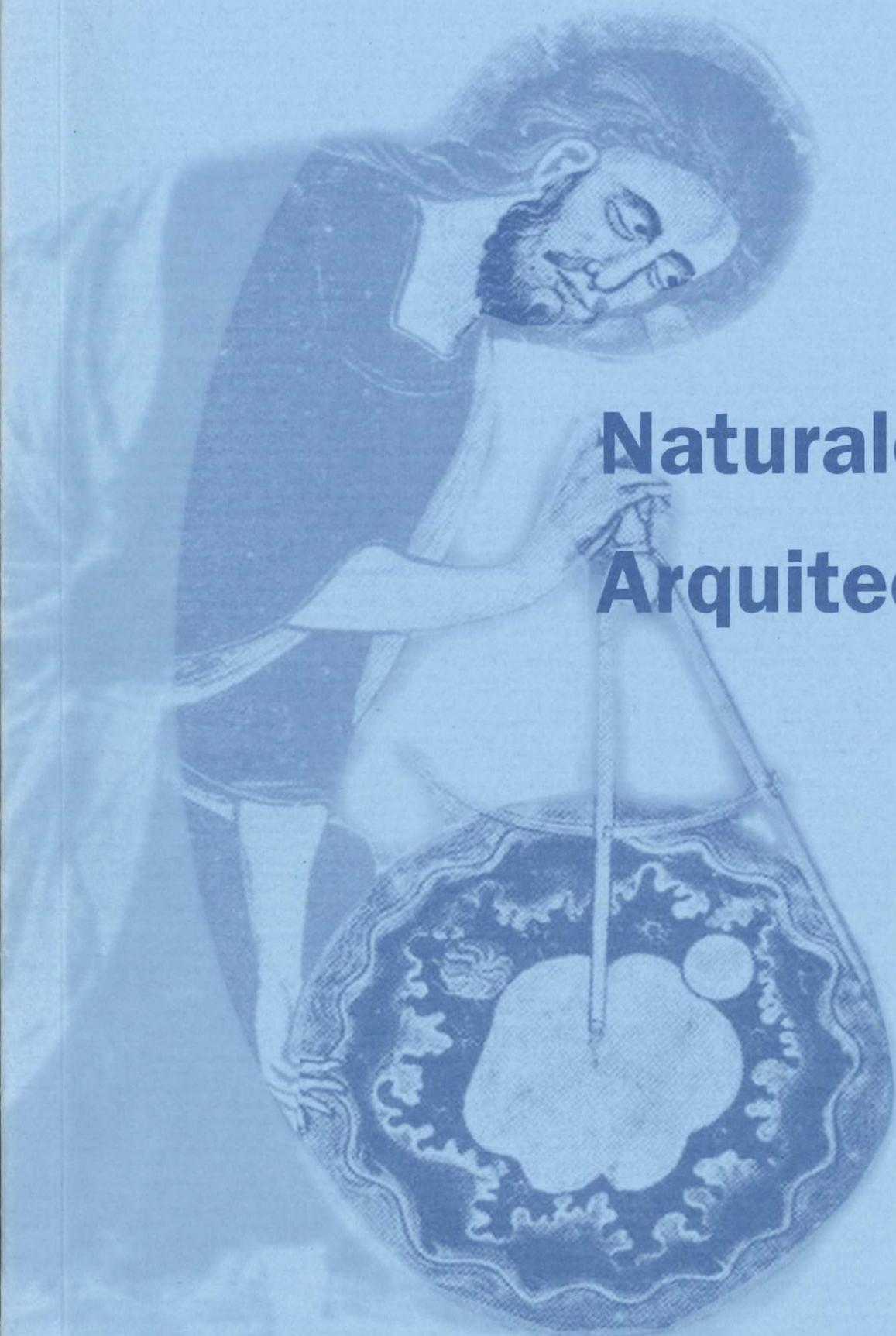




Universidad
Cardenal Herrera-CEU

José Luis Ferrer Muñoz

**Naturaleza y
Arquitectura**



Naturaleza y Arquitectura

Edita: SERVICIO DE PUBLICACIONES
Universidad Cardenal Herrera-CEU
Fundación Universitaria San Pablo-CEU

Diseño y maquetación:
Cristina Ríos / Ana Isabel Molins
Servicio de Publicaciones

Imagen cubierta:
Dios, arquitecto del Universo" Anónimo.
Reproducción de miniatura de Biblia Francesa del SXV

ISBN: 84-95219-61-1
Depósito Legal: V. 3.723-2002

Printed in Spain - Impreso en España

GRÁFICAS MARÍ MONTAÑANA, S.L.
Av. Blasco Ibáñez, 22 - 46132 Almàssera (Valencia)
Tel. 961 851 448*, Fax 961 864 155
imprenta@marimontanyana.com

José Luis Ferrer Muñoz
Director de la Escuela Superior de Enseñanzas Técnicas

Naturaleza y Arquitectura

Lección magistral leída en la apertura del curso 2002-03

Universidad Cardenal Herrera-**CEU**
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA SAN PABLO-CEU

VALENCIA 2002

Naturaleza y Arquitectura

Relacionar Naturaleza con un acto creativo del hombre, es obligado ya sea por un acto consciente o inconsciente de este.

La naturaleza diseña y resuelve de modo óptimo e inimitable en su completa totalidad, todos cuantos problemas o circunstancias críticas se le presentan, para cada acción generada ya está prevista una respuesta acertada, es por ello natural que deba ser la fuente de conocimientos y experimentaciones a la que acudir.

Todos los grandes creadores han tenido como virtud destacada la observación de los diseños y comportamientos de actividades naturales que ante agresiones no previstas se generan en el tiempo nuevos diseños y comportamientos adicionales o distintos, de esta forma el perfeccionamiento de un diseño se obtiene por la reacción de este ante dichas agresiones.

A nivel de creaciones arquitectónicas del hombre, como en el caso de construcción de las Catedrales, conforme se tenía más experiencia de las estructuras y de los materiales empleados, cada ciudad pretendía tener la Catedral más alta, hasta que pasado el límite del conocimiento de las acciones que actuaban sobre la misma y que no estaban previstas por el Arquitecto, sobrevinía el fracaso, ante este, se analizaban las causas y vuelta a empezar, esta vez con más conocimiento, hasta que se volvía a llegar al límite del mismo, se puede decir por tanto que "los éxitos generan fracasos y los fracasos generan éxitos", esta conclusión es aplicable en muchos ámbitos de la actuación humana.

La observación de elementos naturales y la pretendida imitación de la naturaleza por parte del hombre a aportado

avances y conocimientos importantes, pero ante los éxitos conseguidos no debe apoderarse la soberbia de los creadores, estos siempre estarán lejos del conocimiento absoluto.

Hablar de Naturaleza es hablar de Creación Perfecta y hablar de esta, es hablar de Dios.

PROPORCIÓN

En consonancia con el orden y proporción instaurado en la Naturaleza, los Arquitectos, Ingenieros, Escultores, Pintores y artistas en general, daban una gran importancia a los trabajos realizados a partir de un ordenamiento llevado en ocasiones a exagerados resultados.

La relación armónica más rica en aplicaciones y estudios en cualquiera de las artes antes nombradas es la que se llamaría DIVINA PROPORCIÓN y que trataremos a continuación y que tiene como protagonista a un importante matemático renacentista.

Fra LUCA PACIOLI

El Franciscano Luca Pacioli nace en la localidad de Borgo San Sepolcro en el año 1445 una aldea situada entre la Toscana y la Umbría cerca de Arezzo.

Amigo de Leonardo da Vinci este le realizó para la obra que estaba preparando "DE DIVINA PROPORZIONE" más de sesenta dibujos de los "cuerpos regulares", la obra se terminó en diciembre de 1498.



Sacred geometry
Robert Lawlor
© 1982 Thames and Hudson Ltd,
London

Señala que "no puede existir conocimiento de las cosas del universo si estas no nos vienen dadas a través de la proporción, de ahí la necesidad de encontrar las relaciones que ligan las cosas entre si".

El código "DE DIVINA PROPORZIONE" se imprimió en Venecia en 1509.

Antes de fra Luca Pacioli, Euclides (siglo III a.C.) en su libro VI de "Los Elementos" describe la misma proporción al igual que Platón (Atenas 427 a.C.) en su obra "Timeo" esta se enuncia como:

"La división de un segmento en media y extrema razón"

Esta proporción recibió el nombre de Divina dado que es "una sola y no más" Kepler coincidió en la misma denominación.

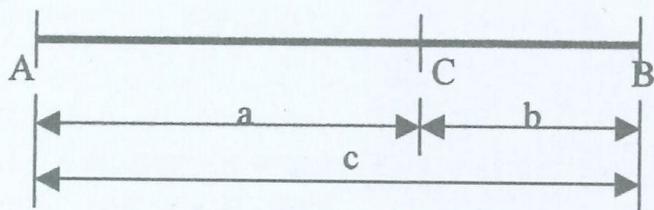
La proporción buscada dará lugar a un valor numérico, valor que veremos reflejado en todo momento en la Naturaleza y por consiguiente en nosotros mismo y en gran parte de las las obras por el hombre realizadas, a este valor se le adjudicó desde un principio la letra Phi (Φ) del alfabeto griego.

El cálculo realizado por fra Luca Pacioli dio lugar al razonamiento que se desarrolla a continuación:

OBTENCIÓN DE PHI (Φ)

Partimos de un segmento A - B y pretendemos encontrar un punto C que lo divida en dos partes desiguales y que se cumpla la siguiente proporción:

“El segmento mayor será al menor, como todo el segmento será al mayor”



Estableceremos en primer lugar todas las relaciones posibles entre los segmentos a, b y c, que será seis a las que denominaremos “Razones”.

$$\frac{a}{b}, \frac{b}{c}, \frac{c}{a}, \frac{b}{a}, \frac{c}{b}, \frac{a}{c}$$

Si igualamos estas Razones dos a dos, obtendremos las siguientes quince **“Proporciones”** posibles que pasaremos a analizar.

$$\frac{a}{b} = \frac{a}{c} \quad \frac{b}{a} = \frac{c}{a} \quad \frac{b}{c} = \frac{c}{b}$$

De estas tres proporciones se deduce que $b = c$ luego no habría partición.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{b} \quad \frac{b}{a} = \frac{b}{c} \quad \frac{a}{c} = \frac{c}{a}$$

De estas tres proporciones se deduce que $a = c$ tampoco tendríamos partición.

$$\frac{a}{c} = \frac{c}{b} \quad \frac{c}{a} = \frac{b}{c}$$

De estas dos proporciones se deduce que son la misma y además son imposibles.

$$\frac{a}{c} = \frac{b}{c} \quad \frac{c}{a} = \frac{c}{b} \quad \frac{a}{b} = \frac{b}{a}$$

De estas tres proporciones se deduce que $a = b$ sería por tanto una partición simétrica que no es lo que buscamos como se indicó desde un principio.

$$\frac{a}{b} = \frac{b}{c} \quad \frac{b}{a} = \frac{c}{b}$$

De estas dos proporciones se deduce que son la misma y es una partición asimétrica inversa.

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{a}$$

$$\frac{b}{a} = \frac{a}{c}$$

De estas dos proporciones se deduce que son la misma, es una partición asimétrica, es por tanto la proporción que satisface nuestra búsqueda.

OBTENCIÓN DEL VALOR NUMÉRICO

Partimos de la proporción obtenida $\frac{a}{b} = \frac{c}{a}$ que equivale a ponerla de esta forma $\frac{a}{b} = \frac{a+b}{a}$ puesto que $c = a + b$

Actuaremos sobre la proporción de la forma siguiente:

Dividiendo por b el segundo miembro de la proporción tenemos: $\frac{a}{b} = \frac{1 + \frac{a}{b}}{\frac{a}{b}}$ (1)

Llamamos $X = \frac{a}{b}$ (2) y sustituyendo en (1) $X = \frac{X+1}{X}$ de donde:

$X^2 - X - 1 = 0$ ecuación de segundo grado que resuelta y despreciado

el resultado negativo nos queda como solución $X = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1.618\dots$

sustituyendo en (2) resulta $\frac{a}{b} = 1.618$ valor del que designaremos por la

letra griega phi Φ .

$$\Phi = 1.618$$

(redondeando a cifra exacta)

Este valor obtenido que es único pues no existe otra partición que cumpla el planteamiento inicial, es de suma importancia en el campo de análisis de las proporciones armónicas como constataremos más adelante.

Así pues del desarrollo anterior se constata que “la proporción de unas partes con otras y de estas con el todo permite conseguir una “armonía” que es la esencia de la belleza”

Frase contenida en la obra del arquitecto León Bautista Alberti “Diez libros de Arquitectura” (1450)

Es necesario destacar el estudio de un ilustre matemático anterior a fra Luca Pacioli en un apartado muy importante de sus desarrollos matemáticos y que nos permitirá justificar actuaciones posteriores relacionados con la DIVINA PROPORCIÓN.

FIBONACCI cuyo nombre verdadero era Leonardo de Pisa (1180-1250) se le conoce más por su apodo que proviene de una contracción de “figlio de Bonaccio” comerciante y mercader oriundo de Pisa.

Introducido Fibonacci en las matemáticas por su padre para que le llevara las cuentas este le puso un maestro árabe, lo que motivó que se desarrollara en él una vocación matemática que dio sus primeros frutos con la presentación de su obra en 1202 “Liber abaci” (Libro del ábaco).

Este libro estaba dividido en quince capítulos y en él desarrollaba un problema que resultó aportar más conocimiento de lo que en principio podía hacer pensar y que influenció a los matemáticos de la época, se trata del problema de la cría de conejos, cuyo enunciado era el siguiente:

“¿Cuántas parejas de conejos obtendremos al final de un año, si empezamos con una pareja y sabemos que cada pareja produce cada mes otra pareja y que a su vez, hasta los dos meses no es capaz de reproducirse y generar otra pareja?”

mes 1	1	pareja de conejos (de partida)
mes 2	1	“ “ ” (los mismos que aún no pueden reproducirse)
mes 3	2	parejas de conejos (ya han tenido su primera pareja)
mes 4	3	“ “ ” (la inicial tendrá una 2ª pareja)
mes 5	5	“ “ ”
mes 6	8	“ “ ”
mes 7	13	“ “ ”
mes 8	21	“ “ ”
mes 9	34	“ “ ”
mes 10	55	“ “ ”
mes 11	89	“ “ ”
mes 12	144	“ “ ”

Como se puede observar cada término de esta sucesión corresponde a la suma de sus dos términos anteriores, con lo que es fácil ir recorriendo la serie en toda su extensión en ambos sentidos, creciente y decreciente.

Esta propiedad nos permite ante una serie de este tipo obtener todos los valores que queramos de la serie dados tres valores de la misma.

Con este razonamiento Fibonacci obtenía una sucesión de importantes propiedades, entre otras y la que más nos interesa destacar en nuestro caso, es que esta sucesión tiende en su límite a que un miembro de la misma dividido por el anterior nos de como resultado el número Φ de esta forma tendremos haciendo la siguiente operación entre el término 11 y 12:

$$\frac{144}{89} = 1.6179$$

si se aplica en términos más avanzados, que consistiría en hacer tender la sucesión al límite infinito, daría el número Φ que recordaremos tomábamos 1.618 para simplificar.

A este tipo de series se las denomina "Series de Fibonacci" en su honor.

En la acción de hacer una fotografía, encuadramos la cámara ante un paisaje y aun no teniendo ninguna preparación de tipo artístico, valoramos el encuadre hasta que consideramos que es equilibrado y proporcional.

Si comprobáramos la situación de la línea de horizonte en nuestra foto en la mayoría de casos y sin tener conocimientos previos habríamos elegido una relación Φ .

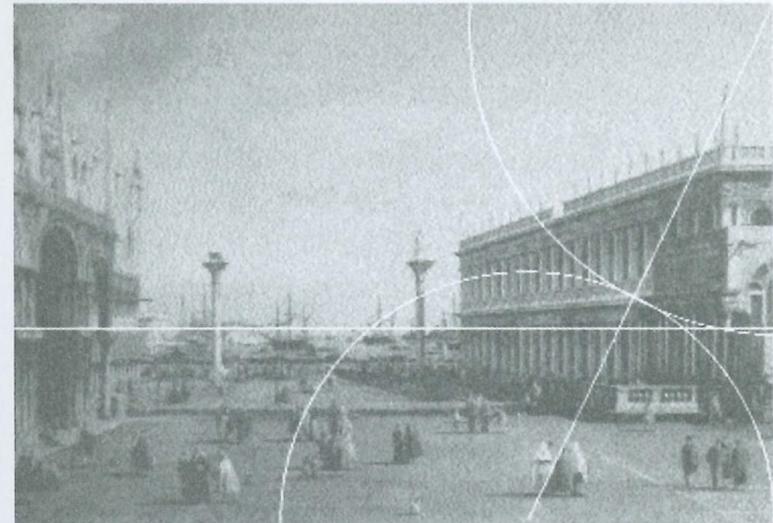
Aplicaremos lo desarrollado en una pintura de CANALETTO.

Antonio Canal más conocido por CANALETTO nació en Venecia en 1697 era hijo de lo que hoy llamaríamos un Escenógrafo, estaba dotado de una gran meticulosidad que unido a su buen dibujo y magnífica técnica conseguía perfectos paisajes en general urbanos.

Utilizaba en muchas ocasiones una "cámara oscura" similar a la de los fotógrafos callejeros de mitad del siglo XX que tenía un espejo abatible en su parte superior por la que captaba el paisaje situado a su espalda, la imagen tras pasar por una lente biconvexa que podía cambiar por otras de diferente distancia focal, se proyectaba sobre el papel horizontal que tenía en el interior de la cámara, esto le permitía repasar lo proyectado y obtener así una perfecta perspectiva con todo lujo de detalles.

Cuando lo creía conveniente eliminaba alguno de los edificios existentes por estar ruinosos o no ser de su agrado y posteriormente lo reemplazaba por otros más lujosos.

La Piazzeta



Como ejemplo de aplicación en la Arquitectura de la proporción desarrollada, destacaremos una obra del Arquitecto Renacentista:

LEON BAUTISTA ALBERTI

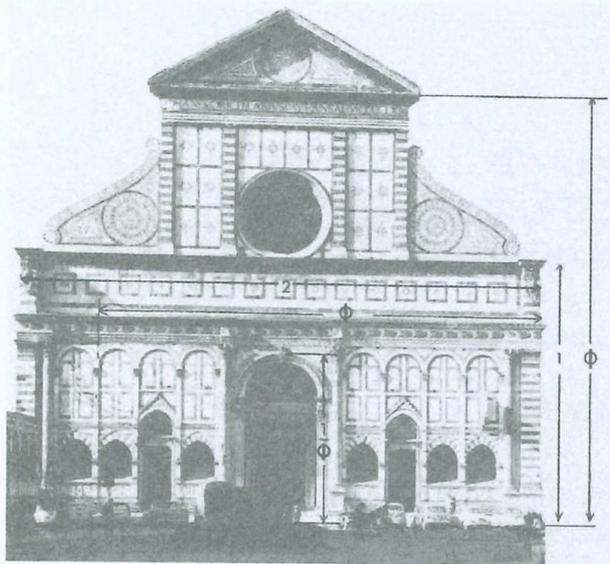
Este importante arquitecto nació en Venecia en 1404 desarrolló diversas Artes, siendo destacado como arquitecto, pintor, escritor de temas artísticos y curiosamente también tiene en su haber inventos como la "cámara oscura".

Debido a sus diversas actividades le conocían como el “Hombre Enciclopédico”, una de sus obras arquitectónicas más destacada por la dificultad que entrañaba es la realización de la fachada de Santa Maria Novella en Florencia, se partía de una iglesia medieval ya existente y con partes de la fachada antigua en pie que no se podían derruir.

En un principio Alberti se planteó que la fachada que debía construir fuera una prolongación de la parte existente para mantener de esta forma una fidelidad formal en su resultado final, sin embargo y paradójicamente la fachada resultante pasó ser un punto de partida en un nuevo estilo de fachadas de iglesias.

Alberti tuvo muy en cuenta los “factores armónicos” de su fachada cumpliendo lo antes ya nombrado sobre la Divina Proporción.

En la imagen se han indicado alguno de los valores importantes de la proporción.



Sacred geometry. Robert Lawlor
© 1982 Thames and Hudson Ltd, London

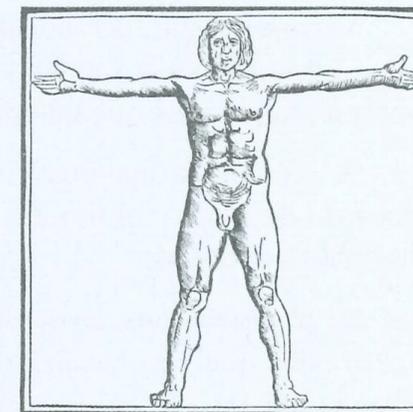
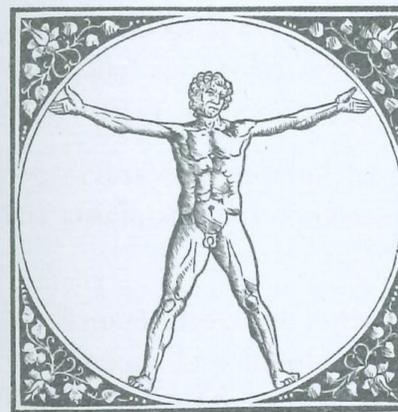
VITRUVIO

Arquitecto e Ingeniero Militar vivió en el siglo I a.C. fue responsable del servicio de aguas de Roma, escribió “De Architectura” que consta de diez libros, por sus escritos se deduce el interés por el estudio y análisis de las dimensiones y proporciones del cuerpo humano.

Basándose en el tercer libro sobre “Los Templos” de Vitruvio en el que este contestaba a la pregunta sobre que forma debían de tener los edificios sagrados, en cuanto a proporción y armonía, decía “puesto que el hombre estaba creado a imagen y semejanza de Dios, los templos debían reflejar las proporciones de la figura humana” y como demostración de esto, presentó como un hombre bien constituido con los brazos extendidos, encajaba perfectamente en las figuras geométricas mas perfectas, es decir en el círculo y en el cuadrado.

En una edición de Vitruvio de fra Giocondo, editada en Venecia en 1511 aparecen las figuras de dos hombres inscritos en un círculo y un cuadrado.

Son muchas las figuras Vitruvianas, pero la más demostrativa y bella es la que realizó Leonardo da Vinci.



LEONARDO DA VINCI

Uno de los mayores genios de todos los tiempos nació en la localidad de Vinci cercana Florencia en 1452 era hijo natural del notario Ser Piero que viendo las dotes naturales para el dibujo y su gran imaginación en la construcción de sus propios juguetes basándose en aplicación de propiedades físicas que había descubierto observando todo el entorno natural en su casa de Vinci.

Nombrado su padre notario de Florencia este se lo llevó consigo y lo dejó a cargo de Andrea il Verrocchio que tenía el taller artístico más importante de la ciudad, en un corto espacio de tiempo demostró ante el maestro su enorme valía, de forma que este le encargaba los trabajos más delicados.

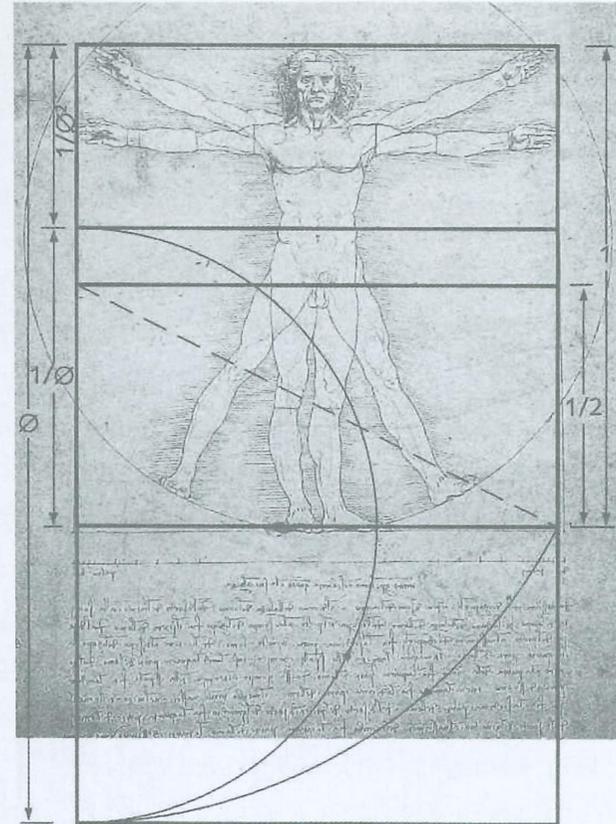
En 1482 abandonó Florencia y se fue a Milán donde permaneció 16 años con Ludovico Sforza, llamado el Moro, trabajando preferentemente en diseños de ingeniería militar.

Se conservan numerosos Códices con variadas figuras unas junto a otras que dan solución a cosas muy diversas, como Cúpulas, dibujo de vegetales de armas, fragmentos de caballos en diversas posiciones etc. las ideas acudían en tropel a su cabeza y él las plasmaba en pequeños fragmentos de papel.

A requerimiento del monarca francés Francisco I se trasladó a Francia donde residió en el Palacio Cloux cerca de Amboise, lugar en el que falleció el 2 de mayo de 1519.

Se presenta la interpretación del hombre de Vitruvio por Leonardo da Vinci y el trazado geométrico que manifiesta sus relaciones armónicas.

En la misma línea, es de destacar el arquitecto Francés LE CORBUSIER que revolucionó con su Modulor el proceso de proyectación de planes urbanísticos, barrios de viviendas de



bajo costo, plan de museos para el estado y edificios varios en Francia y Argel.

LE CORBUSIER de nombre Charles- Edouard Jeanneret

Nació La Chaud-des-Fonds Francia en 1887 dada su capacidad para el dibujo ingresó con catorce años en la Escuela de Arte de su ciudad natal, con 20 años con la Escuela realizará un viaje por Alemania, con el fin de estudiar el movimiento de las Artes Aplicadas de aquel país, viajó posteriormente por los Balcanes y a la edad de 30 años se instala en París, donde pintó sus primeros cuadros y fundó en 1920 la revista "Esprit Nouveau".

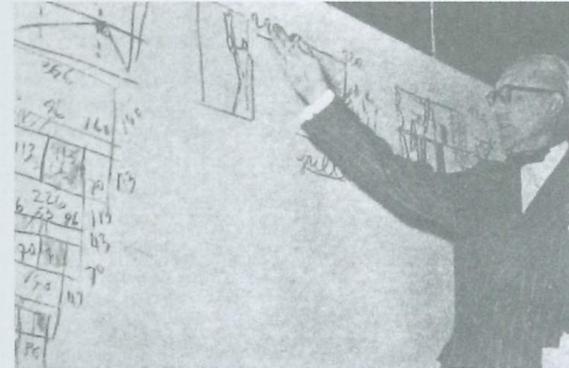
Reunió en su taller a jóvenes arquitectos de todas las nacionalidades y en esta época desarrolla un Plan para una ciudad contemporánea de tres millones de habitantes, aportando conceptos modernos de un nuevo urbanismo.

En 1925 en la Exposición Internacional de Artes Decorativas proyecta el pabellón del "Esprit Nouveau" que causó sensación.

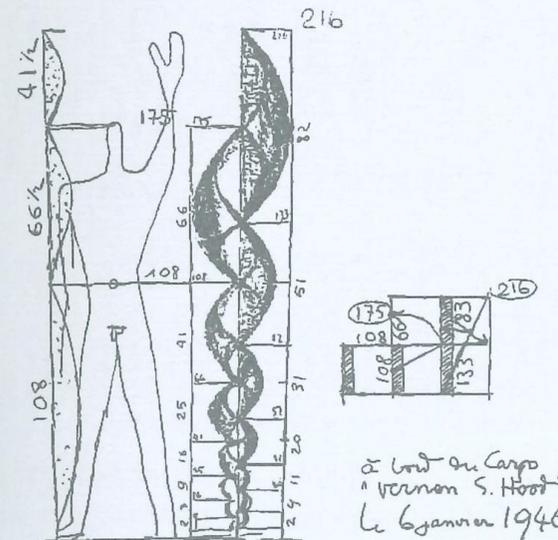
En plena Segunda Guerra Mundial concibe la idea de desarrollar una pauta armónica a escala humana, dado que es contradictorio que la unidad de medida no esté relacionada con respecto al hombre sino con respecto a un cuadrante del Meridiano terrestre (su diezmillonésima parte).

De esta forma y con ayuda de alguno de sus colaboradores y tras largas penurias da con el método y presenta en Milán en 1957 su Modulor.

Parte en principio de la medida de un hombre 175. cm que con el brazo levantado alcanza una altura de 216 cm. que correspondía a la de un francés del norte, en la oficina de patentes un amigo le aconseja de que con la serie de Fibonacci obtenida con el desarrollo a partir de esta altura tendría problemas al pasarlo a unidades inglesas.



Le Corbusier 1910-65
Edit. Gustavo Gili S.A.
Autor: W. Boesiger /
H. Girsberger
D.L. D-17013-1971



En el dibujo original que hizo Le Corbusier, señala las dos series de Fibonacci generadas a partir de tres valores obtenidos en el desarrollo del Modulor inicial.

Por la advertencia dada por el empleado de de la oficina de patentes se replantea el problema y consigue una solución viable, partiendo de un hombre de 183 cm. de altura y 226 cm. con el brazo levantado.

En el nuevo cálculo de la serie inicial encuentra tres valores:

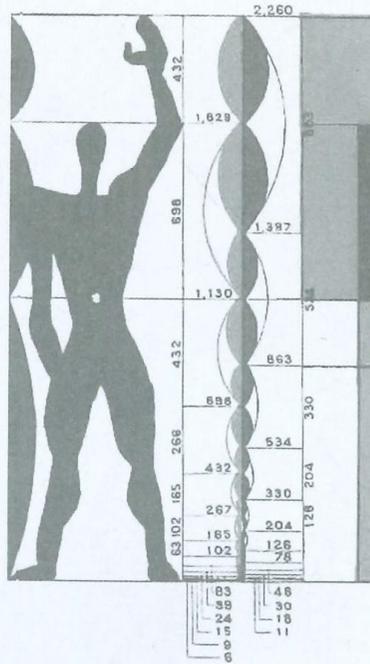
113 el plexo solar (ombligo)

70

43

que conforman una serie de Fibonacci, ya que cada elemento de la misma es igual a la suma de los dos anteriores.

A partir de estos datos ya se pueden obtener los miembros de la serie simple y también la de la doble, ya que esta es una de las propiedades de este tipo de series, la serie simple se define como "serie roja" y la doble se define como "serie azul", las medidas que van dando corresponden a un hombre de pié, apoyado en una barra, sentado etc.

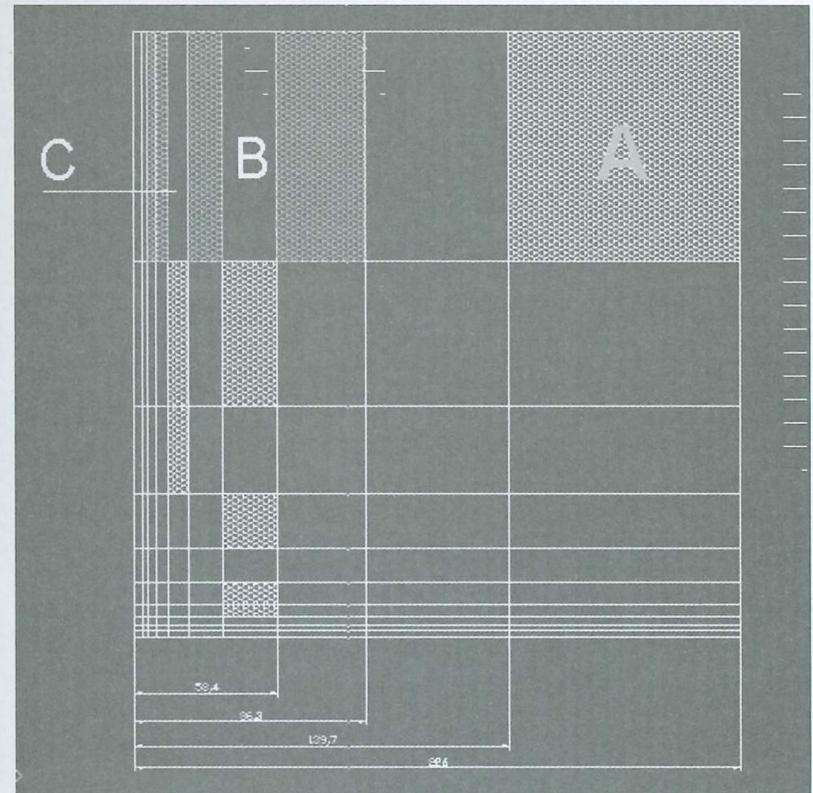


¿Pero que interés aparte de la serie armónica obtenida en base a medidas humanas, puede tener el modulor?

Como su nombre indica es un instrumento de modulación antropocéntrica, la arquitectura y el urbanismo condicionan nuestro entorno, parece coherente que si es para el hombre esté planteado a escala humana.

Si con los valores obtenidos con las dos series realizamos una trama se entenderá fácilmente la aplicación del Modulor.

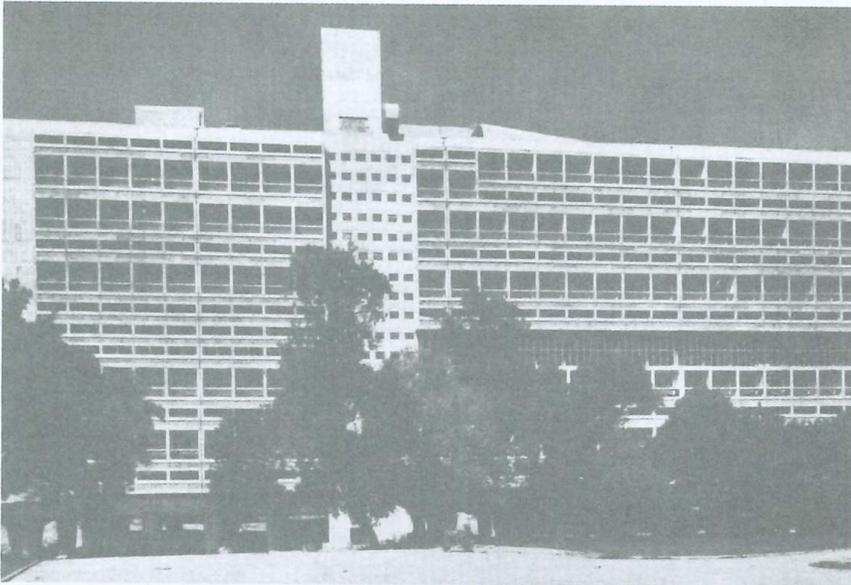
En las zonas paralelas tanto las horizontales como las verticales, al estar en serie armónica puede cada casilla ser sustituida por la suma de otras en su vertical y horizontal



correspondiente, pero es que a su vez cada una de las sustitutas puede también descomponerse en sus líneas verticales y horizontales, lo que da infinidad de combinaciones todas ellas perfectamente moduladas.

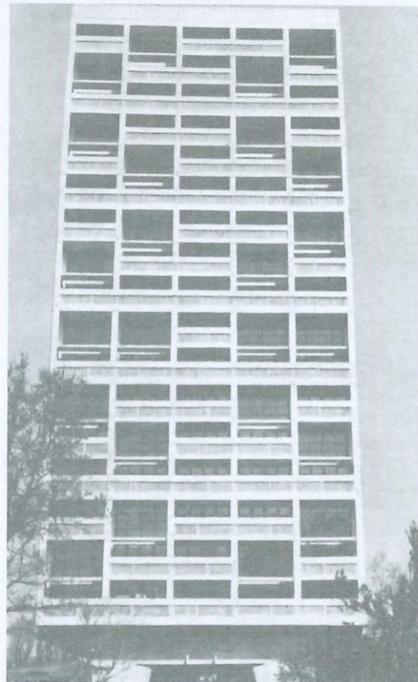
De esta manera y siguiendo la imagen el cuadrado A en su línea horizontal es igual a la suma de las bandas sombreadas más el espacio B y el espacio C, pero estos espacios han sido a su vez descompuestos en sus líneas verticales, con lo que el espacio A se vería subdividido por todos los rectángulos sombreados.

Si nos elevamos en el espacio con la misma proporción habríamos modulado el espacio tridimensional.



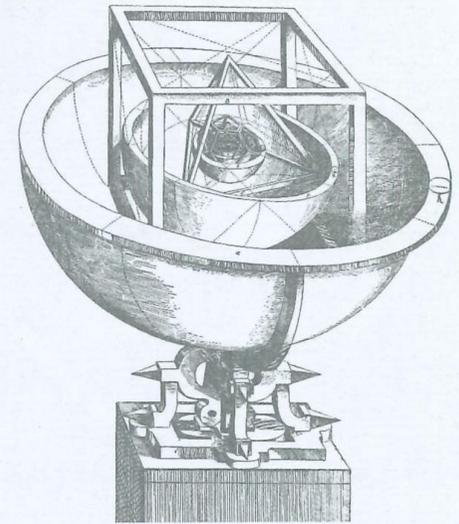
El edificio en Marsella de Le Corbusier, está resuelto según lo dicho anteriormente.

Esta unidad de habitación en Marsella aparte de la modulación exterior evidente, existía una modulación interna que permitía viviendas con diferentes programas familiares.



ORDEN Y ESTRUCTURAS

EUCLIDES (Siglo III a.C.) en su obra "Los Elementos" ya presentaba a los cinco Poliedros Regulares, nombrando algunas de sus propiedades, así mismo PLATÓN (428 a.C.) En su obra "El Timeo" escribe sobre los Poliedros Regulares, figuras que utilizó como apoyo en los desarrollos de su filosofía adjudicándoles a cada uno de ellos un elemento (tierra, agua, aire etc.).



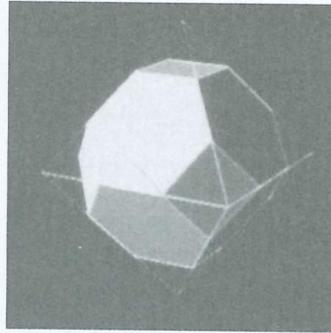
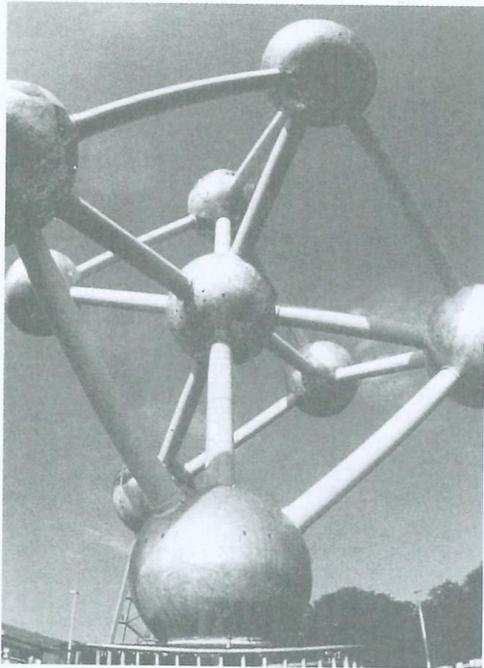
El astrónomo alemán Johannes KEPLER (1571-1630) manifestaba en su obra "El misterio cósmico" el siguiente razonamiento:

"Antes de ser creado el universo, no existían números, excepto la Trinidad, que es Dios mismo.

Consideremos por lo tanto a los sólidos, primero deberemos eliminar a los sólidos irregulares, dado que sólo estamos interesados en la creación ordenada.

Quedan por tanto seis cuerpos: La Esfera y los cinco Poliedros Regulares, a la esfera le corresponde el cielo exterior, mientras que el mundo dinámico está representado por los sólidos de cara plana, de los cuales existen cinco..."

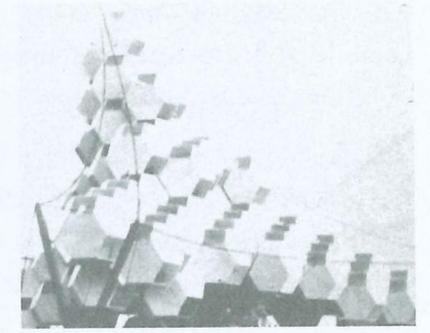
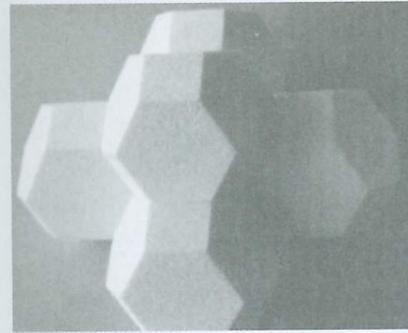
Los Poliedros Regulares se encuentran en formaciones cristalinas en la Naturaleza, luego no son un descubrimiento del



hombre, así como otros tipos de Poliedros Semirregulares Arquimedianos y Poliedros de Catalán.

Las superficies poliédricas utilizadas en estado puro en arquitectura tienen como principal finalidad indicar avance tecnológico como ocurre con el "Atomium" de Bruselas que es un Hexaedro o Cubo apoyado por un vértice y desde luego impacta en el observador que es de lo que se trataba.

Los Poliedros Regulares, truncados, biselados etc. dan lugar a 13 Poliedros Semirregulares Arquimedianos uno de ellos el Poliedro de Lord Kelvin que procede del Octaedro Regular truncado por los tercios de las aristas da lugar a un poliedro de ocho caras que son hexágonos y seis caras que son cuadrados.

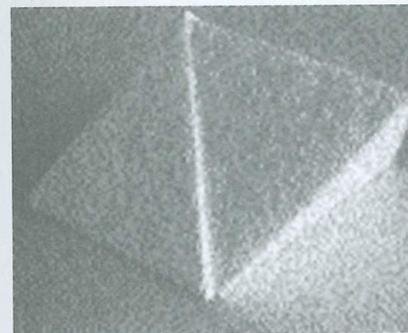


Tiene este poliedro la ventajosa facultad de compactar es decir no dejar huecos en el espacio con agrupaciones del mismo poliedro.

Estos Poliedros de Lord Kelvin como se puede observar contactan perfectamente sin dejar huecos, esta propiedad es aprovechada en arquitectura para el desarrollo de edificaciones resueltas con módulos de este tipo prefabricados.

La edificación realizada en Canadá ha utilizado poliedros de Lord Kelvin en su modulación.

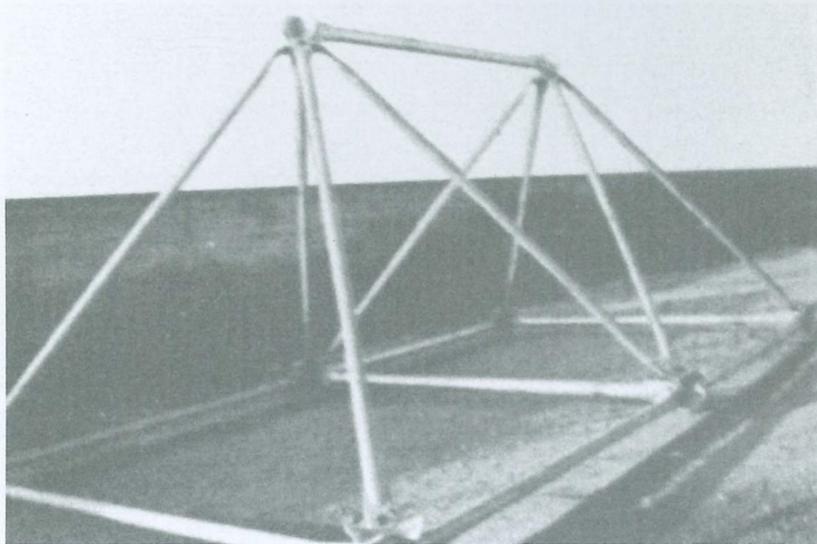
Los cinco Poliedros Regulares están métricamente ligados entre sí, unos son inscribibles dentro de los otros, uniendo el centro de las caras de uno de los poliedros se obtiene otro, salvo el Tetraedro que da otro tetraedro y muchas propiedades más.



RICHARD BUCKMINSTER FULLER (1895-1983) no era ajeno a estas propiedades, así que pensó en desarrollar unas formas estructurales a partir de estas relaciones métricas.

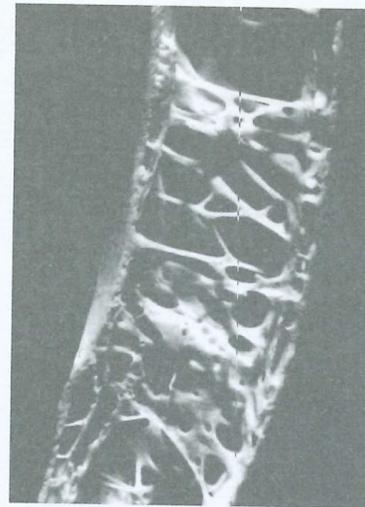
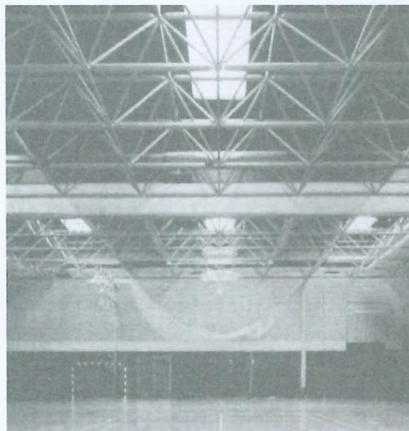
Si partimos de la mitad de un Octaedro y a una de sus caras le aplicamos un Tetraedro de la misma longitud de arista obtenemos un módulo que es capaz de compactar el espacio 3D.

Si solamente tenemos en cuenta las aristas de la figura generada, conseguiremos una estructura liviana y de gran rigidez, que haciéndola extensiva en todas direcciones, se genera



un Malla Espacial Plana de caras paralelas.

El gimnasio de la imagen está resuelto con este tipo de estructura, además se ha tenido en cuenta el tipo de sollicitación que tienen las barras, las que están sujetas a compresión son de mayor diámetro y las sujetas a

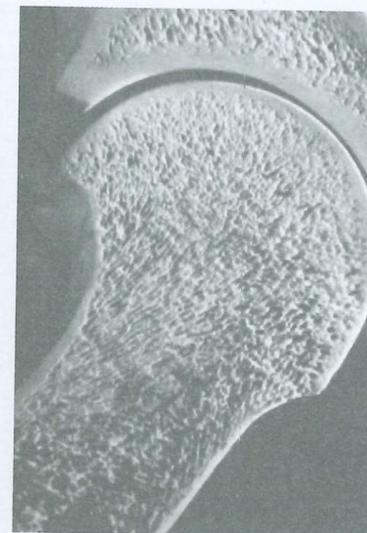


esfuerzos de tracción son de menor sección.

Sin embargo la Naturaleza ya lo había resuelto los huesos del ala del águila (también ocurre en otras aves) poseen una estructura similar a la de una malla espacial plana, es decir la zona entre capas externas es casi hueca salvo una red de trabéculas que conecta ambas capas que distribuyen y transmiten esfuerzos, consiguiendo aligerar el peso del

hueso con respecto a otro macizo que tuviera que soportar el mismo tipo de esfuerzos.

Dicha red tiene aparentemente una distribución desordenada con trabéculas de diferente situación, inclinación y espesor, esta circunstancia obedece a que al tratarse de una estructura que ha crecido en el tiempo con el animal en acción, se ha tenido que ir acomodando a las situaciones más repetitivas en la actuación vivencial del animal.



Los huesos largos de mamíferos incluido el hombre son huecos interiormente y de forma redondeada, no requieren en principio ninguna conexión de trabéculas entre paredes opuestas en la zona central, pero si en los extremos de los mismos por ser las

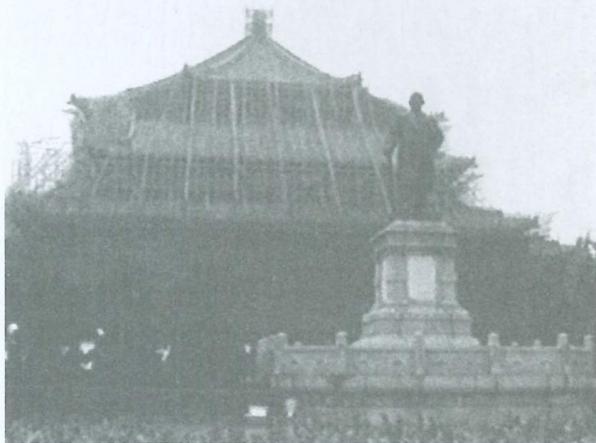
áreas de conexión con otros huesos y donde se concentran la mayor intensidad de las fuerzas a transmitir, la densidad de materia por tanto disminuye conforme aumenta la distancia al extremo y al perímetro del hueso, como puede observarse en la figura que presenta la sección de la articulación coxal de un caballo.



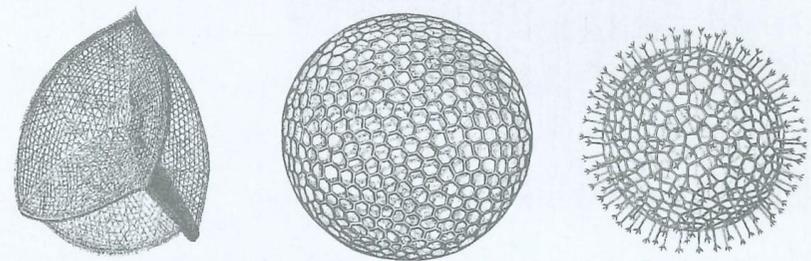
En el puente de Forth en Escocia construido por los Ingenieros B. Baker y J. Fowler en 1883-1890 para el paso del ferrocarril que resultó ser una primicia de la ingeniería, sus principales vigas inclinadas son de tubos de acero de 3.60 m. de diámetro a imagen y semejanza de la estructura de un tallo vegetal cilíndrico, que tiene internamente seis refuerzos en forma de T que se corresponden a los paquetes vasculares, con anillos de refuerzo al igual que en un tallo de bambú.

No es de extrañar por tanto que todavía en países como China en los que el bambú es usual lo utilicen como estructura exterior en la limpieza y restauración de fachadas de edificios algunos de ellos de considerable altura.

Templo en Cantón (China) en proceso de restauración

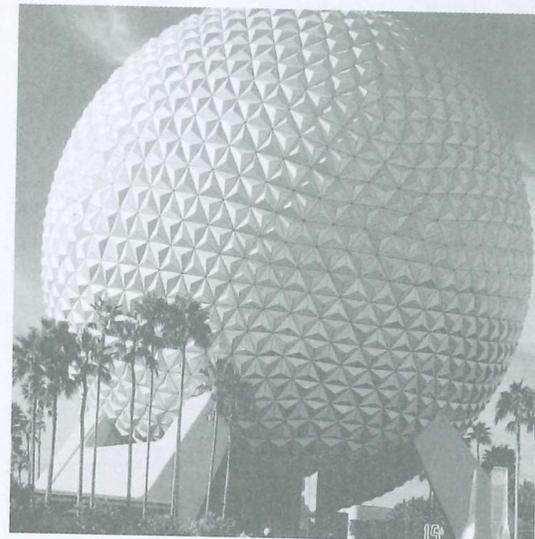


R. Buckminster Fuller quedó asombrado cuando tuvo información de los trabajos del biólogo alemán, nacido en Potsdam en 1834 Ernst Heinrich Haeckel que realizó sobre esqueletos fósiles de Radiolarios a través de la observación microscópica procediendo a dibujarlos con una precisión y meticulosidad destacable.

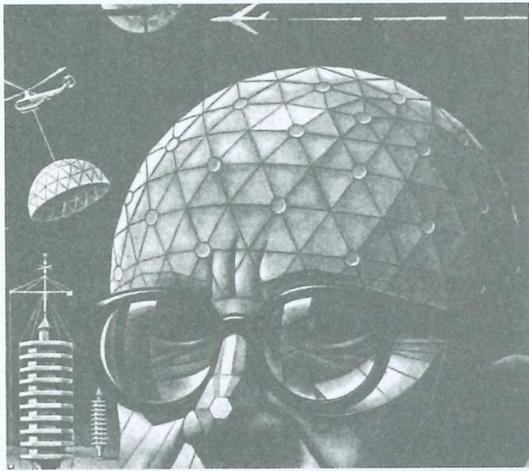


Le cupole geodetiche. Riccardo Migliari. Edizioni K 1975. Tipo-litografía C.A. SCHIRR. Roma 678.48

Los magníficos dibujos y la belleza de las estructuras inspiraron a Fuller a generar estructuras similares trazadas a partir de Poliedros Regulares o Semirregulares Arquimedianos.

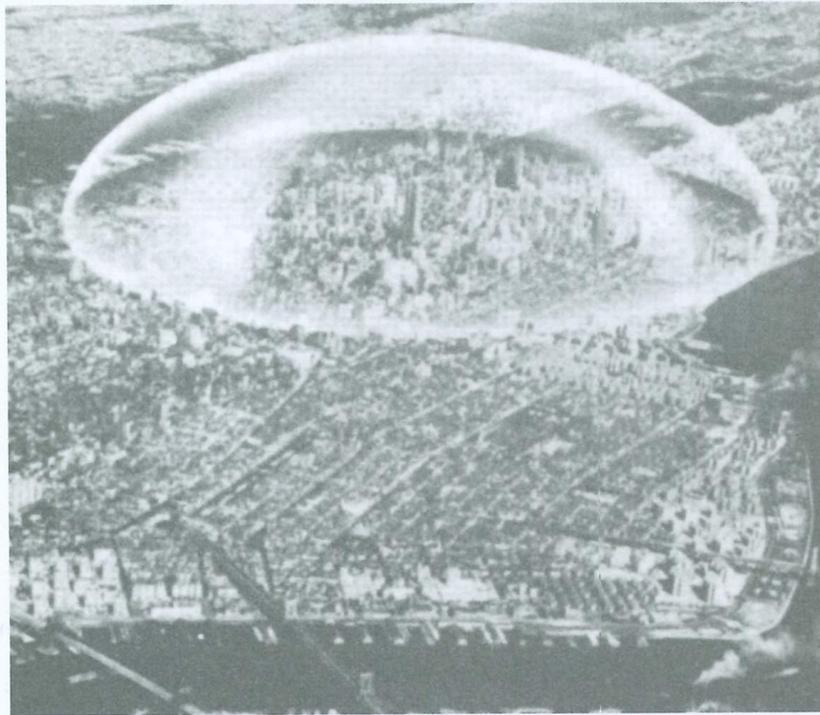


Cúpula Geodésica en Epcot Center (Orlando-Florida)



La obsesión de Fuller al respecto fue tan grande que la revista TIME le dedicó una portada en la que su cabeza era una Cúpula Geodésica.

Planteó la utopía de la posibilidad de cubrir gran parte de Manhattan, con una Cúpula de este tipo.



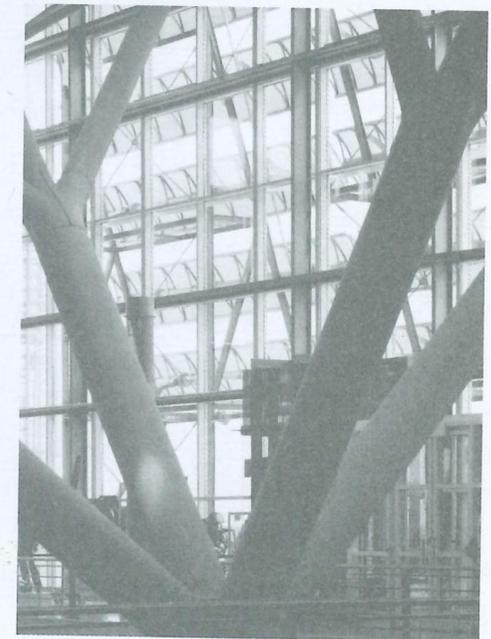
Las estructuras naturales han servido de inspiración a arquitectos e Ingenieros civiles, Arquitectura e Ingeniería van en estos casos en paralelo y este tipo de arquitectura estructural compete a ambos.

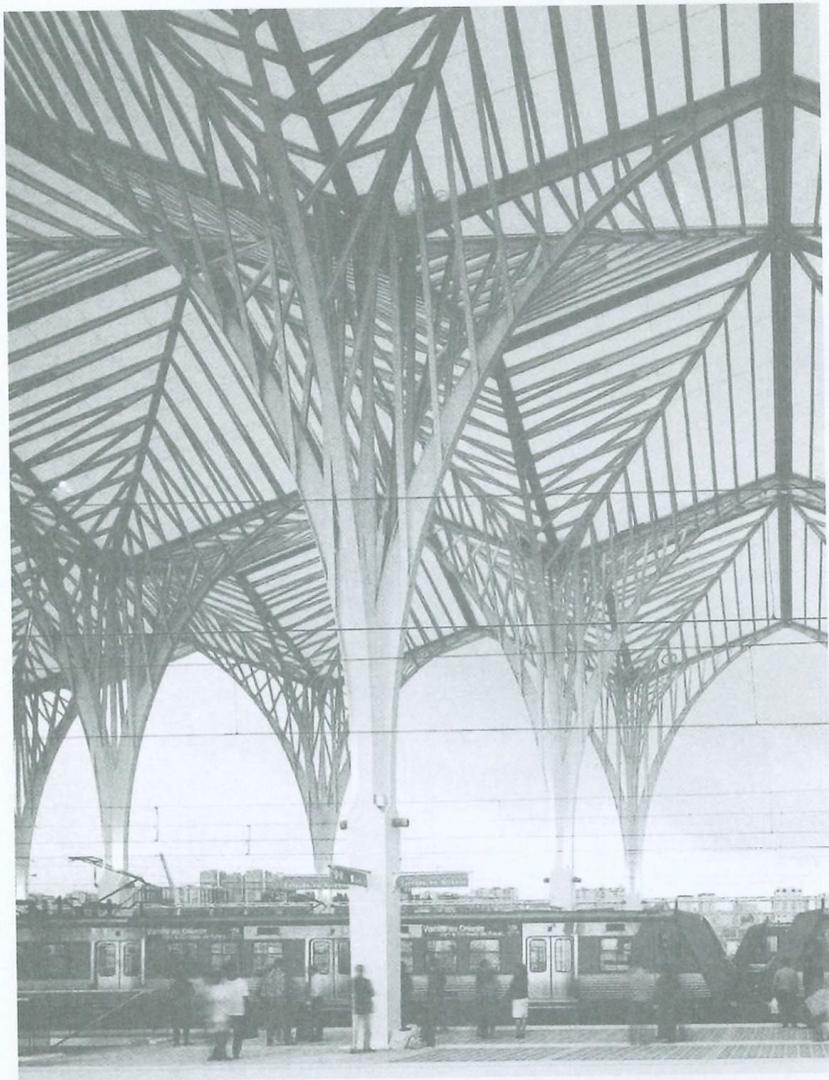
Podemos llamar “**estructuras arbóreas**” las que tienen su inspiración en la distribución de esfuerzos por ramificación, veamos algunos ejemplos.

Aeropuerto de Stuttgart

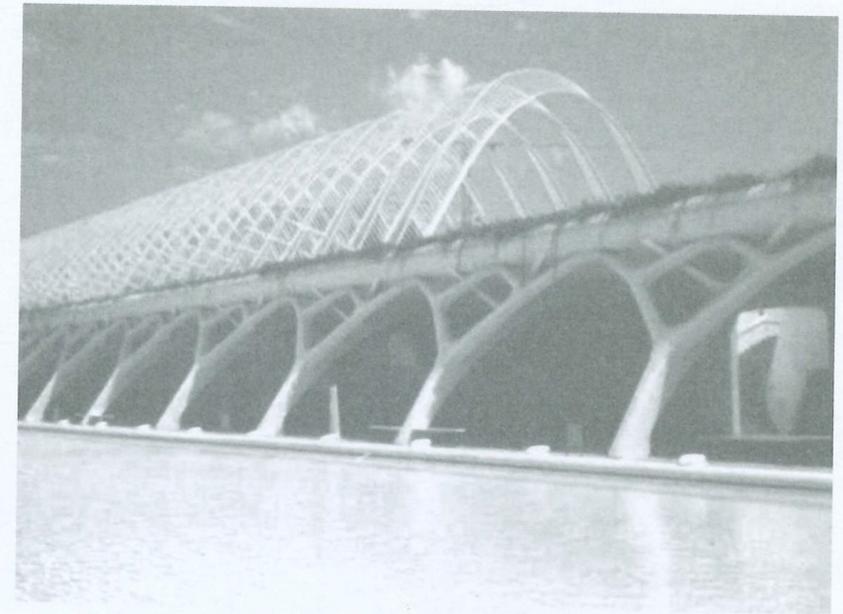
Arquitecto: **Meinhard von Gerkan**

El arquitecto Meinhard von Gerkan nacido en Riga (Letonia) en 1935 realizó en 1992 la edificación del lobby del aeropuerto de Stuttgart.



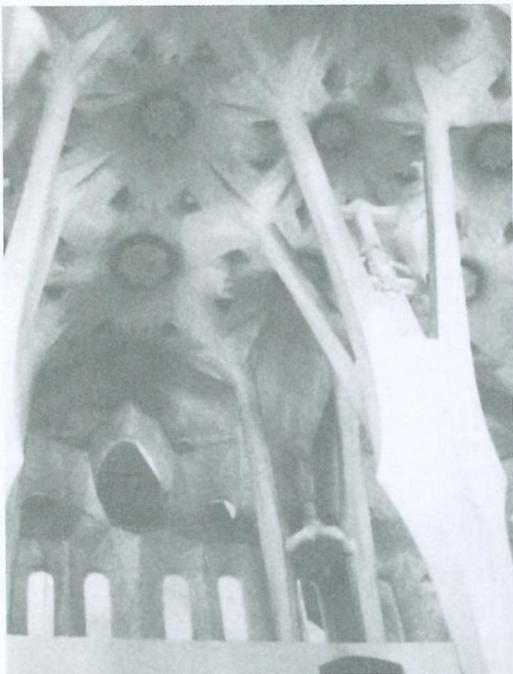


El arquitecto Santiago Calatrava nacido en Benimámet (Valencia) en 1951 realiza el proyecto y ejecución de la Estación de Oriente el Lisboa (1993-98) y en ella utiliza una estructura calada, liviana que amortigua en el viajero la sensación de estar encerrado en una estación, su estructura recuerda un medio natural arbóreo.



Ciudad de las Artes y las Ciencias

Arquitecto: **Santiago Calatrava**



El arquitecto **Antonio Gaudí** nacido en Reus (Tarragona) en 1852 acometió la realización de la Sagrada Familia en 1882, en las imágenes se observan dos vistas interiores del templo.

La estructura arborescente es muy utilizada por Gaudí dado su estilo atrevido de tratar las estructuras.

Los pilares como era usual en Gaudí son inclinados en la dirección que llevan las resultantes de los esfuerzos.



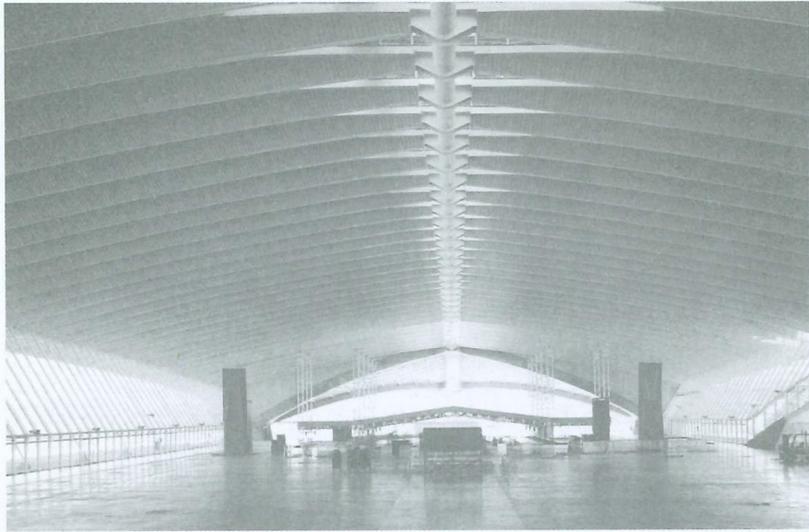
Capilla de la Colonia Güell
Arquitecto: **Antonio Gaudí**

Estructura Torácica podría ser el nombre adecuado para este tipo de tratamiento estructural.

La estructura del tórax con una nervadura central y las costillas que parten de dicha nervadura, es un tipo natural de estructura que se aplica en arquitectura en edificios singulares.

Lo que no es tan común es aplicarlo con elementos modulares de pequeño tamaño como son los ladrillos, este el caso de la Capilla de la Colonia Güell en las cercanías de Barcelona.

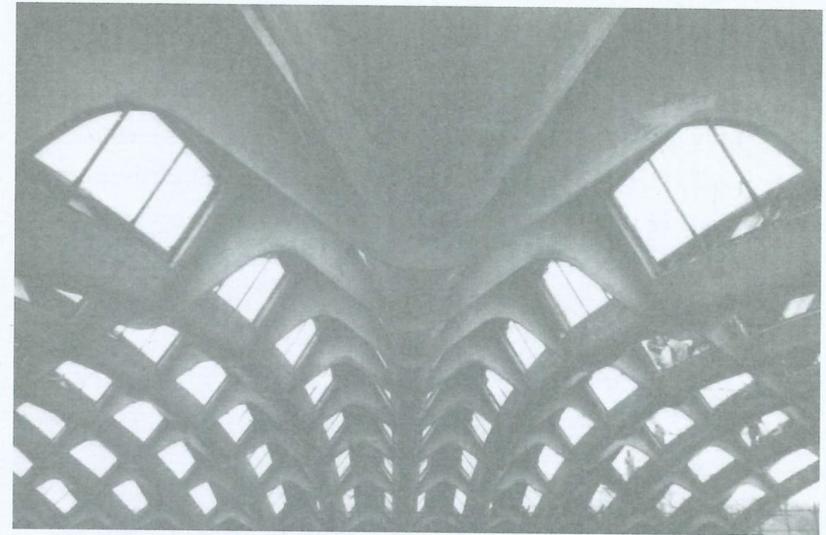




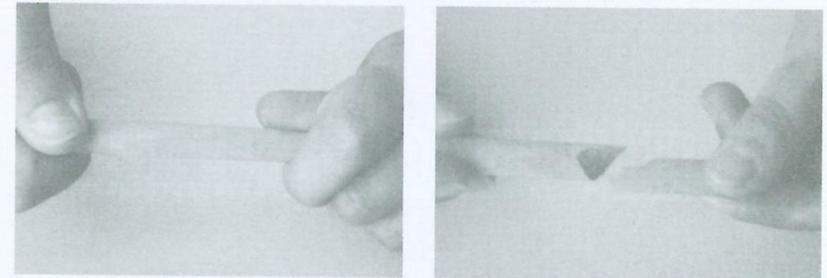
En la actualidad con materiales como hormigón de alta resistencia y nuevas tecnologías constructivas se consiguen luces de gran magnitud.



Centro de Exhibición en Santa Cruz de Tenerife (Canarias)-
Arquitecto: **Santiago Calatrava**



Pier Luigi Nervi desarrolló esta llamativa y hermosa estructura orgánica en el Palacio de Exposiciones de Turín.

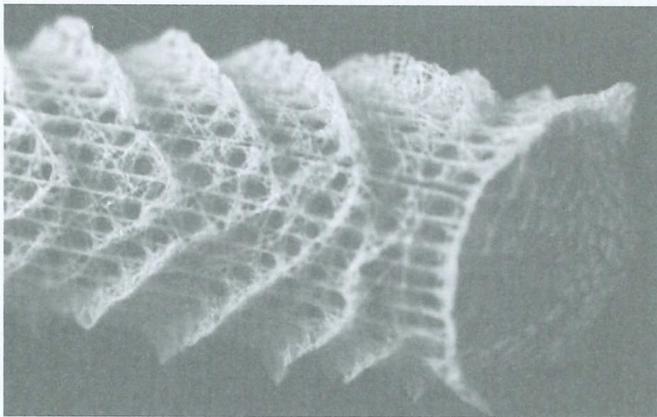


Los cuerpos esbeltos, es decir que tienen mucha más longitud que sección, se rompen generalmente por esfuerzos de torsión, así vemos en las dos imágenes siguientes como sometida una tiza, que evidentemente cumple la condición de esbelta, a esfuerzo de torsión, se rompe según un ángulo de 45° medido en una u otra dirección según el sentido de actuación de la fuerza.

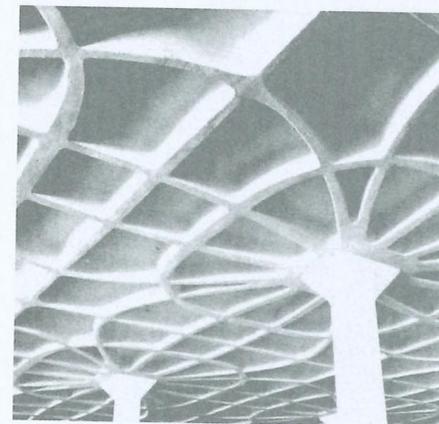
Pier Luigi Nervi como buen estructuralista conocía esta circunstancia, por lo que al encargarle el ejército italiano la construcción de unos hangares de grandes proporciones y por tanto muy esbeltos sabía que tenía que preparar la estructura para soportar esfuerzos a 45° en uno u otro sentido, como se observa en la estructura del hangar.



Pero como siempre la Naturaleza ya se había adelantado en esta solución estructural como puede observarse en el esqueleto de la esponja.



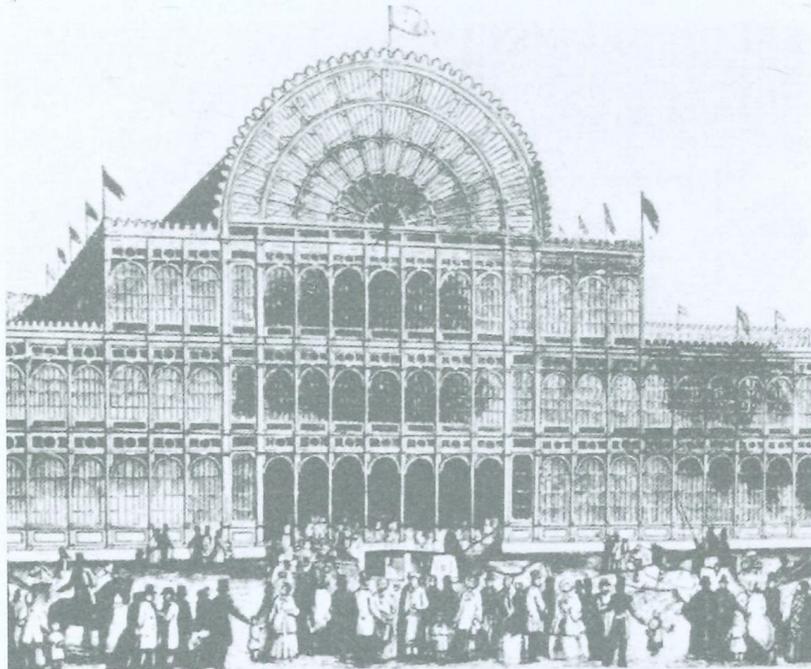
Tomando como ejemplo la Victoria Regia, planta acuática de gran dimensión (hasta 2.- m. de diámetro) que tiene su hábitat en el río Amazonas (Brasil) esta planta se encuentra unida al fondo por un importante tallo del que parten nervaduras que mantienen su rigidez, así como numerosos pinchos que la protegen de depredadores dado que es una planta carnosa.



Pier Luigi Nervi resuelve una estructura con nervaduras que siguen la líneas isostáticas resultando de gran similitud a la Victoria Regia.

Sir Joseph Paxton (Jardinero)

Realizó inspirándose en la Victoria Regia la enorme edificación del Cristal Palace de Londres con motivo de la Exposición Internacional de 1851.

**Conclusión**

De lo desarrollado en esta limitada exposición sobre proporción, orden y estructuras naturales, se puede extraer la conclusión salvo excepciones, de que pasamos por nuestro entorno natural sin apenas prestar atención a lo percibido lo damos todo o casi todo como algo que tiene que ser así sin más análisis, acordémonos de cuando éramos niños que todo nos llamaba la atención y que mortificábamos con porques a todo aquel que se nos acercaba.

Quizás sería enriquecedor, volver a ser un poco niños y retomar la práctica de los porques, seguro que nos estamos perdiendo mucho.

ESTE LIBRO SE TERMINÓ DE IMPRIMIR
EN LOS TALLERES GRÁFICOS
DE MARÍ MONTAÑANA® DE VALENCIA,
EL DÍA 7 DE OCTUBRE DE 2002
FESTIVIDAD DE NTRA. SRA. DEL ROSARIO

DE ESTA EDICIÓN SE HAN IMPRESO
750 EJEMPLARES
NUMERADOS DEL 1 AL 750

EJEMPLAR

06



Universidad
Cardenal Herrera-CEU