermannBlume, 1982.
- WILLIAMS, C. *Los orígenes de la forma*. Barcelona: Gustavo Gili, 1984.
- ZEVI, B, Frank Lloyd Wright. Barcelona: Gustavo Gili, 1988.

RECURSOS WEB:

- <http://www.IGraffcaracas.es>
- <http://www.timerime.com>
- <http://www.minube.com>
- <http://www.viajarsi.com>
- <http://www.dublin.es>
- <http://www.neofronteras.com/especiales.es>
- <http://www.freepik.es>
- <http://www.taringa.net>
- <http://www.esmaloal.wrordpress.com>
- <http://wikipedia.org>
- <http://www.epsilon.es>
- <http://www.Casualidaddiseño.blogspot.com>
- <http://phy6.org>
- <http://www.centros5.pntc.es>
- <http://www.conicasparábola.blogspot.com>
- <http://www.es.wikiarquitectura.com>
- <http://www.lasupergalaxia.wordpress.com>
- <http://www.dreamstime.com>
- <http://www.todointeresante.com>
- <http://www.soane.org>
- <http://www.microrespuestas.com>