

1 M M  
M M I  
1 M M

[Blank white label]





LOS CUERPOS GEOMÉTRICOS  
EN LA  
ARQUITECTURA DE GAUDÍ

Aquesta tesi ha estat enregistrada  
amb el núm. 344

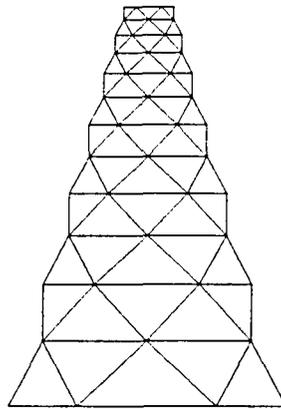
Tesis doctoral

**LOS CUERPOS GEOMÉTRICOS  
EN LA  
ARQUITECTURA DE GAUDÍ**

*Las chimeneas del Palau Güell.  
Construcción y geometría práctica en un ejemplo*

**TOMO I**

**UPC**  
BIBLIOTECA RECTOR GABRIEL FERRATE  
Campus Nord



**GUSTAVO J. NOCITO**  
Departament d'EGA I. ETSAB. UPC. Barcelona  
*Tesis dirigida por Lluís Villanueva Bartrina*

*A Mowgli, a Mauro.*

## ÍNDICE TOMO I

PRÓLOGO - 8

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN: LA FORMA COMO ESTRATEGIA GEOMÉTRICA EN GAUDÍ

LA REPRESENTACIÓN DE LA NATURALEZA - 12

APARIENCIA Y PROCESO GENERADOR DE LA FORMA EN GAUDÍ - 14

EL ESTUDIO DE UN EJEMPLO - 19

### CAPÍTULO II

#### GEOMETRÍA EN GAUDÍ Y FORMAS NATURALES

RECREAR LA NATURALEZA. GAUDÍ Y SUS CONTEMPORÁNEOS - 25

LA NATURALEZA SE ESTUDIA COMO FORMA

*Los antecedentes - 27*

*Un tratado definitivo - 31*

*Caminos paralelos y coincidencias - 36*

GEOMETRÍA COMO APROXIMACIÓN - 38

ARQUETIPOS NATURALES Y CUERPOS GEOMÉTRICOS EN GAUDÍ

*Las superficies mínimas - 44*

*Helicoides, hélices, espirales - 51*

*El concepto del tiempo en la obra gaudiniana - 63*

FIGURAS - 67

### CAPÍTULO III

#### UNA GEOMETRÍA PARA CONSTRUIR

GEOMETRÍA E INTUICIÓN - 79

RACIONALISMO MEDIEVALISTA

*Viollet-le-Duc y Choisy - 85*

*Antoni Gaudí: la construcción racional - 91*

CONSTRUIR CON LADRILLOS

*La tradición - 95*

*Los maestros - 98*

GENERACIÓN GEOMÉTRICA Y PROCESO CONSTRUCTIVO - 105

HACIA UNA GEOMETRÍA APLICADA - 113

FIGURAS - 120

## CAPÍTULO IV

### LA CHIMENEA DEL PALAU GÜELL

#### EL PALAU GÜELL

*Un punto álgido de la construcción geométrica gaudiniana - 126*

*Las chimeneas de la terraza - 133*

*El modelo de estudio - 135*

#### PROCESO FOTOGRAMÉTRICO

*El proyecto de toma fotográfica - 140*

*Las tomas fotográficas - 147*

*El trabajo de gabinete - 152*

*La restitución - 154*

**FIGURAS - 158**

## CAPÍTULO V

### EL MODELO RESTITUIDO

**PRIMERAS APROXIMACIONES AL ESTUDIO GEOMÉTRICO - 176**

**EL MODELO DE LOS CUADRILÁTEROS - 180**

*Las series de cuadriláteros - 183*

**EL MODELO POLIGONAL - 190**

*Las hélices - 193*

## CAPÍTULO VI

### EL MODELO TEÓRICO

*El sentido de un modelo teórico - 200*

*Cuestiones acerca de la generación del modelo - 202*

*El trazado - 211*

#### LOS CUADRILÁTEROS

*Series homotéticas y cuadriláteros semejantes - 213*

**HÉLICES Y ESPIRALES - 220**

**LAS SUPERFICIES - 226**

## CAPÍTULO VII

### RESULTADOS DE UNA COMPARACIÓN

*Alcances de un método comparativo entre los modelos - 229*

*La forma de los cuadriláteros - 232*

*El cono y las espirales - 234*

*El proceso de generación - 238*

*El proceso constructivo - 242*

**CAPÍTULO VIII**

**APLICACIÓN Y CONTINUIDAD DEL MÉTODO GENERATIVO**

*Geometría dinámica* - 249

*Las otras chimeneas* - 251

*Guarini y Gaudí* - 260

**CONCLUSIONES FINALES**

*Gaudí: coherencia geométrica y práctica de la arquitectura* - 263

*Acerca de lo operativo en la investigación geométrica* - 266

**FIGURAS - 269**

**PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES - 296**

**BIBLIOGRAFÍA - 299**

## PRÓLOGO

Cuando, en los primeros balbuceos de esta tesis, apareció la posibilidad de hacer un trabajo sobre la geometría en la arquitectura de Antoni Gaudí confieso que la idea no me entusiasmó demasiado.

En primer lugar, la obra de Gaudí no estaba dentro de mis preferencias como arquitecto. Sus formas me parecían gratuitas y de una expresividad un tanto sobredimensionada, excesivamente densas para un gusto como el mio, bastante habituado a la austeridad de la *pureza racional*.

El otro problema era el marco de referencia para llevar a cabo una investigación de este tipo. ¿Cuáles eran los límites del análisis? La arquitectura de Gaudí, de una gran exhuberancia formal y una complejidad geométrica importante, no me ponía la tarea muy fácil.

Había, sin embargo, un aliciente que compensaba un poco estas dificultades.

En las charlas previas con mi director de tesis, siempre aparecía el tema de los escritos que sobre la geometría de Gaudí habían realizado sus biógrafos y críticos. Allí se recogían una serie de impresiones que estos autores -provenientes por lo general de disciplinas como la crítica histórica o el proyecto arquitectónico- exponían con gran autoridad pero no demostraban con los propios instrumentos de la geometría. Como suele suceder en estos casos, muchos de estos estudios estaban basados en escritos precedentes, en donde estas aseveraciones se daban ya por demostradas.

Surgía entonces el habitual tema de las superficies alabeadas. ¿Serían realmente los hiperboloides y los paraboloides hiperbólicos las superficies geométricas más empleadas por Gaudí en su arquitectura? En caso de ser efectivamente así, ¿de qué manera se generaban en obra estas superficies?

Lentamente se iba perfilando el objetivo global de la tesis. Se trataba de aislar, mediante un análisis instrumental adecuado, las características geométricas de ciertas formas gaudinianas con el objeto de estudiar sus procesos generativos y determinar su filiación geométrica.

El problema consistía ahora en fijar los límites de la investigación. Estaba claro que el análisis se debía centrar en determinados fragmentos de la arquitectura de Gaudí que presentaran unos cuerpos geométricos reconocibles. El pensar en el estudio de una obra completa resultaba, dada la enorme complejidad formal de esta arquitectura, una tarea inabordable y de escaso interés específico.

Inmediatamente surgieron tres ejemplos paradigmáticos en la obra de Gaudí: las bóvedas de la cripta de la Colonia Güell, la torre del pabellón de la conserjería del parque Güell y las chimeneas del Palau Güell. Estos fragmentos de arquitectura tenían aparentemente muy poco en común respecto a sus estructuras geométricas y presentaban

un desafío interesante.

En el caso del primero de estos ejemplos el objetivo era claro: se trataba de verificar si las superficies del intradós de estas bóvedas eran realmente paraboloides hiperbólicos, tal como afirman los estudiosos de Gaudí. En los otros dos casos, sin embargo, la dirección que debía tomar la investigación no estaba tan clara. Se trataba de analizar la geometría de las superficies y comenzar a desarrollar diferentes hipótesis de trabajo.

Naturalmente, los esfuerzos iniciales se dirigieron hacia las bóvedas de la Colonia Güell. De esta manera, fueron escogidas cuatro unidades de análisis suficientemente representativas del conjunto y se comenzó a trabajar. Tanto en el proceso previo de levantamiento fotogramétrico, como en las observaciones de los modelos informáticos, ya era posible suponer que estábamos trabajando con formas próximas a los paraboloides hiperbólicos. Esta suposición se vio reforzada con el estudio de la documentación histórica del proceso constructivo de estas bóvedas.

A partir de estas consideraciones se llevó a cabo una evaluación matemática de las superficies que permitió confirmar las expectativas iniciales y que puede verse en el *Apéndice D* de esta tesis.

Sin embargo, los resultados del método geométrico de análisis estaban muy por debajo de las precisiones obtenidas matemáticamente. Este fenómeno era debido en gran medida por las curvaturas poco pronunciadas que presentaban los ejemplos analizados. Las limitaciones operativas de este procedimiento hicieron que la investigación quedara concluida con la demostración matemática, ya que no tenía sentido avanzar con un análisis geométrico cuyos márgenes de precisión eran inferiores a los del método numérico.

Paralelamente, al complicarse excesivamente el proceso fotogramétrico de la torre del parque Güell me había quedado sólo con la chimenea del Palau Güell, el ejemplo sobre el cual, paradójicamente, gira toda la demostración geométrica de esta tesis.

Quizá se deba a esta circunstancia un poco accidental que mis opiniones acerca de la arquitectura de Gaudí, expresadas al comienzo de este prólogo, hayan cambiado notablemente.

El ejemplo de la chimenea del Palau Güell, en su aparente inocencia, esconde la esencia misma de la poética gaudinina. Una poética que parte de lo elemental para expresar lo complejo. La originalidad que significa volver al origen, según sus propias palabras.

Esta es una tesis esencialmente geométrica. Los métodos de trabajo y los razonamientos que se desarrollan aquí se basan en la aplicación de una geometría básicamente gráfica, fundamentalmente visual. Como podrá comprobarse a lo largo del trabajo, el empleo de los medios matemáticos se encuentra siempre condicionado a la confirmación de las deducciones geométricas. Esta aportación constituye, no obstante, un indispensable apoyo disciplinar que otorga validez y rigor numérico a las conclusiones

derivadas de la investigación.

Los alcances de este trabajo, sin embargo, superan los límites estrictos de la geometría. En su desarrollo se encuentran vinculados aspectos ligados a la propia biografía de Gaudí, temas constructivos, estudios de morfología natural y la aplicación de técnicas de una cierta especificidad como la fotogrametría. Esta es, por tanto, una tesis dirigida no solamente a los *geómetras*, sino a todos aquellos interesados por explorar las múltiples facetas de la producción arquitectónica de Gaudí a partir de las herramientas del pensamiento gráfico.

Desde el ángulo esencialmente disciplinar de la geometría, los contenidos desarrollados aquí están orientados al análisis de la estructura geométrica de la chimenea y a la propuesta de una hipótesis acerca del método de generación utilizado para su construcción. En el primer caso se investigan estas formas en relación a sus propiedades específicas y sus vínculos con la morfología natural. En el otro caso, en cambio, se trata de establecer una relación directa entre la generación geométrica del modelo y su proceso constructivo.

En relación al campo específicamente gaudiniano, este trabajo intenta aportar unas conclusiones generales acerca de la utilización de uno de los métodos concretos de trabajo del arquitecto, avaladas en este caso por el rigor científico que supone un levantamiento fotogramétrico y un análisis geométrico de este tipo. Simultáneamente, propone una reflexión objetiva acerca de las relaciones entre los cuerpos geométricos de Gaudí y las formas del mundo natural.

Hacia el final de la tesis, se especula con las posibilidades de aplicación que tiene el método de generación geométrica de la chimenea en relación a otros ejemplos de la propia arquitectura de Gaudí. También se reflexiona sobre el estudio de otros métodos basados en un principio geométrico similar. Este es, sin duda, un interesante camino a seguir. Confío en que el material aportado en esta tesis sirva de base documental para la inspiración de nuevas investigaciones sobre el tema.

Este ha sido un trabajo en donde ha participado mucha gente, aportando sus conocimientos y una infinita dosis de paciencia. Me gustaría dejar constancia de mi agradecimiento hacia ellos.

En primer lugar, se hace necesario citar aquí el importante trabajo de toma y restitución fotogramétrica realizado por los alumnos de Ingeniería Técnica Topográfica de la Escola Universitària Politècnica de Barcelona, Yolanda Sàez y Jordi Calmet que, dirigidos por el profesor Felipe Buil, han elaborado el T.F.C. que sirve como base técnica de esta tesis. De igual manera, quiero agradecer especialmente al citado profesor Felipe Buil por el gran entusiasmo puesto en el tema y el aporte valioso de sus conocimientos en fotogrametría. Mi agradecimiento también a los profesores del DEGA I de la ETSAB; a Andrés de Mesa por su pericia fotográfica y a Joaquín Regot por su colaboración en los

temas relacionados con la edición informática. A ambos por su infinita paciencia.

De igual manera, quiero agradecer al profesor Amadeo Monreal, de la Secció Matemàtiques i informàtica de la ETSAB, por sus aportes en el campo de las matemáticas para la formulación de las hélices loxodrómicas, cuyo desarrollo aparece en el *Apéndice C* de este trabajo.

Al profesor Joan Bassegoda, responsable de la Càtedra Gaudí de la ETSAB, por permitirme el acceso a un valiosísimo material documental y a los arquitectos Antoni González y Pau Carbó, del Servei del Patrimoni Arquitectònic Local de la Diputació de Barcelona, por la amable disposición para facilitarnos el acceso al Palau Güell.

Mi agradecimiento al director de esta tesis, el profesor Lluís Villanueva, por su constante apoyo y claridad conceptual en temas de geometría.

Finalmente, una advertencia respecto a los códigos empleados en los dibujos que aparecen en esta tesis.

Con el objeto de simplificar el seguimiento visual del trabajo, el material gráfico fue dividido en tres grandes grupos: figuras, esquemas y planos.

Las figuras son, por lo general, fotografías y dibujos provenientes de otras fuentes documentales, salvo dos grupos concretos (Figs. 7 a 11 del Capítulo IV y Figs. 1 a 13 del Capítulo VIII) que son fotografías y croquis personales. Estas figuras aparecen al final de cada Capítulo.

Los esquemas son dibujos realizados por mí con el objeto de aclarar los conceptos expuestos, por lo que aparecen insertados en el propio texto.

Los planos, que se encuentran en el *Apéndice A* de la tesis, son los documentos gráficos necesarios para el desarrollo de las distintas etapas de la investigación. En coherencia con el proceso lógico de trabajo, estos planos se dividen en tres grandes series: los documentos del modelo restituido (Planos MR), el modelo teórico (Planos MT) y el comparativo entre ambos modelos (Planos C).

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN: LA FORMA COMO ESTRATEGIA GEOMÉTRICA EN GAUDÍ

#### LA REPRESENTACIÓN DE LA NATURALEZA

Comenta Burke en su tratado sobre lo bello y lo sublime que, en determinadas circunstancias, las formas de la naturaleza son las únicas capaces de provocar un auténtico estado de asombro en el que se somete a su influencia<sup>1</sup>.

Cualquiera que se haya encontrado de frente con alguna de las obras de Gaudí sin estar advertido, experimentará una sensación bastante parecida a la descrita por el filósofo inglés. Siempre nos preguntamos el porqué de esta experiencia sensorial tan fuerte que provocan las formas gaudinianas. Se nos ocurre una primera respuesta fácil y algo endeble que consiste en asignarles una buena dosis de exotismo y extravagancia debida a la fiebre creadora de su autor. Este argumento podría funcionar -hasta un cierto punto- en obras como la casa Milà, la Sagrada Família o la casa Batlló, a pesar de que tantas arquitecturas de otros autores sean efectivamente exóticas y extravagantes y, sin embargo, no consigan producirnos esta sensación tan extrema.

¿Qué podemos decir entonces de obras de una sobriedad incontestable, como son el Palau Güell o el colegio de las Teresianas, que continúan generando el mismo asombro que cuando fueron construidas? Es indudable que algo propio de esa fuerza arrolladora de la naturaleza permanece de alguna manera contenida en su realidad formal.

La declarada adhesión de Gaudí a las formas naturales como inspiradoras de su arquitectura ha sido largamente comentada por sus biógrafos y críticos. Sin embargo, en muchas ocasiones se ha caído en la mera anécdota pintoresca, cuando no en errores conceptuales elementales.

No está dentro de los objetivos de esta tesis analizar las relaciones entre la naturaleza y la arquitectura de Gaudí, pero sí resulta un deber inexcusable advertir sobre el papel que la geometría ocupa dentro de esta pretendida analogía.

Quizá debamos buscar en la fuerza del empirismo gaudiniano una de las posibles

---

<sup>1</sup> "La pasión que produce lo que es grande y sublime en la naturaleza, quando estas causas obran con mayor fuerza, es el *asombro*; y el asombro es aquel estado del alma en que todos sus movimientos se suspenden con cierto grado de horror. En este caso está el ánimo tan lleno de su objeto, que no puede dar entrada á otro alguno, ni por consiguiente raciocinar sobre el que le ocupa. De aquí nace el grande poder de lo sublime, que léjos de ser producido por nuestros raciocinios, los anticipa y nos lleva arrebatadamente á ellos por una fuerza irresistible. El asombro es el efecto de lo sublime es su mas alto grado. (BURKE, Edmund, *Indagación filosófica sobre el origen de nuestras ideas acerca de lo sublime y lo bello*, Trad. Juan de la Dehesa, Valencia, Colección de Arquitectura 19, 1985, p.110. Ed. original, London, 1757)

respuestas a estas incógnitas. Un empirismo que atraviesa las diferencias estilísticas y se articula en un punto de vista común; ese que la *praxis* ha construido como punto de vista real, hecho a base de sensaciones y de impresiones y que construye su realidad desde la propia síntesis perceptiva. Sabemos que Gaudí era un hombre de *síntesis* y que no se detenía en especulaciones abstractas, por lo que no parece improbable pensar que sea ese empirismo el sustrato sobre el que toman cuerpo las imágenes artísticas y, por ende, la *sublimidad* de su obra.

Cometeríamos un error de base si atribuimos a Gaudí una indagación intelectual profunda sobre las relaciones entre la naturaleza y la obra del hombre. Su proceder es absolutamente intuitivo y se apoya en percepciones e impresiones más que en especulaciones teóricas. Si bien reconoce, en su encendido misticismo, la existencia de un principio de unidad entre las obras de Dios y las del hombre, no se preocupa en establecer relaciones que vayan más allá de simples referencias morfológicas<sup>2</sup>. Declara que existen unas leyes, pero no se interesa en su formulación y defiende encendidamente la autonomía de la creatividad humana.

Es justamente en este punto donde conviene dejar claro las diferencias esenciales que existen entre los procesos naturales de generación y los mecanismos capaces de emplear el hombre para recrear las formas naturales. En el caso de Gaudí es evidente que estos mecanismos están gobernados en gran medida por determinados procedimientos de índole geométrica, por lo que su capacidad para crear formas depende más de su habilidad para trabajar con determinadas *estrategias geométricas* que de su conocimiento de las leyes de la naturaleza. Esto que parece una verdad de perogrullo ha originado, sin embargo, una buena cantidad de confusiones en el campo de los estudios sobre Gaudí.

En el capítulo próximo veremos de qué manera emplea Gaudí estos mecanismos geométricos como una construcción intelectual que le permita abordar sus *representaciones* de la naturaleza en la forma arquitectónica. Pero es necesario adelantar inmediatamente una cuestión fundamental: la tantas veces transitada *geometría de las formas naturales* no es otra cosa que un esquema intelectual -y por tanto artificial y aproximado- que permite encarar una de las tantas facetas de la morfología natural.

La naturaleza es un fenómeno de tal complejidad que sólo podrá ser abordado a

---

<sup>2</sup> "La columna es el fuste, el tronco; la cubierta es la montaña, con las vertientes y la cima; la bóveda es la cueva, de sección parabólica; los bancos más resistentes de las canteras forman dinteles y acartelados sobre las erosiones de los estratos más débiles..." (BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, Barcelona, Ed. Universidad Politécnica de Barcelona, 1974, p.84)

"Diu que l'hèlix és necessària a la columna. La Naturalesa ho corrobora amb el creixement de molts arbres que es produeix helicoidalment (mostra uns eucaliptus que hi ha plantats al defora de l'oficina, que tenen les soques torçades en hèlix)." (MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família. Comentada per ell mateix*, Barcelona, Aymà Editors, 1951, p.128)

partir de la propia intuición del artista como única guía. Gaudí sabe que la naturaleza persigue muchos fines a la vez y que una tarea analítica sería tan ardua como estéril, por eso reivindica la originalidad del creador que, partiendo de lo conocido, se interna en lo desconocido<sup>3</sup>.

Curiosamente, varios años más tarde podremos leer estas mismas ideas en algunos escritos de los artistas del floreciente *arte abstracto* como Kandinsky o Klee, arte que por cierto defenestraba el propio Gaudí por considerarlo vacío y carente de sentido artístico<sup>4</sup>.

Gaudí tiene una lúcida conciencia de la especificidad de la arquitectura, de la *sustancia* que le da sentido y que la convierte en obra absoluta del hombre. Por ello apela a la naturaleza como referente figurativo pero, como veremos inmediatamente, reserva un rol decisivo al hecho constructivo como protagonista fundamental de su arquitectura<sup>5</sup>.

## APARIENCIA Y PROCESO GENERADOR DE LA FORMA EN GAUDÍ

Estamos, pues, en condiciones de precisar un primer encuadre conceptual de la tesis

---

<sup>3</sup> "Unos y otros aspectos pueden extenderse a la anatomía comparada, a los vegetales y a lo geológico. Recursos inagotables y aleccionadores para obtener novedad ininterrumpida, pues como dijo muy bien Durero hace cuatro siglos 'no me preocupa tan solo lo que se ha hecho hasta ahora, sino lo que puedan desvelar los artistas del futuro'." (MATAMALA FLOTATS, Juan, *Antonio Gaudí. Mi itinerario con el arquitecto*, Manuscrito mecanografiado depositado en la Cátedra Gaudí, Barcelona, 1960, p.575)

<sup>4</sup> "Las leyes de composición de la naturaleza se ofrecen al artista no para ser imitadas, ya que la naturaleza tiene sus finalidades propias, sino para ser confrontadas con las del arte." (KANDINSKY, Vasili Vasilievich, *Punto y línea sobre el plano. Contribución al análisis de los elementos pictóricos*, Barcelona, Barral Editores, 1983, p.111)

"Il dialogo con la natura resta, per l'artista, conditio sine qua non. L'artista è uomo, lui stesso è natura, frammento della natura nel dominio della natura.

Mutano solo, a seconda della posizione dell'uomo in rapporto al suo raggio d'azione entro tale dominio, il numero e il tipo delle vie da percorrere, tanto nella produzione artistica quanto nello studio, a quella connesso, della natura.

Spesso le vie sembrano nuovissime, senza forse esserlo in sostanza: nuova è solo la loro combinazione, o meglio esse sono nuove rispetto al numero e al tipo delle vie di ieri. L'esser nuovo in rapporto all'ieri, ecco una caratteristica pur sempre rivoluzionaria, anche se il grande mondo del passato non ne viene scosso. Ciò che non deve sminuire il piacere di quella novità; e l'ampia visione retrospettiva della storia dev'essere solo salvaguardarci dalla ricerca spasmodica della novità a spese della natura." (KLEE, Paul, *Teoria della forma e della figurazione*, Milano, Giunti Editore, 1959, p.63. Ed. original, Basel, 1956)

<sup>5</sup> "La proporción o sea la ley de relación de las partes con el todo podemos y estamos en el caso de precisarla y no divagar; el estudio de la naturaleza nos puede dar cierta intuición, pero el estudio de los adelantos y los materiales imprimen un carácter especial y propio a cada edad y a cada edificio. Sobre todo, la simplicidad constructiva." (Extracto del *Diario de Antonio Gaudí* (Fragmentos, 1876-1879), citado en CASANELLES, Enric, *Nueva visión de Gaudí*, Barcelona, La Polígrafa, 1965, p.130)

y es el que nos permite definir la doble condición que asume la forma gaudiniana como *apariencia y proceso generador* al mismo tiempo. Una condición específica de la arquitectura de Gaudí que encontrará en los mecanismos de un conjunto de estrategias geométricas concretas el medio idóneo para expresarse.

Es quizá debido a la particularidad de este doble juego entre *apariencia y generación* que nuestra percepción frente a las formas gaudinianas se torna a veces equívoca y ligeramente perturbadora. La forma percibida asume en este caso una función *evocadora* -más que imitativa- de las formas de la naturaleza que nos permite asociar imágenes e impresiones de procedencia diversa.

La primera percepción que tenemos de frente a algunas de las formas más paradigmáticas de la arquitectura de Gaudí refleja casi siempre esta doble condición. De qué manera, si no, podemos entender el movimiento helicoidal expresado en las chimeneas del Palau Güell, la torre del pabellón de la conserjería en el parque Güell o las columnas de la Sagrada Família, cada uno de ellos expresando una morfología diferente y asimilándose en alguna medida a las formas del mundo natural. Del mismo modo, la evocación un poco confusa de ciertas fuerzas entre tectónicas y animales que percibimos en las formas de la Colònia Güell y en algunos fragmentos de la Sagrada Família no puede desligarse de los movimientos y ondulaciones de las superficies alabeadas.

A partir de este encuadre inicial, el desarrollo de esta tesis tendrá por objetivo prioritario el dar respuesta a cuestiones fundamentales ligadas a la forma en Gaudí como expresión de un conjunto de estrategias geométricas. Estas cuestiones se expresan bajo dos condiciones básicas:

a) Los cuerpos de la arquitectura de Gaudí deben considerarse sólo como *aproximaciones geométricas* capaces de evocar en su aspecto y en su manera de generación a las formas naturales.

b) El modo en que estas formas son generadas está vinculado a un conjunto de operaciones relacionadas con una idea de *geometría práctica* o aplicada, muy relacionada a su vez con los procesos constructivos de la arquitectura.

Respecto a la primera cuestión, nos apresuramos a advertir que esta *evocación geométrica* a las formas naturales será siempre, necesariamente, una *apariencia externa* de la forma arquitectónica. Esto equivale a decir que la imagen evocada es sólo una cualidad superficial o *epidérmica* de la realidad morfológica del objeto y que no tiene mucho sentido especular con otro tipo de asociaciones con el mundo natural.

Veremos, por otra parte, como esta *apariencia geométrica* tiene que ver con una serie de formas arquetípicas de la morfología natural que son introducidas un poco

fragmentariamente en los cuerpos creados por Gaudí. Estas formas tienen una serie de propiedades externas cuya *traducción* geométrica aplicada a la arquitectura gaudiniana iremos analizando a lo largo del trabajo.

De esta manera, podremos estudiar entonces la implicación que tienen las denominadas *superficies mínimas* existentes en la naturaleza, su relación con los sistemas tetraédricos y sus propiedades aditivas.

El concepto de *módulo* en la forma natural -muy diferente al que tenemos desde nuestra formación profesional- será otro de los puntos clave que nos permitirá sacar algunas conclusiones interesantes. Las interpretaciones más sugerentes de la obra de Gaudí tienen que ver casi siempre con cuestiones que escapan un poco de los límites de la especificidad de la arquitectura. A nuestro entender, sin embargo, es posible encontrar una fundamentación estrictamente disciplinaria de muchas de estas cuestiones aparentemente alejadas de la geometría y la arquitectura. Uno de estos temas es el de la evocación gaudiniana de la idea del *crecimiento* impresa en la forma, una idea que se traduce en la expresión del elemento tiempo como un factor característico de las formas de la naturaleza. Veremos también como esta idea del tiempo tiene que ver con los problemas del módulo y la variaciones dimensionales en la arquitectura del Gaudí.

Un capítulo importante de nuestra investigación estará dedicado al estudio de los movimientos helicoidales que reflejan muchas de las estructuras naturales y su relación con los conceptos geométricos de *helicoides*, *hélice* y *espiral*. Estos conceptos, que también han originado importantes equívocos entre los naturalistas, serán vinculados a una idea de la forma como *proceso*.

La segunda cuestión, que define un poco el eje conceptual de la tesis, tiene que ver con un *procedimiento*, una manera de hacer.

Mientras muchos de los arquitectos de la generación modernista se dedicaban a la recreación geometrizada de motivos vegetales que propiciaba el fuerte ambiente entre ecléctico y neomedievalista del momento, Gaudí fijaba su atención en otros aspectos bien diferentes de la cultura arquitectónica del Medioevo. Seguramente influenciado en gran medida por las encendidas proclamas de Viollet-le-Duc, el arquitecto intentaba recuperar del gótico aspectos más profanos que una cuestión de gusto estético o estilo. Su visión del pasado se apoyará en gran medida en los conocimientos del viejo arte de construir adquiridos en las aulas de la Escuela Provincial. Un poco al estilo del propio Viollet y como lo hará Choisy un poco más tarde, Gaudí interpretará la historia de la arquitectura a partir de las técnicas de construcción y los medios posibles para llevarlas a cabo.

Esta visión absolutamente racional, desprovista de cualquier influencia academicista, le llevará a Gaudí a la completa reformulación de los procedimientos constructivos en su propia arquitectura. Para él, resulta imposible separar el objeto creado de su modo de

producción material, de tal manera que cuando concibe una forma en su mente ya sabe la manera en que esta forma puede ser construida.

Esta manera de construir, sin embargo, deberá cumplir con ciertos requisitos fundamentales:

- a) en primer lugar será coherente con la disponibilidad material y humana, es decir que deberá adaptarse a las condiciones locales el momento;
- b) deberá permitir además, cuando fuera posible, un cierto grado de *sistematización* del proceso de obra y
- c) fundamentalmente, deberá ponerse en práctica por medio de un conjunto de estrategias o procedimientos sencillos que no requieran la mediación de complicados documentos gráficos durante las obras.

Gaudí aprende de los simples métodos constructivos basados en una geometría elemental con que levantaban sus edificios los romanos, los bizantinos y los hombres del medioevo. Sabe que la complejidad de muchas de las formas arquitectónicas del pasado no es otra cosa que el desarrollo inteligente de un número limitado de condiciones iniciales desarrolladas geoméricamente. Por ello, también comprende que esta es la única manera de poder llevar adelante de una manera lógica y racional su propias formas de arquitectura.

Esta será una *geometría práctica*, aplicada directamente sobre la propia materia prima de la arquitectura y auxiliada a veces por simples esquemas de trazado, una geometría basada más en el *proceso de generación* que en el propio elemento generador, que resulta en ocasiones de una extrema simplicidad. Sus herramientas serán las plantillas, las maquetas y a veces unos simples esquemas de generación.

Gaudí acude a esta geometría práctica por motivos muy diferentes a los de los constructores del medioevo<sup>6</sup>. La *geometria fabrorum* impulsada en el gótico respondía a unos condicionantes materiales y una estructura social muy particulares. La estricta separación entre los constructores y los *écolâtres*, la transmisión empírica a través de generaciones sucesivas y la escasez de medios materiales son sólo algunos de estos factores determinantes. El sentido que tenía la geometría para la construcción de la arquitectura gótica era un sentido lógico, práctico y concreto. Roland Bechmann, en un interesante estudio del cuaderno de Villard de Honnecourt, nos dice que para el constructor del

---

<sup>6</sup> Por otra parte, es conocida su actitud crítica hacia la disposición geométrica y estructural del arco ojival de la arquitectura gótica, a la que consideraba un *arte industrial* debido a la repetición uniforme de los elementos compositivos.

Las bóvedas generadas por arcos de circunferencia son para Gaudí imperfectas, ya que no pueden seguir totalmente la trayectoria de las funículas y requieren el auxilio de *crosses* que le den estabilidad. La arquitectura gótica, por tanto, no tiene una completa unidad y la estructura no está integrada a la decoración, que funciona como un postizo que podría suprimirse sin que se resintiese la obra. (BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, op. cit., p.83, MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família...* op. cit., p.58)

medievo esta geometría *constructiva* era un conjunto de objetos materiales con una forma precisa y nunca un concepto abstracto<sup>7</sup>.

El empleo de una *geometría aplicada* será necesaria para Gaudí, en cambio, por cuestiones más personales. Su arquitectura depende en buena parte del éxito de la comunicación con los encargados de la ejecución en la propia obra<sup>8</sup>. La mayoría de sus propuestas arquitectónicas son demasiado complejas y en ocasiones arriesgadas desde el punto de vista constructivo y Gaudí debe asegurarse un sistema lógico a la vez que sencillo que pueda ser comprendido sin dificultad por todos los participantes del proceso constructivo. ¿De que otra manera si no se pudieron haber edificado la increíble cantidad de detalles y elementos singulares que tiene su arquitectura?

Muchas de los proyectos de Gaudí necesitan apoyarse en un sistema de este tipo, un conjunto de estrategias operativas que por medio de la geometría sean capaces de generar las formas más complejas con los procedimientos más sencillos.

Llegados a este punto resulta necesario hacer una advertencia. Cuando hablamos de ciertos procedimientos como el que acabamos de enunciar, estamos refiriéndonos a que *una parte* importante de la producción gaudiniana se mueve dentro de estos parámetros, pero no queremos decir que *toda* la arquitectura creada por Gaudí sea producida de esta manera. Veremos más adelante que la actitud absolutamente experimental de Gaudí frente a la arquitectura le hará explorar caminos diferentes a lo largo de su actividad creadora, por lo que su producción oscilará permanentemente entre la utilización de un método de cierto rigor científico y la más absoluta libertad plástica. En este sentido no debemos engañarnos en la búsqueda de una coherencia absoluta que resulta tan pretenciosa como estéril. Es realmente muy difícil encontrar alguna lógica geométrica entre las ondulaciones de la fachada de la casa Milà o las protuberancias óseas de la casa Batlló. En algunas de estas

---

<sup>7</sup> BECHMANN, Roland, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard Éditeur, 1993.

<sup>8</sup> La relación que tenía Gaudí con los albañiles y demás intervinientes de la obra era muy especial. Cuenta Matamala que durante las obras de la Colònia Güell el arquitecto se reunía dos o más veces por semana con los *paletas* para explicarles detalles de la ejecución, valiéndose únicamente de la maqueta funicular de la iglesia que estaba allí colgada y unos pocos croquis aclaratorios. En las reuniones estaba siempre presente el carpintero Munné, que era el encargado de fabricar las cimbras y plantillas a utilizar durante la edificación. (MATAMALA FLOTATS, Juan, *Antonio Gaudí...*, op. cit., p.436)  
En ocasiones, Gaudí encontraba cierta resistencia de los operarios a la ejecución de sus arriesgadas estructuras en ladrillo. Cuenta Bergós que, durante la construcción de la casa Vicens, un *paleta* avisó al arquitecto que una torre sostenida por cartelas en voladizos de ladrillos que acababa de construir estaba a punto de caerse, pero Gaudí le advirtió que no había ningún peligro. Temeroso, a la hora de marchar, el hombre esperó pacientemente la catástrofe inminente hasta que Gaudí pudo disuadirlo. En otras ocasiones los albañiles se negaban a retirar los puntales de sus osadas bóvedas temiendo el derrumbe de toda la estructura. (BERGÓS MASSÓ, Joan, *Antoni Gaudí. Arquitecte genial*, Barcelona, Editorial Millà, 1972, p.174)

obras la geometría gobierna por completo una estructura *latente* que da lógica y sentido al conjunto. En otras, esta lógica aparece solo fragmentariamente y en algunas la geometría está simplemente ausente.

## EL ESTUDIO DE UN EJEMPLO

Establecidas las directrices generales por donde se podía encaminar la investigación, bastaba con elegir los ejemplos más idóneos para iniciarla. Y este, paradójicamente, resultaba el tema más delicado. ¿Cuántos casos se debían escoger para que la investigación adquiriera el peso suficiente? ¿Estos podían ser edificios completos o bastaba con elegir determinados fragmentos significativos de estos edificios? En este último caso ¿sería necesario que los ejemplos pertenezcan a una misma obra o, por el contrario, resultaría beneficiosa la inclusión de elementos heterogéneos?

Como sucede en casi todos los problemas de este tipo, los condicionantes técnicos y operativos son los encargados de efectuar el primer recorte y concentrar las energías en un campo más acotado.

Una cosa que estaba clara desde un primer momento era que el método de levantamiento gráfico de los ejemplos debía efectuarse mediante un sistema fotogramétrico. Esta condición inicial responde a dos objetivos muy determinantes:

a) La particular complejidad de las formas de Gaudí convierte en una tarea excesivamente ardua y prolongada -cuando no imposible- el empleo de los métodos tradicionales de levantamiento gráfico. Los frecuentes cambios de planos y la abundancia de superficies curvas que son capaces de exhibir estas formas, permiten asociarlas de una manera más natural a las superficies topográficas que a las superficies tradicionales de la arquitectura.

Por otra parte, los actuales sistemas fotogramétricos se han flexibilizado lo suficiente en cuanto a metodología y equipos como para poder permitir unos razonables resultados técnicos con muy bajo costo y una gran facilidad operativa, por lo que, en principio, no había ningún motivo para desaprovechar esas ventajas.

b) En un trabajo de análisis geométrico como este, donde son importantes las elaboraciones gráficas sobre el modelo de trabajo y donde resulta esencial el estudio de la variación dimensional de ciertos patrones de referencia, el método fotogramétrico es el único sistema capaz de proporcionar los niveles de precisión deseados y el rigor gráfico adecuado.

Se trataba de evitar, en todo caso, los típicos desarrollos gráficos sobre fotografías o dibujos de dudosa procedencia, tan habituales en muchos de los estudios de proporción

arquitectónica, y en las que, como se suele decir, uno puede encontrar prácticamente todo lo que va a buscar.

En el caso de la fotogrametría, lo verdaderamente importante para este ejemplo es la posibilidad que tenemos de fijar el grado de precisión con que deseamos trabajar en consonancia con nuestros objetivos de investigación. De esta manera, es posible contar desde el principio con un parámetro objetivo que asegure en gran medida el rigor científico del trabajo.

Finalmente, la facilidad de *exploración* tridimensional que ofrecen los modelos fotogramétricos es, en este caso, una ventaja adicional de extraordinaria importancia, dadas las peculiaridades de la forma gaudiniana comentadas más arriba.

La fotogrametría como condición técnica un poco autoimpuesta desde el inicio de la tesis, decantará naturalmente la elección de los ejemplos hacia el estudio de fragmentos o partes significativas de la arquitectura de Gaudí. Un levantamiento fotogramétrico en los edificios como conjunto resultaría, con los condicionantes técnicos requeridos, excesivamente prolongado y costoso, con el peligro añadido de desvirtuar los objetivos iniciales de la investigación.

Con la primera incógnita despejada ya me encontraba en condiciones de seleccionar un primer grupo de ejemplos procedentes de distintas obras de Gaudí. En ellos ensayo los posibles esquemas de generación geométrica en base a croquis de trabajo para estudiar la estructuración geométrica de los cuerpos. Finalmente, escojo tres casos muy diferentes en morfología y escala, pero de indudable interés: una de las chimeneas del Palau Güell, la torre del pabellón de la conserjería en el parque Güell y cuatro de las bóvedas del porche de la cripta de la Colònia Güell.

Bajo estas condiciones se realizaron los trabajos de levantamiento fotogramétrico de cada uno de los ejemplos elegidos y al cabo de un tiempo tenía las restituciones gráficas de los modelos sobre la mesa de trabajo.

Con la exploración de los modelos en el ordenador se comenzaban a comprender algunas cosas que antes habían pasado desapercibidas. Los cuerpos de la arquitectura gaudiniana, en su más elemental expresión morfológica y sin las diferencias de textura, escala y color que tenían en la realidad, se presentaban a la observación como partes diferentes pero constitutivas de un todo más o menos coherente. Los tres ejemplos tenían en común cierto tipo de procedimientos geométricos pero con unas variantes esenciales que daban por resultado una morfología radicalmente diferente para cada caso.

En el modelo de las bóvedas de la Colònia Güell el objetivo parecía más directo: determinar la manera en que habían sido generados los paraboloides hiperbólicos<sup>9</sup> que

---

<sup>9</sup> Tanto las fuentes documentales como las observaciones preliminares indicaban que la superficie de las bóvedas eran, efectivamente, una importante aproximación a los paraboloides hiperbólicos. No obstante, durante el propio proceso de la restitución fotogramétrica de cada uno de los modelos se llevó a cabo una

forman sus superficies. La torre de la conserjería, cuya superficie presentaba también unas suaves ondulaciones alabeadas, sugería en cambio un doble movimiento helicoidal alrededor de un esbelto hiperboloide hiperbólico de revolución.

Pero el ejemplo que se presentaba más sorprendente en la exploración tridimensional era, sin duda alguna, la chimenea del Palau Güell. Su observación en proyección ortogonal y en planta -en una posición imposible de conseguir en la observación directa del objeto en el edificio- resultaba sumamente sugerente. Su morfología parecía condensar todas las manifestaciones de los cuerpos gudinianos: las suaves hélices en sentidos contrapuestos que aceleraban su recorrido hacia un inexistente vértice, la vibración generada por los patrones modulares de los cuadriláteros y las sutiles superficies alabeadas encerradas en cada uno de estos cuadriláteros eran ahora expresadas en su más puro estado. De manera que ya tenía suficientemente claro por donde debía empezar la investigación y, efectivamente, así fue como se hizo.

A medida que se avanzaba en el trabajo, se iba perfilando cada vez más nítidamente uno de los objetivos importantes de la investigación: se trataba de llegar a plantearme el desafío de descubrir el modo de generación de la chimenea, ya que era prácticamente imposible que se hubiera concebido y construido sin la asistencia de un proceso geométrico determinado. Me había dado cuenta, en suma, que volvía a formularme aquella pregunta inicial acerca del sentido de la edificación en las formas de Gaudí.

Una vez obtenidas las *posiciones características* del objeto (las posiciones necesarias para que quede perfectamente definida su estructura geométrica), la lectura en sistema diédrico fue la manera más simple y directa de entrar en su lógica geométrica. Se trataba de liberar a la chimenea de todo aditamento superficial para que definiera claramente el *ensamble* geométrico del conjunto.

Posteriormente, ya concentrado el análisis en el sombrero superior, se definieron dos modelos de estudio: el que llamamos modelo de los cuadriláteros y el modelo poligonal, sobre los cuales se comenzaron a desarrollar los estudios de los módulos, las hélices y las espirales.

En el Capítulo V se puede seguir paso a paso este proceso de interpretación que acabará con la primera hipótesis acerca del modo de generación geométrica de la chimenea. En este momento, las suposiciones iniciales empezaban a confirmarse: la figura generadora podía llegar a ser de una notable simplicidad y el proceso de generación podría limitarse a un número muy concreto de movimientos de esta figura que, siguiendo una ley

---

verificación matemática de las superficies. Para ello se crearon sendos modelos matemáticos teóricos con los datos de partida iniciales de cada modelo. Estos modelos teóricos se desarrollaron a partir de la propia ecuación del paraboloides hiperbólico y se cuantificaron las diferencias resultantes de la superposición con los modelos restituidos, que fueron reflejadas en unos gráficos de zonas. (Ver Apéndice D)

determinada, describe la configuración total de la chimenea.

Si esta figura y el procedimiento geométrico capaz de generar la forma eran los adecuados, estaba en condiciones de producir un modelo teórico que reprodujera la entera forma del cuerpo de la chimenea.

Naturalmente, y a pesar de que tanto la figura como el método eran los correctos, los primeros resultados obtenidos no fueron los definitivos, por lo que se necesitaron varias aproximaciones para conseguir llegar al modelo correcto.

El Capítulo VI trata de todo este proceso y del estudio de las poligonales, cuadriláteros y hélices generados por este modelo teórico. En él se desarrollan sus trazados, sus propiedades y sus comprobaciones gráficas, por lo que podemos afirmar que este modelo teórico es el encargado en alguna manera de *legitimar* las conclusiones geométricas sacadas de la interpretación del modelo restituido.

Finalmente, mediante el modelado geométrico de superficies en sistemas CAD fue recreada la volumetría de la totalidad de la chimenea y se pudo visualizar el resultado obtenido.

La evaluación de las discrepancias entre el modelo teórico y el modelo restituido se desarrollan en el Capítulo VII de manera gráfica y analítica, con el objeto de determinar una aproximación a las oscilaciones o gradientes de variación en cada uno de los distintos parámetros de los modelos. No obstante, en este punto es conveniente detenerse un momento para hacer otra advertencia importante.

No es objetivo de esta tesis el realizar un estudio o comprobación de estos gradientes de desviación entre pares de datos en base a ponderaciones geométricas o matemáticas. Cuando trabajamos con objetos arquitectónicos que son construidos con unas determinadas limitaciones técnicas y operativas, no parece tener mucho sentido intentar fijar con precisión numérica los grados de desviación de un modelo ideal. Dentro de nuestro campo, un análisis de este tipo parece más adecuado para el seguimiento de patologías edificatorias, o para cualquier estudio relacionado con la evolución en el tiempo, de un determinado edificio o un fragmento de este edificio. Dentro del contexto de esta investigación, los valores obtenidos del estudio comparativo de los modelos tendrán validez sólo como aproximaciones cuantitativas y visuales que permitan sacar algunas conclusiones acerca del proceso de ejecución de la obra o del sistema geométrico empleado para generarla.

Por ello resulta conveniente subrayar nuevamente que el objetivo esencial de este trabajo es el de estudiar un ejemplo concreto de la arquitectura de Gaudí con el propósito de interpretar geoméricamente su morfología y elaborar una hipótesis de generación geométrica que pueda ser demostrada por medio de la creación de un modelo teórico ideal.

El poder contemplar el conjunto del material gráfico derivado del estudio de esta

chimenea -una de las veinte existentes en la azotea del Palau- no deja de producir un cierto estupor. ¿Cómo es posible que se hayan necesitado tantos dibujos para explicar la generación geométrica de un objeto aparentemente irrelevante dentro del conjunto de la obra de Gaudí? Al asombro inicial le siguen inmediatamente unas reflexiones más serenas.

La primera de estas conclusiones reestablece la calma porque confirma precisamente una de las hipótesis de la investigación: la única manera que tenía Gaudí para trabajar con formas de este tipo era sometiéndose al rigor de una *geometría práctica* aplicada directamente durante el propio proceso de obra.

Nos resultaría bastante difícil imaginar la cantidad de planos de ejecución que serían necesarios para construir esta chimenea y las diecinueve restantes que, a pesar de mantener algunos rasgos comunes, son todas diferentes en su morfología y tratamiento exterior. Si bien nadie ha dicho que estos planos no existieran, parece bastante sensato pensar que ni Gaudí ni alguno de sus ayudantes hayan destinado tiempo a esta tarea, conocida la metodología de trabajo del arquitecto muy poco propensa a las elaboraciones gráficas. Lo más lógico, en cambio, será imaginar que Gaudí haya confeccionado unos esquemas muy elementales en donde estuviera implícito el entero proceso de generación de la chimenea. Estos esquemas deberían servir además para replantear el trazado en obra y/o para fabricar plantillas o algún otro tipo de adminículo que sirviera como medio auxiliar de la edificación. De esta manera, Gaudí estaría retomando los métodos y procesos medievales para otorgarles un nuevo y sorprendente significado con la creación de formas completamente originales.

Una nueva revelación vendrá confirmar estas hipótesis al examinar detenidamente el entero proceso de generación de nuestra chimenea y la figura que le sirve de base.

Cuando comenzamos a observar el conjunto de las chimeneas según esta nueva lógica constructiva y geométrica deducida del ejemplo estudiado, aparecen una serie de asociaciones que no pueden resultar de una simple coincidencia: en casi todas las chimeneas del Palau Güell se puede detectar el rastro de un único proceso de generación expresado de maneras diferentes. A veces el elemento relevante de la forma es la propia figura generadora y a veces se parte de otras figuras para reiterar el mismo proceso geométrico. En este sentido, la destreza que tiene Gaudí para "vestir" cada chimenea con un significado diferente es realmente admirable y los recursos empleados parecen inagotables. El énfasis o el ocultamiento de determinadas líneas de desarrollo del proceso de generación, el *modelado* superficial o el tratamiento de la textura y los colores son sólo algunas de las habilidades de las que se vale Gaudí para hacer real aquella vieja aspiración de lograr la *unidad en la diversidad*.

La asociación de este procedimiento geométrico concreto al conjunto de las chimeneas obtiene su definitiva reválida al ser observado en otros ámbitos de la obra de Gaudí. En efecto, el origen de este método de generación ya puede vislumbrarse en otras chimeneas -como las de la finca Güell- y en la construcción de algunas cúpulas de las obras

de la primera época. El modo generativo de algunas columnas como las de la Sagrada Familia o el colegio de las Teresianas también estará inspirado en este proceso geométrico que vamos a estudiar en los próximos capítulos.

La confirmación definitiva de las expectativas aparece al reestablecer el contacto con la realidad constructiva de la chimenea. Partiendo de los conceptos geométricos deducidos durante el desarrollo de la investigación, la relación con la materialidad constructiva se produce de una manera casi inmediata. Dentro de este contexto resulta relativamente fácil imaginar la manera en que pudo haber sido construida la chimenea y aventurar unas hipótesis sobre el particular. La posibilidad sugerida al final de esta tesis, de que puedan existir varias maneras alternativas de construir este objeto, no hace más que reforzar los presupuestos iniciales acerca de la flexibilidad del sistema.

En el desarrollo de este trabajo se intentará demostrar entonces este sentido absolutamente *funcional* de los procesos basados en esta *geometría práctica* empleada por Gaudi; una geometría que, apoyándose en la *praxis* como fundamento del hacer del arquitecto, revela toda las posibilidades expresivas de sus formas.

## CAPÍTULO II GEOMETRÍA EN GAUDÍ Y FORMAS NATURALES

### RECREAR LA NATURALEZA. GAUDÍ Y SUS CONTEMPORÁNEOS

Muchos estudiosos de Gaudí suelen citar con cierta insistencia la poderosa influencia que había ejercido, sobre un Gaudí muy joven aún, la fuerza agreste y contundente de la naturaleza del *camp* de Tarragona donde, aparte de su infancia, se vio obligado a pasar un largo período de tiempo para recuperarse de una prolongada enfermedad<sup>1</sup>. La observación detenida y minuciosa de las innumerables formas orgánicas e inorgánicas que rodeaban al convaleciente será, siempre según estos autores, una de las improntas más indelebles que tendrá su manifestación directa en la exhuberante imaginería de las formas proyectadas a lo largo de toda su obra<sup>2</sup>.

Sin restar importancia al papel que pudo haber jugado esta influencia temprana en su producción arquitectónica creemos, sin embargo, que estas imágenes no hubieran podido cristalizarse en la obra de Gaudí de no ser por el peculiar momento histórico en que le tocó vivir durante sus años de formación universitaria. En el ambiente catalán de fin de siglo, tan impregnado de un medievalismo ecléctico y de las convulsiones propias de un período europeo de grandes cambios, el espíritu de Gaudí encontrará un terreno fecundo para desbordar su frondosa imaginación. No debemos olvidar que cuando Gaudí pasa por las aulas de la entonces Escuela Provincial de Arquitectura de Barcelona el contenido de la enseñanza ya estaba impregnado de un fuerte carácter ecléctico-cientificista debido, entre otras cosas, a la personalidad de Elies Rogent y al nuevo plan de estudios de 1875 que

---

<sup>1</sup> Al parecer, no fue ésta la única ocasión en que Gaudí tuvo la oportunidad de rodearse de la naturaleza por períodos prolongados. Según relata Casanelles, el arquitecto viajó con cierta frecuencia entre los años 1880 y 1890 a la localidad de Alella en donde tenía una torre de verano su amigo Manuel Vicens, circunstancia que aprovechaba el visitante para realizar prolongadas excursiones y realizar gran cantidad de dibujos del natural. (CASANELLES, Enric, *Nueva visión de Gaudí*, Barcelona, Ed. La Polígrafa, 1965, p.34)

<sup>2</sup> Esta tesis es sostenida con gran convicción por Joan Bassegoda Nonell en muchos de sus escritos acerca de Gaudí, aunque ya estaba planteada en alguna medida por biógrafos como Ràfols y Bergós, que veían en estas tempranas impresiones del mundo natural la fuente inspiradora de muchas de las formas gaudinianas. (Ver, BASSEGODA NONELL, Juan, *El gran Gaudí*, Sabadell, Ed. AUSA, 1989, BASSEGODA NONELL, Juan, *Aproximación a Gaudí*, Madrid, Ed. Doce Calles, 1992, BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, Barcelona, Ed. Univ. Politéc. de Barcelona, 1974)

reemplazará al de 1864<sup>3</sup>.

Una vez liberados del lastre del academicismo, los arquitectos y los artistas del Modernismo emprenden una renovación a partir de su reencuentro con la naturaleza, estudiando de una manera directa las formas vegetales y animales, el paisaje y la figura humana. Como sabemos, gran parte de este entusiasmo acabará agotándose en una mera recreación estilística y decorativa, en la tracería floral de formas onduladas tan característica del *Art Nouveau*.

En un principio, y a semejanza de sus contemporáneos europeos Horta y Guimard, podría pensarse que la arquitectura que materializará Gaudí en los años siguientes se encuadra en un sentido amplio de este movimiento partidario de las líneas onduladas y la apariencia orgánica. Sin embargo, la actitud de Gaudí frente a la forma natural dentro de este contexto ecléctico será bien diferente.

A estas alturas Gaudí ya había leído mucho a Viollet-le-Duc y estaba tratando de conciliar el racionalismo del arquitecto francés y las ideas ruskianas de un naturalismo renovador con su propia interpretación de la naturaleza, una interpretación que, como veremos, profundizará sobre otros aspectos más ligados a cuestiones morfológicas que a un mero decorativismo superficial. En este sentido, vale la pena transcribir un párrafo del Manuscrito de Reus, temprano y único testimonio escrito de Gaudí acerca de sus ideas sobre la arquitectura, porque en él ya se puede vislumbrar una primera intención del arquitecto para despojarse de esta concepción de la naturaleza como elemento iconográfico y decorativo e intentar nuevos niveles de interpretación:

"Estudiados los motivos de ornamentación hay dos escollos en ellos... una tendencia hacia el natural y por consiguiente pierde la idea espresada su sencillez y por otra parte un convencionalismo que ofusca la idea,... si se pudiese encontrar un sistema que la idea de la naturaleza pudiese descarnarla de todo lo superfluo ó mejor, si así como para un ser vivo es indispensable todo un organismo para la vida, la representación de este (organismo) ser vivo basta una forma simplificada es decir que no se trata de llevar la fotografía del objeto sino su forma sintetica.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> En este sentido es sumamente testimonial un discurso del entonces director Elies Rogent en los comienzos de la Escuela. (Ver BERTRAN ILARI, Josep, *Antoni Rovira i Rabassa, arquitecte i professor de Geometria Descriptiva als inicis de l'Escola d'Arquitectura de Barcelona*, Tesis doctoral, Barcelona, ETSAB, 1990, p.195)

<sup>4</sup> Este manuscrito, transcrito directamente por el historiador Jesús Gómez de Segura, se divide en tres secciones: *Escrito sobre la casa solariega (casa pairal)*, *La aspiración del arte es la plenitud del efecto que se propone* y *Hornamentación*. Las fechas en que fueron escritas estas tres secciones no son muy seguras, pero podría estimarse un intervalo que va desde el año 1876 al 1879, según un estudio de Joan Bassegoda. El fragmento citado aquí pertenece a la sección *Hornamentación* y está tomado de una versión íntegra del

Para intentar comprender un poco esta indagación gaudiniana acerca de la *idea* de la naturaleza será necesario, sin embargo, trazar previamente un breve panorama de la evolución de los estudios de la forma natural.

## LA NATURALEZA SE ESTUDIA COMO FORMA

### *Los antecedentes.*

Lancelot Law Whyte, un físico interesado desde siempre por los problemas de la forma y la estructura desde un ángulo biológico-filosófico, resume, en un interesante artículo, el debate histórico acerca de los dos órdenes de ideas esenciales respecto al problema de la forma. Un debate iniciado por Demócrito y Platón y que, según Whyte, parece no haberse aún resuelto después de más de trescientos años de ciencias exactas<sup>5</sup>. Por un lado el *atomismo* iniciado con Demócrito como un análisis sistemático, exacto, de las unidades que componen una estructura dada y por otro el estudio global -*gestáltico*, por llamarlo de una manera actual- de la forma entendida como un todo que defienden personajes como Aristóteles y Platón.

En realidad, si nos proponemos recorrer brevemente el panorama de los momentos de la historia que fueron más significativos para el estudio de la forma<sup>6</sup>, podremos verificar en alguna medida la aseveración de Whyte: en la búsqueda insistente de los dibujos de Leonardo Da Vinci, en la obsesión clasificatoria de la anatomía comparada de Couvier o en las páginas de ese *atlas* de la forma orgánica que es el *Growth and Form* de D'Arcy Thompson, perviven estas dos nociones capitales que, como el propio autor

---

manuscrito que ha sido transcrito literalmente del original, por lo que su redacción resulta a veces bastante confusa. (BASSEGODA NONELL, Juan, *El gran Gaudí*, op. cit., 1989, p.84.)

<sup>5</sup> WHYTE, Lancelot Law, "Atomisme, Structure et Forme. Rapport sur la Philosophie Naturelle de la Forme" en AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, edición a cargo de Gyorgy Kepes, Bruxelles, La Connaissance, 1967. (Edición original en lengua inglesa, New York, George Braziller Inc., 1965.)

<sup>6</sup> En este sentido, existe un excelente resumen histórico y una bibliografía muy completa acerca de los estudios de la forma desde ángulos muy diversos escrita por el propio Whyte. Ver, WHYTE, Lancelot Law, "Chronological Survey on Form. Bibliography on Form" en AAVV, *Aspects of Form, A Symposium on Form in Nature and Art*, editado por Lancelot Law Whyte, London, Lund Humphries Publishers, 1968, pp. 229-250.

sostiene, muchas veces parecen complementarias más que antagónicas<sup>7</sup>.

Lo cierto es que, ahora ya dentro de nuestra propia disciplina, podríamos reconocer sin mucha dificultad la influencia que han venido teniendo históricamente estas dos maneras de entender la forma dentro de la producción arquitectónica y su relación con planteamientos estéticos e, incluso, ideológicos. Este aspecto del problema, que escapa a la especificidad de este trabajo, pone el acento, sin embargo, sobre un asunto sobre el que volveremos una y otra vez a lo largo de esta tesis y que tiene que ver con la manera y el contenido con que se indaga a la forma y se la interpreta. Más concretamente, en nuestro caso, con la manera de acceder al mundo natural y extraer ciertos principios para experimentar y desarrollar en el mundo de las formas arquitectónicas, un proceso que va a impregnar toda la actividad creadora de un arquitecto como Gaudí.

Una de las conclusiones inmediatas que podemos sacar de este panorama científico de los estudios sobre la forma, es la evidencia de que las formas -y en especial las formas producidas por la naturaleza- son entidades *complejas*, es decir, que no existe un método general para abordarlas. Dentro de este marco de referencia, el planteamiento atomista intenta reducir todo a un conjunto de acciones entre pares de entidades y, por otra parte, un análisis estructural corre el riesgo de no incluir partes o elementos que, en determinados contextos, pueden ser representativos del sistema. En otras palabras, que no existe un método propiamente *científico* que pueda abordar con razonable éxito toda la complejidad que encierran las formas naturales.

Será quizá esta manifiesta incapacidad del método científico puro para interpretar las formas la que, hoy día, nos hace ver con renovado interés la indagación de los artistas como una fuente valiosa de conocimiento. Unos de los descubrimientos más sorprendentes dentro de esta línea fue, sin duda, el estudio detenido de los cuadernos de apuntes de Leonardo da Vinci. Aquí vemos por vez primera un intento sistemático por penetrar la superficie de la naturaleza y descubrir la forma exterior a partir de la interior. Como afirma Bronowski, "Léonard de Vinci en peinture, Verrochio en sculpture, et beaucoup d'autres, découvraient la machine dans la charpente humaine et animale"; una afirmación que no deja de resultar paradójica por tratarse de ser justamente los artistas los encargados de revelarnos contenidos que pertenecen al campo de las ciencias<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> "L'analyse est indispensable, mais elle doit aboutir à l'étude de l'ordre. Des réactions globales à des formes intégrales sont naturelles, mais elles doivent être mûries par la connaissance de la structure. L'esprit analytique doit en définitive en arriver à l'ordre, et l'enthousiaste de la forme revenir sur terre et accepter la structure. Car c'est ainsi qu'est fait l'univers." (WHYTE, Lancelot law, *op. cit.*, p.25)

<sup>8</sup> BRONOWSKI, Jacob, "La découverte de la forme", en AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, *op. cit.*, p.56.

Los métodos clasificatorios empleados por la historia natural están todavía, hasta bien entrado el siglo XVIII, muy vinculados a las propiedades visibles y formales de las especies, excluyendo toda interpretación que involucre otros aspectos de la realidad formal como la estática o la funcionalidad. Sin embargo, por entonces ya está debidamente asumida la presunción de un *principio* transformativo o combinativo que gobernaría las formas y por el que la clasificación podía extenderse, más allá de las especies conocidas, a nuevas especies aún por descubrir o, lo que todavía resultaba más excitante, a generar especies teóricas de un tipo desconocido en la naturaleza.

La idea de una cierta conceptualización geométrica de la forma no tomará cuerpo, sin embargo, hasta los trabajos de Goethe. El término *morfología* es introducido por el escritor alemán alrededor de 1827 cuando, en su observación sistemática de las especies vegetales, llega a definir a la "forma arquetípica" (*urpflanze*) presente en ellas y en sus metamorfosis como la reiteración de un patrón temporal que constituye la *historia* de la vida de una planta. El estudio de las estructuras y las formas no se limita solamente en Goethe al análisis de las plantas sino que abarca otros campos del reino animal e inorgánico y, lo que es más importante, posibilita -a través de lo que él define como leyes del crecimiento axial y simétrico- las analogías entre estructuras orgánicas e inorgánicas.

En este camino hacia la indagación de la forma como una trama compleja de relaciones e interacciones, aparece la figura de Georges Cuvier, fundador de la anatomía comparativa e incesante investigador de la morfología natural. Su trabajo aporta uno de los conceptos que influirá decisivamente sobre los más importantes tratados acerca de la forma natural aparecidos a principios de este siglo: la idea de las *condiciones de existencia* de las especies. Bajo este concepto, cada criatura viene definida por una suerte de "especificación" inicial o conjunto de sollicitaciones, cuya organización anatómica y fisiológica particular era *diseñada* para obedecerlas.

Según este novedoso enfoque, ya no se trata solamente de estudiar a las especies basándose en las características visibles, geométricas, inconexas e interiores de la forma sino haciendo referencia a unas propiedades ahora *invisibles*, las del interior del cuerpo.

Bajo este punto de vista se hace evidente que estamos en presencia de una idea que se aproxima mucho al concepto de *función*, al menos en el sentido menos restrictivo del término. No obstante, dada la importancia que tendrá este concepto para nuestro estudio, nos gustaría emplear otra palabra más en consonancia con nuestras intenciones. Para ello tomaremos prestado un término empleado por D'Arcy Thompson años más tarde en su tratado: la palabra *fitness*, que podríamos traducir como "aptitud" o "adecuación" y que utilizaremos con frecuencia.

Los descubrimientos científicos de finales de siglo no hacen sino profundizar en este camino investigado por Cuvier.

Primero el descubrimiento de los rayos X por Wilhem Röntgen en 1895 y después

la serie de hallazgos que transforman el concepto abstracto del átomo en una entidad física concreta, comienzan a revelar que la forma es un hecho demasiado complejo y no puede admitir una simplificación esquemática.

Es curioso como podemos verificar una vez más que las ciencias no hacen sino constatar unos fenómenos ya intuídos con muchos años de antelación por el hacer de los artistas.

Sir Theodore Andrea Cook publica a comienzos de 1914 uno de los tratados que, a nuestro entender, van a ejercer una influencia decisiva sobre una buena cantidad de escritos posteriores sobre el tema -especialmente el *Growth and Form* de D'Arcy Thompson- y que pretendemos traer aquí por varios motivos.

El libro de Cook<sup>9</sup>, cuyo origen son unos artículos escritos en 1912 para la revista *Field*, no sólo presenta un tema de específica importancia para nuestra investigación como es el estudio de las hélices y espirales, sino que quizá sea el primer estudio coherente con una base teórica acerca de las relaciones entre la naturaleza, las matemáticas y la creación artística.

El autor plantea, con gran claridad expositiva, un estudio sistemático de la presencia de las hélices y las espirales en las formas orgánicas a partir de unos pocos conceptos matemáticos que desarrolla con simplicidad y convicción. Para ello se vale de una importante documentación fotográfica y unos esquemas geométricos muy elementales. En los últimos capítulos practica un contrapunto con las espirales creadas por el hombre tomando como referencia los estudios de Leonardo y Durero.

Dejando de lado la especificidad del tema sobre el que volveremos más adelante, resulta muy interesante constatar que Cook define una línea filosófica y metodológica para enfocar su trabajo, que marcará definitivamente las investigaciones posteriores: en este sentido o se está del lado de Cook o se está exactamente en el otro extremo.

Para el autor, la interpretación matemática de las espirales, y por tanto la de cualquier forma natural, tiene unos límites muy concretos que no conviene trasgredir. Las matemáticas y la geometría no son capaces de explicar por sí mismas las sutiles variaciones de las leyes naturales, ya que el desarrollo de la forma orgánica es el resultado de un conjunto de fuerzas de una enorme complejidad. Para Cook, es precisamente este factor de complejidad el responsable de la existencia de las numerosas *desviaciones* de lo que, en principio, parecía una simple ley de generación. Esta será, por tanto, una de las

---

<sup>9</sup> COOK, Theodore Andrea, *The curves of life. Being and account of spiral formations and their application to growth in Nature, to Science and to Art; with special reference to the manuscripts of Leonardo da Vinci*, Unabridged republication, New York, Dover Publications, Inc., 1979. (Edición original, London, Constable and Company, 1914)

características fundamentales de la forma orgánica<sup>10</sup>.

¿Qué está queriendo decir el autor con todo esto?

En el primer apéndice de su tratado, Cook publica numerosas ilustraciones de un libro casi contemporáneo al suyo escrito por Samuel Colman y que trata básicamente de la presencia del sistema de proporciones basado en el número  $\phi$  en la naturaleza y el arte<sup>11</sup>. El tono agriamente crítico empleado por Cook hacia el libro de Colman no deja lugar a dudas acerca de las dos posiciones diametralmente opuestas que sostienen sus autores. El escrito de Colman inaugura, en alguna medida, una serie de estudios sobre la interpretación matemática de la forma que se van a caracterizar por un alto contenido reduccionista y un simplismo extremo (Fig.1).

Para Colman, un único principio matemático rige la forma de todas las especies naturales. Sus demostraciones se basan en el típico desarrollo de trazados sobre fotografías, que traen inevitablemente a la memoria los dibujos de Ghyka y muchos otros estudios posteriores.

Contrariamente, la posición de Cook es clara y contundente: contra la idea de *unidad*, antepone la de *diversidad*. A la teoría de una *naturaleza armónica y unitaria* contesta con la idea de una *naturaleza geoméricamente diversa*. Una vez más el autor reafirma aquí que las leyes tienen sus desviaciones y que este es precisamente uno de los rasgos más interesantes y peculiares de la forma natural.

Cook es, además, un autor interesante por muchos otros aspectos, por lo que volveremos a consultar su tratado en más de una oportunidad.

### *Un tratado definitivo.*

Debemos esperar a unos años más tarde para que un biólogo con una extensa cultura humanística como D'Arcy Wentworth Thompson sea el encargado de condensar en

---

<sup>10</sup> "...they support my contention that Nature exhibits Diversity rather than Unity, and that living things and the highest forms of art cannot be expected to show conformity with any one or a few simple laws of Nature to which it is at present possible to give mathematical definition. They justify also the opinions I have expressed that deviations are one cause of beauty and one manifestation of life; and this is why the study of exceptions is the road to progress."(COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.xiv)

<sup>11</sup> COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, Appendix I, "Nature and Mathematics", pp. 433-441.

una obra monumental los aspectos esenciales de la forma orgánica y del crecimiento<sup>12</sup>. Quizá el mérito más importante de D'Arcy Thompson sea el de retomar con cierto rigor sistemático los postulados de Couvier e integrarlos a los conceptos matemáticos de la forma bajo una nueva perspectiva. La idea dinámica de la morfología se expresa ahora en términos de *operaciones energéticas*, de la que se desprende inevitablemente el concepto de adaptación al medio, que el autor denomina *fitness*.

Es interesante constatar, desde este punto de vista, cómo en el ámbito de la arquitectura y la revisión histórica, personajes de la talla de Viollet-le-Duc o Choisy estaban hablando en los mismos términos desde su propia disciplina unos cuantos años antes, anticipando la revolución racionalista de las ideas arquitectónicas que explotará poco tiempo después<sup>13</sup>.

Retomando el contenido del libro de D'Arcy Thompson nos detendremos en unos cuantos aspectos de su teoría que pueden considerarse esenciales, no tanto ya en relación con la tratadística de la época sino más ligados directamente con nuestros objetivos concretos.

Uno de los aportes verdaderamente originales del autor en relación con el fenómeno del crecimiento y la forma, es el de incluir la noción de la tensión superficial como generadora de las llamadas *superficies mínimas*, un concepto que será posteriormente retomado una y otra vez por otros autores desde distintos campos disciplinares. Para nosotros, en cambio, esta noción asume un significado muy especial debido a la relación que guardan estas superficies con las superficies alabeadas empleadas por Gaudí.

Thompson describe a la tensión superficial como las *fuerzas moleculares* que -en

---

<sup>12</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *On Growth and Form*, An abridged edition edited by John Tyler Bonner, Cambridge, At the University Press, 1969.

La edición original del tratado data de 1917, pero en 1942 aparece una edición aumentada por el propio autor que muchos estudiosos consideran definitiva, debido entre otras cosas a la gran cantidad de notas laterales al texto e incisos de contenido filosófico que dan a la obra una magnitud universal. Posteriormente, a principio de los años sesenta se imprime una edición drásticamente abreviada -de donde desaparecen incluso capítulos enteros- que es la que circulará hasta el presente.

<sup>13</sup> El concepto de *fitness* desarrollado por D'Arcy Thompson puede tener un correlato casi directo con la idea de *besoin satisfait* expresada en los *Entretiens...* de Viollet, que enfoca el tema desde un ángulo si se quiere estético y muy ligado a la apariencia del edificio.

La postura de Choisy, en cambio, pone más el acento en las condicionantes de producción material de la obra de arquitectura y en una noción de economía basada en la obtención del máximo rendimiento con el mínimo gasto.

Como podrá comprobarse inmediatamente, estas dos ideas son fácilmente extrapolables a los conceptos energéticos aplicados a las formas naturales.

condiciones ideales- tienden a crear un *área mínima* en la superficie exterior, explicando de esta manera las consecuencias que produce esta tensión superficial en la forma de los organismos elementales. Para ello se vale del ejemplo de la película de agua jabonosa en un anillo metálico: debido a la ley fundamental de la capilaridad, la película de líquido en equilibrio asume la forma de una *superficie mínima* cuya configuración dependerá de la forma de los límites y de la presión actuante en ese momento<sup>14</sup>(Fig.2). Cuando estas películas líquidas tienden a unirse entre sí lo hacen siguiendo leyes muy definidas:

- a) en cada borde se encuentran siempre tres superficies;
- b) las crestas o bordes que se encuentran en una esquina son cuatro y no más y
- c) las tres superficies que se encuentran en una cresta tienen ángulos iguales<sup>15</sup>.

De esta manera, el autor introduce otro de los conceptos clave de su argumento: la idea de agregación celular como *close packing*.

Cuando se habla de "células interiores" desde un punto de vista tridimensional (o su equivalente de las pompas de jabón), D'Arcy Thompson introduce este concepto de *close packing* (retomado posteriormente por Pearce, Fuller y otros) en donde aparece la configuración hexagonal como patrón básico de ordenamiento derivado de los esfuerzos externos sobre una forma inicial de cilindro o esfera. Esta *presión*, al actuar sobre las capas celulares tiende, a su vez, a la conformación de superficies mínimas.

Esta tendencia a la conformación hexagonal y al desarrollo de estructuras que tienden a mantener uniones con ángulos próximos a los 120° es ilustrada con numerosos ejemplos tomados del mundo natural y con la explicación del fenómeno de difusión de unos líquidos en otros que tiene su máximo desarrollo en la configuración geométrica del ejemplo del panal de las abejas (Fig.3).

Uno de los capítulos que ha dejado también su influencia en muchos autores posteriores es el dedicado al estudio de las estructuras resistentes (esqueletos) de organismos simples como los *radiolarios*, enfocado desde un punto de vista esencialmente dinámico. La novedad del planteamiento de D'Arcy Thompson radica en considerar a la

---

<sup>14</sup> En relación con la unión de películas líquidas y las leyes que definen a las superficies mínimas, el autor llega a establecer que:

- a) en cualquier sistema de este tipo en equilibrio la suma de las áreas de la película es un mínimo;
- b) en las mismas condiciones anteriores, el área de cada una de ellas es un mínimo;
- c) la curvatura media (*mean curvature*) de cada una es constante para toda el área entera: nula cuando la presión es la misma para cada lado y en los casos restantes proporcional a la diferencia. (THOMPSON, D'arcy Wentworth, *op. cit.*, p.99)

<sup>15</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.100.

estructura funcionado en estrecha relación con los demás elementos del conjunto orgánico y sometida a las leyes del crecimiento y del movimiento. Aquí podemos constatar nuevamente, y a través de numerosos ejemplos, la necesidad de adaptación resistente de los organismos a una configuración estructural que tome como condición las uniones de  $120^\circ$  entre las líneas de tensión. Esta adaptación llega a tener tal magnitud que esta condición llega a primar sobre las demás en la mayoría de los casos.

Pero el momento quizá más brillante del tratado de Thompson es cuando el autor retoma el estudio matemático de las espirales realizado por Cook unos años antes y elabora unas hipótesis que vinculan estrechamente las condiciones de crecimiento de los organismos con los parámetros geométricos que rigen su morfología. Este es un capítulo de especial interés para nuestra investigación, no sólo debido al tema concreto de las hélices y las espirales sino por muchas de las conclusiones que se infieren más o menos directamente del estudio del autor.

Para Thompson, una de las particularidades más notables en el crecimiento de lo que él denomina *estructuras espiraladas*, y que las diferencia de otras formas de crecimiento orgánico, es la posibilidad de crecer de dentro hacia fuera conservando inalterable la forma *patrón* inicial<sup>16</sup>. Este concepto introduce una particular idea de la noción del tiempo *impresa* sobre la forma, lo que el autor define como *time element* y que, como veremos, adquiere un notable significado posterior al asociarse a la geometría de la espiral logarítmica. Las propiedades intrínsecas de esta curva le llevan a enunciar el concepto de  *semejanza continua*, en donde el crecimiento de las configuraciones espiraladas -como las de los moluscos- se produce de manera tal que cada incremento es similar al predecesor y el conjunto, en cada momento del crecimiento, permanece estable (Fig.4).

También se debe a D'Arcy Thompson la introducción dentro de este contexto del término *nomon*<sup>17</sup>, acuñado por Aristóteles para definir la propiedad que tienen ciertas figuras de producir otras figuras semejantes a sí misma de manera indefinida, un concepto muy vinculado a la homotecia geométrica sobre la que volveremos más adelante. Lo

---

<sup>16</sup> "But the horn, or the snail-shell, is curiously different; for in these the presently existing structure is, so to speak, partly old and partly new. It has been conformed by successive and continuous increments; and each successive stage of growth, starting from the origin, remains as an integral and unchanging portion of the growing structure." (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.174)

<sup>17</sup> Del latín *gnomon* y del griego *gnomon*, este término ha estado asociado frecuentemente a los relojes de sol primitivos, aunque también había sido usado para designar antiguamente a cierto tipo de escuadras de forma triangular. Quizá sea esta última acepción del término la que conecta con el teorema de Aristóteles sobre las figuras nomónicas, demostrado a partir de un triángulo.

importante del aporte de Thompson en este terreno es la manera en que este concepto de *figura nomónica* es relacionado directamente con la espiral logarítmica y con la idea de *semejanza continua*, en una argumentación muy brillante y sugerente (Fig.5).

En el capítulo IX de *Growth and Form*<sup>18</sup>, y quizá un poco a modo de síntesis y aplicación práctica, el autor esquematiza las relaciones entre el crecimiento y las matemáticas por medio de lo que él llama el *método de las coordenadas*, una manera de vincular las etapas sucesivas del desarrollo de las especies con una suerte de trama geométrica que puede operar diferentes tipos de transformaciones. Son reconocidas aquí cuatro tipos de transformaciones básicas, de las cuales tres son cartesianas y una es polar o radial.

Los resultados de estas operaciones, desarrollados en gran cantidad de ejemplos, no dejan de ser un poco decepcionantes ya que el autor elude explícitamente los problemas generados en una transformación espacial de las coordenadas, cuyo análisis, dice, escapa al contenido del libro. De esta manera, las expectativas creadas a lo largo del libro quedan al final de este capítulo un poco defraudadas, ya que en el fondo el método de las coordenadas propuesto por el autor es una especie de *tratado de proporciones* al estilo de los tratados renacentistas sobre arquitectura, en donde se emplean los trazados reguladores para determinar las proporciones adecuadas de un objeto, con la diferencia de que, en este caso, se establece un vínculo dinámico entre individuos de una misma especie a través del propio sistema<sup>19</sup> (Fig.6). El autor demuestra aquí un cierto determinismo matemático -que en varios momentos del libro, no obstante, se apresura a negar- que resulta bastante opuesto a las posturas sostenidas por Cook en este terreno.

De todas maneras, una fallida aplicación práctica no debe ensombrecer el valiosísimo aporte que este libro significa, no solamente para la ciencia biológica sino también para otras disciplinas vinculadas más o menos directamente con el estudio de la forma.

El *On Growth and Form* de D'Arcy Thompson es un tratado definitivo en el sentido

---

<sup>18</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, Chapter IX, "On the theory of transformations, or the comparison of related forms", pp. 268-326.

<sup>19</sup> El método, a nuestro entender, posee las siguientes limitaciones:

- a) las relaciones se establecen siempre en una proyección bidimensional, tanto sea para el individuo estudiado como para la retícula que define las coordenadas, soslayando cualquier interpretación tridimensional;
- b) un individuo de toda una cadena evolutiva se toma como punto de partida para fijar unas coordenadas sin deformación que luego serán transformadas al aplicarlas en los individuos restantes de la serie. ¿Qué criterios se deben aplicar a la hora de elegir a este individuo y no a otro cualquiera como punto de partida?;
- c) es evidente que el método no tiene ninguna precisión desde el punto de vista matemático.

que, aparte de dar cuerpo teórico a todas las investigaciones que sobre la morfología natural se habían realizado hasta el momento, trasciende las barreras de la biología para promover una comprensión de la forma desde un ángulo más amplio. Es esta una visión nueva que intenta abarcar toda la complejidad del fenómeno natural y que, quizá sin proponérselo, trasciende el propio ámbito disciplinar para alcanzar otros horizontes.

### *Caminos paralelos y coincidencias.*

Los avances en los estudios de la forma natural después de de D'Arcy Thompson no hacen sino apoyar en alguna medida los postulados generales de *On Growth and Form* en nuevos campos de la investigación científica. La irrupción del descubrimiento del patrón espacial de las cadenas del DNA en la biología molecular en los años cincuenta, por ejemplo, es una de las confirmaciones más espectaculares del significado de las hélices en la naturaleza<sup>20</sup>.

En la década siguiente aparecen una buena cantidad de escritos que, desde diferentes campos disciplinares, intentan establecer paralelismos y confrontar ideas acerca de la forma natural y sus relaciones con la ciencia y el arte. Entre estos destacan unos escritos monográficos que reúnen una buena cantidad de artículos escritos por autoridades en el tema como C.H. Waddington, Lancelot Whyte y Jacob Bronowski en el campo de la biología, R. Arnheim, E.H. Gombrich en temas de estética y muchos otros<sup>21</sup>. Este conjunto de publicaciones tiene su importancia dentro de este contexto porque, en alguna medida, promueve el debate multidisciplinar y difunde hacia otros ámbitos las ideas de Thompson.

En el campo de la estética, Matila Ghyka fusiona las ideas de Cook y D'Arcy

---

<sup>20</sup> La identificación por Crick y Watson en 1953 de la doble hélice que determina la estructura principal de la herencia de los organismos celulares en las cadenas de DNA de los cromosomas adquiere, en este sentido, un significado casi místico: una estructura geométrica es la determinante de la estabilidad y continuidad de la vida! No debe extrañarnos, pues, que muchos científicos de la época proclamaran haber revelado el "secreto de la vida" con este descubrimiento.

<sup>21</sup> AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, Bruxelles, La connaissance, 1967. (Ed. original, New York, George Braziller, 1965)

AAVV, *Module, proportion, symétrie, rythme*, Bruxelles, La connaissance, 1968. (Ed. original, New York, George Braziller, 1966)

AAVV, *Aspects of Form*, A Symposium on Form in Nature and Art edited by Lancelot Whyte, London, Lund Humphries, 1968. (Ed. original, London, 1951)

Thompson sobre la forma natural con el texto de *De Divina Proportione* de Luca Paccioli para escribir un libro que va a ejercer una notable influencia en el campo de la arquitectura debido a su claro contenido reduccionista, inaugurando de esta manera un período de esplendor para la *mística de los números* que aún deja oír sus ecos<sup>22</sup>.

Dentro del campo de nuestra disciplina, otros autores como Fuller, Pearce o Williams aplican estos conceptos para desarrollar sus propuestas arquitectónicas en base a una pretendida *metodología de diseño* de aplicación universal<sup>23</sup>.

La influencia recíproca entre las investigaciones de las ciencias biológicas y la arquitectura no se limita, sin embargo, al empleo sistemático de trazados geométricos o a la elaboración de un repertorio formal de validez general.

El extraordinario interés por el estudio de las formas naturales en el siglo pasado promueve un ambiente de renovación del pensamiento que provoca una nueva actitud respecto al papel del arquitecto frente a su obra. De una manera discontinua y a través de la intuición artística y los avances científicos, se va gestando una visión racional de la arquitectura que cristalizará en figuras como la de Viollet-le-Duc, que se vale de su revisión de la arquitectura medieval para lanzar sus proclamas de alto contenido convulsivo.

Como afirma Steadman<sup>24</sup>, la influencia del principio de *correlación de las partes* sustentado por Couvier queda reflejado en método deductivo empleado por Viollet-le-Duc para llevar a cabo su análisis de la arquitectura gótica desarrollado en el *Dictionnaire...*

De igual manera, otros personajes claves en la historia de la arquitectura de fin de siglo como Auguste Choisy o el mismo Gaudí hacen suyas estas nuevas ideas que abren las puertas al racionalismo en la arquitectura.

Sintéticamente podríamos decir que esta nueva actitud frente a la problemática de

---

<sup>22</sup> GHYKA, Matila C., *Estética de las proporciones en la naturaleza y las artes*, Buenos Aires, Poseidon, 1953. (Ed. original, *Esthétique des proportions dans la nature et dans les arts*, Paris, 1927)

<sup>23</sup> BUCKMINSTER FULLER, R., "Conceptualité des structures fondamentales", AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, Bruxelles, La Connaissance, 1967.

PEARCE, Peter, *Structure in Nature Is a Strategy for Design*, Cambridge, The MIT Press, 1987.

WILLIAMS, Robert, *The geometrical foundation of natural structure. A Source Book of Design*, New York, Dover Publications, 1979.

<sup>24</sup> STEADMAN, Philip, *Arquitectura y naturaleza. Las analogías biológicas en el diseño*, Madrid, H. Blume Ediciones, 1982. (Ed. original, *The evolution of designs*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982)

la forma arquitectónica en relación a la forma natural, comprendería tres postulados esenciales:

- a) en la arquitectura, como en las formas de naturaleza, la apariencia exterior debe ser la expresión de una *necesidad satisfecha* que nace del interior;
- b) todo miembro arquitectónico será la consecuencia de una necesidad estructural;
- c) cada arquitectura plantea sus propias leyes de composición.

Más próximo a nosotros, un Gaudí ya impregnado de estas nuevas ideas confiesa a Juan Bergós sus primeras intuiciones acerca de las *leyes de la naturaleza*:

"La pintura por medio de los colores y la escultura mediante la forma expresan los organismos existentes: figuras, árboles, frutos..., expresando su interioridad a través de las exterioridades. La arquitectura crea el organismo y por eso éste tiene que tener una ley en consonancia con las de la naturaleza; los arquitectos que no se atengan a ella, hacen un engendro en lugar de una obra de arte."<sup>25</sup>

## GEOMETRÍA COMO APROXIMACIÓN

Uno de los esfuerzos constantes en el progreso de las ciencias de estos últimos doscientos años ha consistido en una sostenida obsesión por la medición y la precisión numérica. Para ello una de las operaciones básicas de la metodología científica, tanto en el campo teórico como en el de la experiencia, ha sido la eliminación de lo "accesorio" para efectuar un proceso de reducción capaz de condensar en unos *principios* elementales de validez instrumental. Un proceso de este tipo -de indudable efectividad en muchos campos de la investigación- encuentra una seria limitación cuando tiene que enfrentarse a la complejidad del mundo de las formas naturales. Naturalmente, la medición y la exactitud son aún necesarias, pero el objetivo primero de una *ciencia de lo natural* sólo será logrado cuando sea posible el intercambio de escalas y dimensiones diferentes que aparecen siempre fuertemente relacionadas entre sí.

En la configuración formal de la naturaleza parece bastante improbable poder aplicar un método de análisis basado en una idea restrictiva del concepto de *estructura*.

---

<sup>25</sup> BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, op. cit., p.39.

Para Whyte, por ejemplo, es forzosamente necesario realizar una operación de liberación de esta limitación autoimpuesta por las ciencias y ampliar el concepto de estructura a nociones más genéricas como las de *disposición*, *configuración*, *organización* o *arreglo*<sup>26</sup>. En rigor, el autor se propone claramente la necesidad de utilizar como herramienta nuestra capacidad perceptiva a la hora de plantear las incógnitas de las "condiciones iniciales" que conducen a la producción de formas particulares, subrayando de este modo las limitaciones que tiene la ciencia como abstracción. En un sentido similar se expresan los estudiosos de la percepción cuando afirman que toda conciencia o actividad mental parece implicar la comparación del esquema aprehendido con un esquema precedente.

De esta manera, las definiciones matemáticas son útiles pero resultan demasiado estrictas en un sentido ordinario, ya que es necesario combinar su rigor con mayores grados de libertad. Autores como D'Arcy Thompson proponen operar a partir de un sentido *dinámico* de las matemáticas que consiga, por medio de una libertad *regulada y controlada*, pasar del análisis a la síntesis y descubrir de esta manera homologías o identidades en donde anteriormente no eran evidentes<sup>27</sup>. No obstante, un modelo estrictamente matemático para el análisis de la forma en la naturaleza se ha de poner necesariamente en crisis porque el hecho de que un objeto orgánico muestre una determinada *divergencia* de la exactitud matemática (en ocasiones expresada con extraordinaria sutileza) nos está indicando esta presencia orgánica y es justamente su señal de vida<sup>28</sup>.

Estas limitaciones plantean la discusión en un terreno operativo y conceptual acerca de la conveniencia de colocar en un primer plano las estrategias geométricas en lugar de las operaciones matemáticas. En este sentido, parece un poco arriesgado el deducir ciertas abstracciones de la física en base a formas directamente percibidas del universo visual, pero

---

<sup>26</sup> Whyte denomina a estas estructuras como "estructuras parcialmente ordenadas" e incluye el *desorden* como un elemento más en juego.

"Une certaine prudence est nécessaire lorsque l'on passe de la physique aux arts appliqués et aux beaux-arts, mais nous ne pouvons empêcher la science de jeter des graines dans toutes les directions. Car le vieux problème de la partie et du tout est reconsidéré, en termes de *structure partiellement ordonnée*. Dans sa longue poursuite de l'ordre dans la nature, le savant a pris une direction nouvelle. Il recherche maintenant *l'ordre et le désordre* sans préjugé, ayant découvert que la complexité comprend habituellement les deux." (WHYTE, Lancelot Law, *Atomisme...* op. cit., p.20)

<sup>27</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.269.

<sup>28</sup> "One of the conditions of organic life is the possibility of slight deviations which will fit the function for its environment. One of the conditions of beauty is the use of subtle variations from exactitude." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.330)

puede resultar interesante asumir el riesgo. Nuestra experiencia visual es inmediata y las abstracciones de las ciencias fundamentales son, para ciertos fines, demasiado abstractas. El método geométrico ofrece, en cambio, la posibilidad de transformar un concepto que existe en nuestras mentes en un hecho concreto y acabado en sí mismo que puede ser dibujado en un papel con gran claridad. Inversamente, evocamos esta idea abstracta a partir del concepto dibujado para intentar comprender a un objeto natural concreto. Este sistema, que a simple vista puede parecer poco *científico* y un tanto generalizador, ha sido el que creemos ha conseguido llevar adelante con bastante éxito un conjunto de investigaciones serias en el campo de la morfología natural<sup>29</sup>.

No estamos defendiendo aquí la utilización exclusiva y excluyente del método geométrico sobre el método matemático. Se trata de entender que la geometría es la única herramienta capaz de proporcionar *esquemas* de una cierta globalidad que permitan asumir dentro de determinados límites las desviaciones propias de los sistemas naturales<sup>30</sup>. En este contexto, la aportación de las matemáticas será complementaria y servirá para situar los límites dimensionales y apoyar las demostraciones geométricas.

Llegados a este punto se hace necesario precisar una cuestión de enfoque que ha originado una buena cantidad de equívocos respecto a la interpretación geométrica de las formas en la naturaleza.

Por muy elemental que parezca, las leyes no tienen una existencia previa a nuestra formulación, dejando de existir cuando se funden en un principio fundamental. Ellas no expresan *realidad*, sino *su* propia realidad. Son el instrumento de la ciencia y no su objetivo. Para el análisis de la forma natural esta distinción resulta fundamental, ya que no se trata de descartar la racionalidad dentro del proceso de interpretación, sino tener

---

<sup>29</sup> Para muchos estudiosos del tema como Cook, este es el único camino viable para conceptualizar ciertos aspectos de la forma natural.

"It is only by some such means that the human mind, which hungers for finality and definite conceptions, can ever intelligibly deal with the constantly changing and bewilderingly varied phenomena of organic life." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.24)

<sup>30</sup> "Les parties d'un tout perçu forment de nombreux schémas se suggérant les uns les autres à diverses échelles et sous divers aspects, avec des schémas d'imperfection et de désordre d'une sorte formant la charpente partiellement ordonnée d'un autre avec une diversité presque magique dépendant du degré auquel on établit la moyenne des déviations locales du schéma idéal." (SMITH, Cyril Stanley, "Structure, substructure, superstructure", AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, *op. cit.*, p.41)

suficientemente claro que esta racionalidad está por fuera de los propios procesos naturales<sup>31</sup>. Por tanto, la geometría se revela como el medio idóneo para crear ciertos esquemas de interpretación, pero sólo serán *esquemas ideales* en tanto que son concebidos por nuestra propia mente.

Esta advertencia resulta de gran importancia en el desarrollo de esta tesis. El hecho de confundir lo que debería ser una aplicación instrumental de la geometría con la propia realidad investigada ha creado grandes desorientaciones entre los estudiosos de la obra de Gaudí.

La vinculación de las formas naturales con la arquitectura de Gaudí es un tema sobre el que nadie tiene duda alguna. Sin embargo, desde un principio se estableció un vínculo tan estrecho entre estas formas naturales y determinadas superficies geométricas de generación reglada como el paraboloides hiperbólico, el hiperboloides o el helicoides, que acabaron confundándose en una sola idea. Esta situación -en alguna medida motivada también por ciertas declaraciones atribuidas al propio Gaudí<sup>32</sup>- llega a su límite cuando se intenta hipotizar acerca de una naturaleza materializada casi exclusivamente mediante superficies regladas. En esta visión altamente idealizada del mundo natural los tendones musculares y las fibras óseas o vegetales serían las directrices regladas de infinitas superficies alabeadas que poblarían el planeta.

Debemos dejar bien clara esta cuestión. La complejidad de las formas de la naturaleza puede ser abordada a través de la geometría y las matemáticas entendidas únicamente como instrumentos conceptuales. Estos instrumentos determinan un conjunto de abstracciones que se vinculan con unos modelos que nos deben resultar *operables*, es decir, susceptibles de ser sometidos a leyes conocidas. Desde este punto de vista la geometría puede ser entendida solamente como una herramienta útil para comprender las formas naturales, pero *no* es la propia forma investigada.

Por lo tanto, creemos totalmente equívoca la idea de una "geometría natural" y preferimos hablar de una "geometría de lo natural" como *aproximación* válida al problema de la forma, aunque los resultados obtenidos en este caso no resulten tan espectacularmente

---

<sup>31</sup> "They assist us to pursue that rational analysis which is essential to our own minds, but which no part of the actual mechanism of Nature." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.428)

<sup>32</sup> Una de las citas más conocidas sobre este tema es la que recoge Bergós en su biografía sobre el arquitecto.

"Observó la profusión de envolventes alabeadas y de trasposos suaves de los elementos naturales; señalando las uniones de los dedos, decía: "Mire, son paraboloides"; y también: "Girando el antebrazo o el tronco se forman helicoides"...(BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, *op. cit.*, p.84)

concluyentes.

D'Arcy Thompson explica, valiéndose del bello ejemplo de las alas de una libélula (Fig.7), como va cambiando la configuración básica de un patrón geométrico inicial en virtud de un conjunto de sollicitaciones orgánicas variables. De este modo, los diferentes efectos producidos en la disposición de los nervios y la malla celular generan sutiles progresiones del motivo original<sup>33</sup>. Este fenómeno, que se caracteriza por producir un tipo muy particular de *distorsión* sobre un determinado modelo base o patrón geométrico, constituye uno de los rasgos más distintivos de las formas naturales y lo podemos observar en multitud de ejemplos, tanto en capas superficiales como en estructuras más complejas (Fig.8, Fig.9). La explicación de un proceso de este tipo está ligada exclusivamente a cuestiones de economía energética y adaptación al medio y no parece tener relación directa con fundamentaciones geométricas o matemáticas<sup>34</sup>.

Algunos autores, alineados en los conceptos de Whitehead como C. H. Waddington prefieren hablar de una idea particular del concepto de *ritmo* para definir este fenómeno e incluso llegan a sugerir la existencia de una cierta ordenación matemática subyacente que no acaba de ser formulada concretamente<sup>35</sup>.

Este proceso, al margen de sus posibles fundamentaciones biológicas, nos ofrece una configuración física de indudable atractivo y particularidad. La impresión general del

<sup>33</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.97.

<sup>34</sup> El tema de los procesos internos vinculados a la evolución y la adaptación al medio de las especies es, desde el punto de vista biológico, complejo y oscuro. Thompson justifica la existencia de un principio ideal capaz de regir las leyes del crecimiento pero admite las dificultades derivadas de su *afiliación material*.(THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.201)

<sup>35</sup> "Par rythme, je veux dire, approximativement, quelque chose qui est presque une périodicité régulière mais non tout à fait. Comme l'a défini Alfred North Whitehead dans *Principles of Natural Knowledge*: 'L'essence du rythme est la fusion de l'identité et de la nouveauté; si bien que l'ensemble ne perd jamais l'unité essentielle du schéma, tandis que les parties présentent le contraste résultant de la nouveauté de leur détail. Un simple renouvellement tue le rythme aussi sûrement qu'un simple désordre de différences. Un cristal manque de rythme par régularité excessive, tandis qu'un brouillard est non rythmique dans la mesure où il présente une confusion de détail informe.'(...)" A cet égard aussi nous pouvons trouver une vaste gamme de conditions différentes parmi les entités biologiques, de même que nous en avons trouvé à propos des motifs fondés sur la répétition d'unités. Mais la caractéristique dominante des proportions biologiques est probablement que toute forme donnée présente généralement le jeu simultané de plusieurs règles de proportion, plutôt que d'une seule."(WADDINGTON, C. H., "Principe modulaire et forme biologique", AAVV, *Module, proportion, symétrie, rythme*, *op. cit.*, p.23)

conjunto, debida a las sutiles variaciones producidas en las unidades de base, alejan el resultado final de todo determinismo y rigidez geométrica y abren un camino nuevo a la experimentación formal.

Me gustaría acabar esta sección con otra aclaración, esta vez en relación con los sistemas de generación en geometría y los procesos naturales de crecimiento.

Ante la aparente ingenuidad de una pregunta destinada a descubrir la esencia de la diferencia entre los objetos creados por el hombre y los objetos orgánicos surge, inevitablemente, una respuesta trivial pero inquietante: los objetos orgánicos se *desarrollan*, crecen, y en su forma está impresa -de algún modo- la noción del propio paso del tiempo. La idea de imprimir este carácter "orgánico" a la forma arquitectónica ha ido adquiriendo a lo largo del tiempo las más variadas respuestas y muchos conceptos derivados de cualidades orgánicas se han ido incorporando con mayor o menor fortuna a nuestro lenguaje profesional. Así hablamos de ciudades que crecen, de células de organización formal o, con mayor generalidad, de las cualidades orgánicas de una determinada arquitectura.

En una obra tan impregnada de referencias al mundo natural como la de Gaudí, estas asociaciones tienden a veces a crear ciertas confusiones. Si bien es cierto que en determinadas configuraciones (como por ejemplo la de las formas naturales que implican la idea de una componente de tipo helicoidal) el vínculo entre la generación geométrica y el crecimiento orgánico puede parecer directo, debemos evitar caer en simplificaciones extremas.

Para seguir con el mismo ejemplo, si revisamos los argumentos que fundamentan las bases morfológicas y biológicas del desarrollo de formas orgánicas relacionadas con el crecimiento según patrones en forma de hélices, como es el caso de las conchas de moluscos, los cuernos de animales o ciertas disposiciones de flores y frutos en botánica, podemos comprobar la existencia de varios niveles de desarrollo más o menos simultáneos.

En lo esencial todos los autores están de acuerdo en un principio relativamente estable, caracterizado por la permanencia una idea de "totalidad" en la forma que se mantiene a lo largo de todo el período evolutivo de la especie. Así, para Gregory este fenómeno en el crecimiento vegetal se denominará *apariencia de simetría*, D'Arcy Thompson definirá como *semejanza continua* a esta constante similitud de la forma y según Cook, las configuraciones vegetales se desarrollan siguiendo la hipótesis de lo que el llama

*punto de crecimiento central*<sup>36</sup>. Para cada tipo de configuración orgánica específica existen, sin embargo, diferentes procesos de generación: la manera en que crecen los cuernos de los animales es muy distinta al desarrollo de las conchas y a la disposición de las hojas en un árbol, etc.

Con todo esto queremos decir que se debe evitar caer en un reduccionismo extremo, como sucede en muchas argumentaciones acerca de la generación de formas en la arquitectura de Gaudí. Que muchos científicos o biólogos se valgan de descripciones geométricas para explicar los crecimientos orgánicos no quiere decir que estos crecimientos se produzcan efectivamente siguiendo ese patrón.

Los sistemas de generación geométrica han estado desde siempre más ligados a necesidades prácticas de la arquitectura que a cuestiones conceptuales. Esto es aún más evidente en las formas de Gaudí. Pero esto es ya otro tema.

## ARQUETIPOS NATURALES<sup>37</sup> Y CUERPOS GEOMÉTRICOS EN GAUDÍ

### *Las superficies mínimas.*

---

<sup>36</sup> Gregory pone el acento en un crecimiento basado en una división celular que avanza en diferentes direcciones del espacio.

"We recognise this symmetry as the characteristic shape of the living organism, and this feature is so constant that it enables us to classify the myriads of living organisms into a comparatively few species; and so enduring is the shape that successive generations of individuals covering vast periods of time may remain substantially unchanged. It must be stressed that the external form of the organism bears no relation to the form of the individual cell, but is dependent upon the mode of aggregation of cells in the tissues and organs."(GREGORY, F. G., "Form in Plants", AAVV, *Aspects of form. A Symposium...*, op. cit., p.57)

La espiral equiangular o logarítmica tendrá, para Thompson, una propiedad intrínseca que se vincula directamente con el concepto de  *semejanza continua*  en el crecimiento de las caparazones de los moluscos.

"The shell, like the creature within it, grows in size *but does not change its shape*; and the existence of this constant relativity of growth, or constant similarity of form, is of the essence, and may be made the basis of a definition, of the equiangular spiral."(THOMPSON, D'Arcy Wentworth, op. cit., p.179)

Cook defiende, en cambio, la hipótesis de que siempre que un patrón de crecimiento sea expresado en espirales, el movimiento de crecimiento será absolutamente radial.

<sup>37</sup> Hemos preferido emplear este término a pesar de saber el riesgo que significa emplear una palabra que tiene un sentido muy específico en la *Morfología* de Goethe (ver la primera parte de este capítulo). Creemos que su empleo está justificado, sin embargo, porque nos interesa subrayar especialmente este carácter globalizador del concepto que implica la eliminación de los accidentes particulares de la forma natural. La diferencia está en que para definir nuestros *arquetipos* intentamos una abstracción más cercana a ciertos conceptos geométricos en lugar de la representividad espacio-temporal que caracteriza el término en Goethe.

Al comienzo de este capítulo podíamos ver como, a partir del aporte fundamental de D'Arcy Thompson y otros autores, la forma natural comenzaba a ser entendida como la resultante compleja de una buena cantidad de *acciones*, exteriores y propias, sobre su estructura física. Se trata, en general, de considerar a la forma como un producto de estas *operaciones energéticas*. Thompson se vale de los organismos elementales para estudiar los efectos de una de estas acciones que resulta de gran importancia: la tensión superficial, que en estos ejemplos se presenta en un estado casi puro. Para analizar los comportamientos de esta tensión superficial realiza un paralelo con las películas líquidas -que en determinadas condiciones presentan rasgos muy semejantes a estos organismos- y llega a deducir principios de configuración física de gran interés. Uno de estos principios tiene que ver con la ley fundamental de la capilaridad que, en determinadas condiciones, provoca un efecto que se traduce en la creación de áreas mínimas sobre la superficie exterior, constituyendo las así denominadas *superficies mínimas*.

Según el autor, de la infinidad posible de estas superficies en la naturaleza existen unos tipos predominantes que pueden englobarse en el conjunto de las llamadas *superficies de Plateau* y que, de acuerdo con esta clasificación, adoptarían unas denominaciones que pueden presentar algún equívoco desde el punto de vista de la geometría. Estas superficies son el plano, la esfera, el cilindro, la catenoide, el onduloide y el nodoide (Fig.10). Para Thompson, una de las características esenciales de estas superficies desde el punto de vista físico consiste en la facilidad en que puede pasarse de unas a otras debido a que matemáticamente se encuentran todas vinculadas entre sí por curvas planas obtenidas de secciones<sup>38</sup>.

La fundamentación analítica de estas seis superficies de Plateau se condensa en lo que Thompson denomina fórmula genérica de las áreas mínimas en la naturaleza, en donde  $1/R + 1/R' = C$ , siendo R el radio de curvatura y C una constante que puede asumir un

---

<sup>38</sup> Este es uno de los pasajes del libro de D'Arcy Thompson que presenta cierta imprecisión de determinados conceptos geométricos que puede inducir a interpretaciones erróneas.

Para acompañar su descripción de las superficies de Plateau, el autor se sirve del ejercicio geométrico de considerar sus generaciones a partir de un doble movimiento de rotación producido por secciones cónicas que hacen las veces de curvas generatrices. De esta manera, y mediante unos dibujos muy sintéticos, Thompson intenta demostrar, de esta manera, una posible filiación de la parábola con la superficie que Plateau llama *catenoide*, de la hipérbola con el *nodoide* o de la elipse con el *onduloide*. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.53)

valor positivo, negativo o nulo<sup>39</sup>.

El pasaje gradual entre las superficies de este grupo se produce no sólo en el plano conceptual, sino que puede observarse perfectamente en la naturaleza y en las experiencias con películas líquidas<sup>40</sup>. Sin embargo, para Thompson, muchas de las formas presentes en el mundo natural derivan de una *forma-origen* estable representada por la esfera, que ha sido "deformada" debido a las diferentes presiones y tensiones a la que ha sido sometida. Esta sería la explicación, según el autor, de que estas formas esféricas más o menos puras puedan encontrarse habitualmente en formas unicelulares u organismos muy elementales.

De todas maneras, conviene tener en cuenta que esta clasificación de superficies y sus modos de generación está referida a unidades biológicas mínimas y aisladas, ya que en la mayoría de los ejemplos del mundo natural nos encontramos con configuraciones complejas.

En las formaciones de agregación celular, los términos de vinculación entre las

<sup>39</sup> El origen de esta ecuación está vinculado a las presiones ejercidas sobre una superficie curva, en donde la presión ( $p$ ) varía directamente con la tensión ( $T$ ) e inversamente con el radio de curvatura ( $R$ ), de manera que:

$$p = T/R \text{ por unidad de superficie.}$$

Para una curvatura en dos dimensiones (doble curvatura) será:

$$p = T/R + T/R' \text{ o, lo que es lo mismo:}$$

$$p = 1/R + 1/R'.$$

Si además de la tensión superficial, agregamos el conjunto de presiones actuantes, tendremos:

$$P = p' + p'' + T (1/R + 1/R') \text{ (Laplace, } \textit{Théorie de l'action capillaire}, 1806).$$

Ahora, para una superficie mínima la presión exterior (compresión) es constante, la presión interior también es constante y, si la superficie es homogénea, resulta:

$$1/R + 1/R' = C$$

<sup>40</sup> Para que se comprenda la forma que asumen estas superficies, D'Arcy Thompson propone algunos ejemplos experimentales con burbujas de jabón.

Según parece, el equilibrio de las superficies de Plateau -a excepción de la esfera y el plano- se mantiene sólo dentro de ciertos límites dimensionales. Como ejemplo de este equilibrio realiza un experimento a partir de la forma -cercana a un cilindro- que adopta una película líquida cuando es contenida entre dos anillas metálicas. A medida que el cilindro crece en longitud debida a la separación de las anillas, va pasando por diferentes "deformaciones" (*onduloides*) hasta un punto de desequilibrio en que rompe en esferas.

La primera conclusión que podemos sacar de esto es que existen ciertas condiciones de inestabilidad que quedan reflejadas en la metamorfosis de unas superficies en otras (del cilindro a la esfera pasando por el onduloide) hasta encontrar la forma más estable, como en este caso la esfera.

De este fenómeno en particular, el autor nos ofrece una buena cantidad de ejemplos tomados del mundo natural: la secreción de la tela de araña, la forma que adopta una salpicadura en ciertos líquidos (similar a la de algunas estructuras orgánicas en forma de copa, como las *hidroideas*) o los diferentes tipos de "caídas de gotas" que pueden ser comparados con la forma de varios tipos de medusas. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.62)

unidades y el equilibrio del sistema en su conjunto pueden explicarse bajo la forma que asume la condición de *mínima energía potencial*. Bajo estas condiciones, en los puntos de contacto entre dos superficies contiguas existe un continuo balance de fuerzas que se manifiesta en una *continuidad física* entre una y otra superficie.

Resumiendo, la unión de películas líquidas y las leyes que definen a las superficies mínimas dentro de este sistema se rigen por las siguientes leyes generales:

- a) en cualquier sistema de este tipo en equilibrio la suma de las áreas de la película es un mínimo;
- b) en las mismas condiciones anteriores, el área de cada una de ellas es un mínimo;
- c) la *curvatura media* de cada una es constante para toda el área en su conjunto, nula cuando la presión es la misma para cada lado y en los casos restantes resultará proporcional a la diferencia.

De aquí se deducen las conclusiones empíricas de Plateau:

- d) en cada borde se encuentran siempre tres superficies;
- e) las crestas o bordes que se encuentran en una esquina son cuatro y no más;
- f) las tres superficies que se encuentran en una cresta tienen ángulos iguales<sup>41</sup>.

De estas últimas conclusiones derivadas de las experiencias con sistemas de películas líquidas, surge el concepto de *close packing*, en donde se define la configuración triangular como estructura básica de gran estabilidad y la figura del hexágono como patrón básico de ordenamiento. En estas disposiciones los ángulos de unión de las unidades elementales se mantienen siempre próximos a los 120°. Cuando se trata de estructuras bidimensionales, las unidades se agrupan de tres en tres alrededor de cada vértice formando triángulos. En el espacio tridimensional las células se encuentran de a cuatro definiendo tetraedros<sup>42</sup>.

Este fenómeno, que parte de estas experiencias con líquidos, puede ser tomado

---

<sup>41</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.100.

<sup>42</sup> "In short, we are again dealing or about to deal with a network or basketwork, whose meshes correspond to the boundary lines between associated cells or vesicles. It is just in those boundary walls or films, still more in their edges or at their corners, that surface-energy will be concentrated and adsorption will be hard at work; and the whole arrangement will follow, or tend to follow, the rules of *areae minimae* - the partition-walls meeting at co-equal angles, three by three in an edge, and their edges meeting four by four in a corner." (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.156)

como un modelo o tipo aplicable a otros sistemas como el biológico, el físico o el químico<sup>43</sup>. Sus postulados fueron retomados una y otra vez por diferentes autores y ha sido una referencia obligada para la redefinición de los sistemas estructurales en ingeniería<sup>44</sup>.

Uno de los ejemplos naturales que siempre ha ejercido una cierta fascinación por su belleza y disposición estructural es el radiolario. El examen detenido de la morfología de estas especies protozoarias que habitan en los océanos revela un complejo y delicado vínculo entre su sistema estructural y las capas superficiales exteriores. La estructura resistente de estas especies, formada por una suerte de "malla" tetraédrica que sigue las leyes de relación antes mencionada, se encuentra *revestida* por una delgada capa de vesículas que adoptan una configuración física en base a *superficies mínimas* (Fig.11).

Este conjunto estructura-epitelio, de delicado equilibrio y gran belleza visual, es la respuesta directa sobre las capas celulares a la acción de un complejo grupo de presiones, lo que confiere al sistema una gran flexibilidad y elasticidad<sup>45</sup>.

En arquitectura, la referencia obligada a este tipo de comportamiento estructural tiene su origen sin lugar a dudas en los sistemas constructivos empleados en el medioevo. El concepto de estructura articulada en base a nervuras y paneles independientes que

---

<sup>43</sup> Las referencias a los ejemplos orgánicos son, en este sentido, innumerables y abarcan todo tipo de género y escala. Las configuraciones epiteliales de multitud de animales, la estructura de los virus, la superficie de hojas en vegetales, la estructura interna de los troncos de muchos árboles, las plantas y los animales unicelulares, etc., son sólo algunos de los casos de ordenamientos bi y tridimensionales de este tipo existentes en la naturaleza.

Después de 1932, Linus Pauling, un reconocido investigador de las estructuras policristalinas, comienza a descubrir que las moléculas de los metales están vinculadas y coordinadas tetraédricamente en forma de "cadenas" y, años más tarde, Smith, define como *estructuras doblemente orientadas* la relación interior-exterior planteada en las estructuras cristalinas que sirven de base a la configuración de un conjunto irregular semejante a la espuma, con ángulos de relación en torno a los 120°.

<sup>44</sup> Quizá la aplicación más espectacular de las estructuras tetraédricas se deba a Buckminster Fuller, que con sus *estructuras geodésicas* revolucionó el mundo de la ingeniería. (BUCKMINSTER FULLER, R., "Conceptualité des structures fondamentales", AAVV, *La structure dans les arts et dans les sciences*, op. cit.)

No obstante, muchos arquitectos e ingenieros -entre ellos el propio Gaudí- ya estaban empleando, en general de manera no sistemática, los sistemas tetraédricos en sus estructuras.

<sup>45</sup> "For instance, the cells of a segmenting egg, lying within their vitelline membrane or within some common film or ectoplasm, are pressed together as they grow, and suffer deformation accordingly; their surface tends towards an *area minima*, but we need not even enquire, in the first instance, whether it be surface-tension, mechanical pressure, or what not other physical force, which is the cause of the phenomenon." (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.104)

analizan Choisy y Viollet-le-Duc en la arquitectura gótica tiene, seguramente, una clara afiliación con la comprensión intuitiva de estos fenómenos en la forma natural<sup>46</sup>.

Como veremos más adelante, el propio Gaudí, quizá de una manera más consciente, experimenta con el comportamiento de estos sistemas que le permiten indagar en profundidad sobre la arquitectura medieval -a la que intenta superar- y las formas del mundo natural.

Desde el punto de vista físico, podemos llegar a la conclusión que las superficies en las cuales se verifica la condición general analizada anteriormente, tal que

$$1/R + 1/R' = C$$

son superficies que tienen la misma *curvatura media* (H) en todos sus puntos. Esto equivale a decir que son superficies que tiene un *área mínima* en relación al volumen contenido.

Esta definición, muy empleada por los estudiosos de las formas naturales, tiene en geometría un significado más preciso que conviene aclarar.

Según Thompson -y con él muchos otros autores posteriores- las superficies mínimas serían todas aquellas en donde la curvatura media pueda mantenerse constante, tanto sea asumiendo valores positivos como negativos<sup>47</sup>. En la geometría diferencial, en cambio, sólo se denomina superficie mínima a toda superficie cuya curvatura media sea igual a cero. Esta es una superficie en donde todos sus puntos son hiperbólicos y las curvaturas principales adoptan signo contrario<sup>48</sup>.

En los tratados clásicos de geometría descriptiva este tipo de superficies es muy poco frecuentado. Dragomir y Gheorghiu son prácticamente los únicos que dedican un

---

<sup>46</sup> Un comentario de J.R. Perronet, citado por Steadman, pone de relieve estos paralelos entre la disposición estructural de los edificios medievales y la morfología animal. Esta cita, que se remonta a 1770, se adelanta de esta manera en muchos años a las afirmaciones del Viollet de los *Entretiens...* Dice Perronet al respecto: "La magia de estos últimos edificios consiste sobre todo en el hecho de que, en alguna medida, se construyeron a imitación de la estructura de los animales; las altas y esbeltas columnas, la tracería con sus nervaduras transversales y diagonales, podían compararse a los huesos; las plementerías, con sólo diez o doce centímetros de espesor, se asimilaban a la piel de estos animales." (STEADMAN, Philip, *op. cit.*, p.57)

<sup>47</sup> THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.52

<sup>48</sup> Como se sabe, para caracterizar de una manera general y global la forma de la superficie en un punto se definen las ecuaciones que determinan la *curvatura total* (K) definida como el producto de las curvaturas principales y la *curvatura media* (H) definida como la semi-suma de las curvaturas principales, o sea la media geométrica y la media aritmética respectivamente.

espacio considerable de su libro en explicar sus propiedades más destacables<sup>49</sup>. Tomando como punto de partida los teoremas de Meusnier y Catalan, los autores definen las dos únicas superficies capaces de verificar la condición de curvatura media nula<sup>50</sup>: el *helicoide recto de plano director* como superficie reglada y la *catenoide* como superficie de revolución (Fig.12, Fig.13).

El helicoide recto de plano director es definido como la superficie generada por una recta que se desliza apoyándose sobre una hélice cilíndrica y sobre el eje del cilindro respectivo y que es constantemente perpendicular a este eje<sup>51</sup>.

La catenoide, en cambio, se genera por la revolución de una curva catenaria sobre un eje no transversal a dicha curva.

Respecto a esta última superficie y a la utilización de las catenarias como curva generatriz -una curva muy empleada por Gaudí- también es conveniente destacar que no todas las superficies engendradas por catenarias son, en este sentido, superficies mínimas. El caso más típico de una superficie de este tipo en la práctica lo tenemos con las llamadas *estructuras suspendidas*, en donde los tensores, suspendidos libremente, son recubiertos por superficies muy ligeras<sup>52</sup>.

Como podemos ver, desde este punto de vista, la definición de superficie mínima resulta sumamente restrictiva. En el marco de la apreciación visual, sin embargo, las diferencias entre todas estas superficies se mantienen dentro de una franja muy estrecha,

---

<sup>49</sup> GHEORGHIU, A., DRAGOMIR, V., *La représentation des structures constructives*, Paris, Eyrolles, pp. 187-192 (Ed. original, *Probleme de Rerezentare a Structurilor Constructive*, Bucarest, Editura Tehnică, 1968)

<sup>50</sup> Estas *superficies mínimas* serían aquellas en donde puede demostrarse que ..... "de toutes les surfaces qui passent par une courbe fermée, celle de superficie minima a une courbure moyenne nulle." (GHEORGHIU, A., DRAGOMIR, V., *op. cit.*, p.187)

<sup>51</sup> Esta superficie, que también puede ser entendida como un conoide de plano director, aparece frecuentemente en las secciones dedicadas a las superficies regladas alabeadas de los tratados de geometría descriptiva. (Ver, TAIBO FERNÁNDEZ, Ángel, *Geometría descriptiva y sus aplicaciones*, Tomo II, Curvas y superficies, Madrid, Ed. Tebar Flores, 1993, Cap. XXV, pp.227-256, IZQUIERDO ASENSI, Fernando, *Geometría Descriptiva Superior y Aplicada*, Madrid, Ed. Dossat, 1980, Sec. 20 y 21, pp.428-473)

<sup>52</sup> Como aplicación más importante de la curva catenaria, Gheorghiu y Dragomir citan las estructuras colgadas que, al soportar una carga uniformemente repartida adquieren una forma intermedia entre la parábola y la catenaria en función de la relación entre su peso propio y la carga permanente que le corresponde. La superficie así generada no sería propiamente una catenoide ni una superficie mínima, y los autores prefieren llamarla genericamente una *superficie catenárca*, o sea una superficie generada a partir del movimiento de una catenaria y que puede sufrir deformaciones. (GHEORGHIU, A.- DRAGOMIR, V., *op. cit.*, p.192)

por lo que en la práctica tienden a confundirse unas con otras frecuentemente.

Existe un grupo de superficies cuyas propiedades se aproximan notablemente a las de las superficies mínimas. Son aquellas cuya curvatura total ( $K$ ) es negativa y presentan, al igual que aquellas, curvaturas principales de sentido contrario y todos sus puntos son hiperbólicos. Pertenecen a este grupo el hiperboloide de una hoja, el paraboloides hiperbólico y una buena cantidad de superficies regladas.

No resulta entonces difícil justificar el empleo casi obstinado que hace Gaudí de este tipo de superficies, en especial del paraboloides hiperbólico, para dar forma a su recreación de la naturaleza.

No obstante, y a riesgo de parecer trivial, es conveniente insistir sobre una cuestión esencial: los paraboloides hiperbólicos y los hiperboloides no existen en el mundo natural. Por lo tanto, la generación reglada es una abstracción geométrica que nos *aproxima* a determinadas formas existentes en la naturaleza pero no debe confundirse con la propia generación natural.

Volvemos un poco atrás para recordar en este sentido que la geometría es un *sistema interpretativo*, una manera de entender la realidad que se vale de determinados recursos y se basa en unos axiomas que no tienen demostración.

### *Helicoides, hélices, espirales.*

Del estudio de las espirales en la naturaleza tenemos noticia ya desde la Grecia clásica con las investigaciones de Arquímedes respecto a la llamada espiral *regular*, en donde, como sabemos, un punto móvil se desplaza con movimiento uniforme sobre una recta que gira, a su vez, alrededor de un centro con velocidad también uniforme<sup>53</sup>.

Una espiral que ha despertado mucho más interés por parte de los biólogos y artistas es, sin embargo, la denominada espiral *equiangular* o *logarítmica*, cuyos primeros estudios se deben a Descartes<sup>54</sup>. En esta espiral, a diferencia de la anterior, el punto en

---

<sup>53</sup> En esta espiral, el radio  $r$  de cada incremento sucesivo crece según una progresión aritmética y será igual a un factor constante  $a$  multiplicado por el ángulo  $\phi$  de cada desplazamiento, de tal manera que  $r = a \phi$ .

<sup>54</sup> Se supone que Descartes descubre las relaciones de proporcionalidad que hacen que si delimitamos un sector cortando por líneas de radios sucesivos, a ángulos vectoriales iguales, cada porción de la curva es semejante a la otra (pero de distinta escala); lo que explica que la figura pueda concebirse como en constante

cuestión se mueve con una velocidad que se incrementa en relación a su distancia del centro y los ángulos del vector en relación al centro son proporcionales a los logaritmos de los sucesivos radios<sup>55</sup> (Fig.14).

Los estudios más sistemáticos y detallados de estas espirales en la naturaleza se deben a John Leslie y, posteriormente a Canon Moseley<sup>56</sup>, que es el encargado de desarrollar los fundamentos matemáticos de la espiral equiangular entendiéndola como una *serie*, pero a mediados del siglo XVII ya se conocían las propiedades fundamentales de estas espirales en relación a los caparazones de los moluscos<sup>57</sup>.

Más contemporáneamente, uno de los libros de referencia obligada acerca del tema de las espirales en la naturaleza es, sin duda, el tratado de Theodore Cook<sup>58</sup>, que ya citamos al comienzo de este capítulo. En este libro, no sólo está escrito casi todo lo que puede decirse de las espirales, sino que lo que resulta realmente interesante es el enfoque con que el autor encara el estudio de las formas naturales. Si comparamos su escrito con trabajos posteriores sobre el tema -que indudablemente beben de sus fuentes- como los de D'Arcy Thompson o Matila Ghyka, podemos constatar el carácter auténticamente objetivo del análisis de Cook y la ausencia del espíritu determinista que inevitablemente rodea a los otros tratados. Cook no descarta el aura mística que envuelve a la espiral logarítmica, pero relativiza su presencia en la naturaleza<sup>59</sup>. Para el estudio de las espirales establece unos

---

crecimiento sin que se produzca cambio alguno en la forma total del conjunto. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.177)

<sup>55</sup> En la espiral logarítmica, se tiene que  $r = a^{\phi}$  y estos intervalos radiales crecen en progresión geométrica. Intuitivamente, se asocia a esta espiral a la idea espacial de un cono.

<sup>56</sup> LESLIE, John, *Geometrical Analysis and Geometry of Curve Lines*, Edinburgh, 1821.  
MOSELEY, Canon, *Phil. Trans.*, Cambridge, 1838.

<sup>57</sup> En esta época destacan los trabajos de John Wallis que, además de describir con gran claridad la curva, no sólo concibe la espiral de la caparazón como una suerte de cono o pirámide "enrollada" alrededor del eje vertical sino que llega a precisar que de la magnitud de el ángulo de la espira depende la forma específica de la concha. (WALLIS, John, *Tractatus duo, de Cycloide, etc.*, Oxon., 1659)

<sup>58</sup> COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*

<sup>59</sup> Cook destaca en su libro la consideración de esta espiral como "manifestación de la energía del crecimiento y la vida" por diversos biólogos (Goodsir, A.H.Church) y la definición como *Eadem Mutata Resurgo* que de ella hace Bernouilli (*Acta Eruditorum*, 1691) que llamó a esta espiral *Spira Mirabilis*. Lo cierto es que, para el autor, en la naturaleza existen otros tipos de espirales y, evitando un excesivo determinismo, sugiere la hipótesis de que otros factores actuantes diferentes puedan producir otras curvas distintas a la logarítmica.(COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.63)

márgenes de fluctuación de los valores matemáticos (*baffles mathematics*) que le permitan deducir principios generalizadores sin caer en un excesivo determinismo numérico y considera como un rasgo propio de la naturaleza a este fenómeno<sup>60</sup>. Por lo tanto conviene insistir que para Cook la espiral, matemáticamente hablando, es sólo una abstracción ideal a la que tenderán determinadas configuraciones naturales dentro de un entorno determinado fijado por nosotros mismos en cuanto observadores del fenómeno.

El análisis sistemático de las espirales por los estudiosos de la naturaleza ha creado algunas imprecisiones terminológicas que vale la pena advertir.

Si bien el objetivo teórico de los estudios parece estar siempre ligado a la espiral como curva plana, nos encontramos con que muchas veces se confunden las definiciones de las líneas alabeadas, e incluso las superficies, designando a todas con el término genérico de "espiral". De esta manera, nos podemos encontrar con expresiones del tipo *espiral alabeada*, *helicoide espiralado* u otras por el estilo que generan una cierta confusión, especialmente cuando se trata de trabajar con proyecciones u otras transformaciones geométricas.

En rigor tenemos, pues, espirales, hélices y helicoides. Pero en realidad, ¿cual de éstos conceptos es el que predomina en el medio natural?

Desde luego que desde un punto de vista esencialmente material y, en su sentido geométrico estricto, no pueden existir ni las espirales ni las hélices en las formas naturales sino como *abstracciones lineales* "impresas" de una u otra manera sobre la superficie de los objetos.

Estas superficies naturales pueden llegar a adoptar, sin embargo en determinados ejemplos, la forma de helicoides pero, en la mayoría de los casos, estos helicoides se presentan fuertemente deformados hasta el punto de tornar irreconocible sus elementos generadores. En este sentido, los helicoides prácticamente dominantes en las formas naturales son los distintos tipos de helicoides curvos que podemos ver, por ejemplo, en las superficies de las conchas y, dentro de ciertos límites, en los cuernos animales.

No obstante, cuando se trata de estudiar sistemáticamente la presencia de estos helicoides en un grupo de objetos naturales, lo que se hace comúnmente es una reducción lineal de la generación de la superficie. El método más habitual empleado por los biólogos consiste en el trabajo a partir de fotografías de las especies -o dibujos copiados de estas

---

<sup>60</sup> "There is a very significant characteristic of the application of the spiral to organic forms; that application invariably results in the discovery that nothing which is alive is ever simply mathematical. In other words, there is in every organic object a factor which baffles mathematics, as we have hitherto developed them -a factor which we can only describe as Life." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.ix)

fotografías- que están tomadas generalmente en una aproximación a la proyección ortogonal, preferentemente en planta (Fig.15). Sobre estas fotografías se van realizando estudios dimensionales y se trazan esquemas de los desarrollos lineales que pueden observarse sobre la superficie del objeto en estudio para luego aislarlos y compararlos entre sí. Esta metodología de trabajo lleva en alguna manera implícita una operación de proyección ortogonal que reduce prácticamente todos los desarrollos a curvas planas. Este es, como sabemos, un sistema que, en un determinado momento, se generaliza incluso a otras disciplinas de estudio como el arte y la arquitectura, con resultados en muchos casos bastante discutibles<sup>61</sup>.

Es decir que, en realidad, cuando se analizan desarrollos helicoidales en objetos naturales, en la mayoría de los casos se trata de un estudio de las *proyecciones en planta* de las hélices que describen en el espacio dichos helicoides. En otros casos, como en el estudio de las conchas, se realizan además proyecciones laterales para estudiar las hélices en relación a sus divergencias angulares (Fig.16). Esta tendencia a la reducción bidimensional es prácticamente una constante en todos los estudios de la forma natural y tiene una clara justificación operativa, ya que con los medios técnicos empleados hasta hace poco tiempo resultaba prácticamente imposible abordar la complejidad espacial de las superficies naturales.

Desde un punto de vista metodológico, podemos pensar entonces que el estudio de los objetos naturales en este sentido se orienta a la clasificación de todas las especies que presenten algún tipo de desarrollo helicoidal y a su posterior reducción a espirales.

Si realizamos una clasificación muy global de la presencia de estas formas en la naturaleza -ahora no ya desde el punto de vista del naturalista sino desde un ángulo esencialmente geométrico- podremos comprobar que existen dos maneras básicas en que puede estar presente una trayectoria helicoidal:

- a) explícitamente, como la concreción física de una hélice sobre una superficie;
- b) implícitamente, como la unión ideal de los puntos de una superficie dispuestos

---

<sup>61</sup> Quizá el ejemplo más ilustrativo de esta tendencia sean los estudios de Matila Ghyka. Tomando como punto de partida el sistema de trabajo empleado por Thompson y Cook y los dibujos realizados por Colman sobre fotografías de formas naturales (COLMAN, Samuel, *Nature's Harmonic Unity*, op. cit.) Ghyka, en su afán de encontrar un único principio de validez universal, lleva el sistema a un nivel de generalización verdaderamente alarmante. En sus estudios, toda forma *bella* -sea natural o artificial- es susceptible de ser interpretada en términos de la *sección áurea* partiendo de proyecciones ortogonales: un templo, una flor, incluso un rostro humano, pueden ser reducidos a unos pocos trazados reveladores partiendo de fotografías. (Ver, GHYKA, M.C., *El número de oro: Los ritmos y los ritos*, Buenos Aires, Poseidon, 1968, GHYKA, M.C., *The geometry of art and life*, New York, Dover, 1977)

según una determinada configuración espacial.

Los ejemplos más claros del primer tipo los podemos encontrar, como vimos anteriormente, en las caparazones de los moluscos y los cuernos de muchos animales; los del segundo caso son especialmente característicos de los crecimientos vegetales en flores y frutos.

Si consideramos el modo de generación de esas hélices, podremos constatar, en cambio, una presencia mucho más frecuente en la naturaleza de las hélices cónicas que las cilíndricas.

Desde el ángulo específico de la geometría, fue quizá Durero el primer tratadista que se ocupó de estudiar las relaciones entre hélices y espirales en proyección ortogonal. En un tratado sobre matemáticas aparecido diez años después de su muerte, Durero describe mediante plantas y alzados los métodos para dibujar las hélices cilíndricas y las hélices cónicas. Para el trazado de esta última, se basa en el dibujo en planta de una espiral de la que va levantando puntos sucesivos (Fig.17). En este tratado pueden verse además interesantes dibujos de distintos tipos de espirales en relación con elementos de arquitectura y disposiciones naturales.

El método geométrico de Durero basado en el traslado directo de puntos en proyección ortogonal es hoy día, con algunas variantes, el sistema más general para el trazado de las hélices<sup>62</sup>.

Si nos remitimos a las hélices cónicas, se sabe que si la velocidad con que gira la generatriz del cono y la velocidad con que se desplaza el punto móvil son uniformes obtendremos la hélice cónica más sencilla. En este caso, tanto la proyección horizontal como el desarrollo del cono nos definen una espiral del tipo "regular"<sup>63</sup> (Fig.18).

Cuando los movimientos del punto y la generatriz no son uniformes, se pueden generar diversos tipos de hélices cónicas que son proyectadas horizontalmente según distintas espirales. La más conocida de estas hélices es, sin embargo, la que se genera

---

<sup>62</sup> Sobre generación y propiedades de estas hélices ver, TAIBO FERNÁNDEZ, Ángel, *op. cit.*, pp. 48-54 o IZQUIERDO ASENSI, Fernando, *op. cit.*, pp.255-266.

<sup>63</sup> En esta hélice, denominada generalmente como *ordinaria*, por ser constante la velocidad del movimiento del punto sobre la generatriz, también lo será en proyección horizontal y en el desarrollo del cono, lo que demuestra que la proyección de la hélice y su transformada en el desarrollo es una espiral de Arquímedes.

Su trazado es de gran sencillez, ya que basta con dividir la longitud del paso en partes iguales y referirla a la circunferencia de base. (Ver, IZQUIERDO ASENSI, F., *op. cit.*, p.264)

cuando el movimiento del punto es tal que las tangentes en todos los puntos de la hélice tienen la misma inclinación respecto a las generatrices respectivas que pasan por dichos puntos. En este caso, estamos hablando de una hélice denominada *loxodrómica*, en donde tanto la proyección horizontal como el desarrollo de esta hélice definen una espiral logarítmica<sup>64</sup> (Fig.19).

El pasaje de las hélices cónicas a espirales -y viceversa- es explicado por Cook en su libro mediante métodos geométrico-prácticos de gran sencillez, basados principalmente en una operación de desarrollo más que en proyecciones ortogonales. Según el propio Cook, un método semejante era utilizado con gran probabilidad para el trazado de las volutas de los capiteles jónicos, en donde una hélice cónica era desarrollada sobre un plano por un método práctico<sup>65</sup> (Fig.20).

El predominio de la espirales del tipo logarítmica en conchas, plantas y cuernos animales la convierten, sin lugar a dudas, en la protagonista por excelencia de los tratados sobre el tema. Sin embargo, a la hora de estudiar la verdadera configuración física de estas espirales desde un punto de vista estrictamente geométrico debemos tener ciertas precauciones.

En primer lugar no debemos olvidar, en sintonía con las advertencias del comienzo de este capítulo, que al pretender aislar determinadas propiedades geométricas de los objetos naturales estamos operando con un elevado grado de generalización. Además, en el caso de las espirales este problema se ve amplificado debido a que tenemos que trabajar

---

<sup>64</sup> En este caso el ángulo formado por las proyecciones horizontales de la tangente y de la generatriz en cada punto también será constante, luego el desarrollo -que es una transformada- y la proyección horizontal serán sendas espirales logarítmicas. Su construcción está en este caso asociada también al traslado de punto sobre las generatrices del cono. (Ver, IZQUIERDO ASENSI, F., *op. cit.*, p.264)

<sup>65</sup> Cook, incluso llega a describir un hipotético método para el trazado de estas volutas concebido por Banister F. Fletcher y que consiste en emplear como elemento generador del trazado a la concha de un fósil (*chrysodomus*). Sintéticamente, el procedimiento consiste en enrollar una cinta siguiendo la hélice desde el vértice hasta la boca de la concha y uniendo el extremo del vértice a la punta de un lápiz. Si se invierte la concha y se coloca el vértice sobre un papel, se puede ir dibujando una espiral plana a medida que se va girando y desenrollando la cinta.

El autor describe también un método interesante para confeccionar una hélice cónica partiendo de un dibujo plano de un círculo con espirales dibujadas: se trata de dibujar dos radios en el círculo trazado y cortar el área encerrada entre ambos de manera de formar un cono. En este plano se han dibujado previamente dos espirales logarítmicas con origen en el centro de este círculo (ver figura) que se transforman en hélices cónicas y que "dibujan" más vueltas alrededor del cono a medida que éste es girado con energía. (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.31)

con transformaciones propiamente geométricas, como son la proyección ortogonal o el desarrollo. Por lo tanto, conviene repetir que siempre que hablemos de la presencia de espirales logarítmicas o de otro tipo en los objetos naturales, estamos refiriéndonos a una *aproximación* (una tendencia a) la configuración de estas curvas matemáticas y no a su estricta definición geométrica<sup>66</sup>.

Otra consideración de importancia es la que tiene que ver con el rango de *divinidad* en la que ha sido colocada esta espiral logarítmica, debido básicamente a sus propiedades matemáticas. A este fenómeno deben haber contribuido sin duda resonantes frases del tipo "Spira Mirabilis"<sup>67</sup> u otras, pero lo cierto es que algunos autores posteriores no han hecho sino alimentar estas virtudes hasta límites insospechables.

Intentando relacionar los mecanismos de crecimiento y la disposición helicoidal de las hojas y pétalos de las flores alrededor de un eje, los botánicos Schimper y Braun y los matemáticos Bonnet y Calandrini sientan las bases y la nomenclatura de un importante bagaje teórico acerca de la formulación de las hélices cilíndricas entre los años 1830 y 1835. Sin embargo, unos años después, el botánico A.H.Church -partiendo de la idea de un "crecimiento continuo" a partir de un centro- deduce la hipótesis que las curvas en espiral logarítmica son las únicas curvas de expansión y crecimiento uniforme. A pesar de la imprecisión analítica que esta afirmación conlleva, sirve para que a partir de entonces sea descartada definitivamente la idea de la hélice cilíndrica como modelo de crecimiento propuesta por Bonnet y se asuma la espiral logarítmica como curva resultante de la proyección sobre un plano<sup>68</sup>.

---

<sup>66</sup> En este sentido, estamos más de acuerdo con actitudes poco mitificadoras del tema como la de Cook, que con la radicalidad de autores como Matila Ghyka.

Respecto a las diferencias entre las espirales orgánicas y las creadas por el hombre, nos dice Cook: "Now we have already seen several forms of growth in Nature which can only be distinguished from artificially manufactured spirals by the fact that, since they are the result of organic development through natural processes which are more or less traceable externally, they almost invariably exhibit those subtle variations from mechanical accuracy (those inexplicable factors, "isolated," as I said above, from the simpler mathematical processes) which are essential to life, and, as I think, to beauty." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.220)

<sup>67</sup> Llamada así por Bernouilli, que en su *Acta Eruditorum* de 1691 define a la espiral logarítmica como "Eadem Mutata Resurgo".

<sup>68</sup> "Spiral phyllotaxis must, in future, therefore be based on a logarithmic spiral on a plane surface, and not on Bonnet's old idea of a helix winding on a cylinder, which is merely the expression of the attainment of uniform volume by members in a special series, and which, if carried on to a plane as a spiral with equal screw-thread, would become a spiral of Archimedes." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.95)

Casi simultáneamente, Moseley desarrollaba los fundamentos matemáticos de esta espiral, tomando como base sus estudios de las formas de caparazones de moluscos<sup>69</sup> y más tarde Wiesner determina el ángulo óptimo o "ángulo ideal" para la distribución de las hojas alrededor de un tallo vegetal<sup>70</sup>. Estos descubrimientos son inmediatamente asociados desde un punto de vista matemático con la serie numérica de Fibonacci y comienzan a alimentar la fama de *milagrosa* que irá adquiriendo la curva a lo largo del tiempo.

Este vínculo directo entre la serie de Fibonacci, las espirales logarítmicas y la disposición de las unidades vegetales será asumida plenamente primero por Cook<sup>71</sup>, más tarde por Thompson y posteriormente por autores más recientes en el campo de la biología<sup>72</sup>.

---

<sup>69</sup> Moseley (*Phil. Trans.*, 1838) es además el primero en definir la forma de estos moluscos desde el punto de vista geométrico como la revolución alrededor de un eje del perímetro de la figura formada por el *operculum* o boca de la concha, que se mantiene semejante a sí mismo creciendo en progresión geométrica. En el caso del *nautilus*, por citar una de las especies más conocidas, esta figura sería una elipse que revoluciona alrededor de su eje menor.

<sup>70</sup> Wiesner determina, en 1875, que el mínimo de superposición posible en relación con la distribución de las hojas alrededor del tronco se logra con un ángulo de divergencia igual a  $137^{\circ} 30' 27,951''$ . Este ángulo es, a su vez, el ángulo inverso de  $\sqrt{5}-1/2$  de  $360^{\circ}$ . En la serie de Fibonacci, cuando esta relación se aproxima al límite, éste ángulo resulta ser  $\sqrt{5}-1/2$ . Este argumento le permite a Cook relacionar los números de la serie de Fibonacci (1,2,3,5,8,13,21,34, etc., en donde cada término es la suma de los dos precedentes) con diversas disposiciones de hojas y flores. De esta manera, las flores se reparten en número de 3 o 5, las *escamas* de las cortezas de las piñas giran en 5, 8 o 13 series de curvas, etc. (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, pp.84-85)

<sup>71</sup> El vínculo entre la serie de Fibonacci y el *ángulo ideal* de disposición de las hojas le lleva a Cook a afirmar que:

"...the fact that plants express their leaf arrangement in terms of Fibonacci numbers, so frequently that it passes for the normal case, is the proof that they are aiming at the utilisation of the Fibonacci angle which will give minimum superposition and maximum exposure to their assimilating members." (COOK, Theodore Andrea, *op. cit.*, p.88)

En su libro Cook desarrolla una hipótesis en donde demuestra que el límite de la relación planteada por la serie de Fibonacci es  $\sqrt{5}-1/2$  y que el ángulo inverso de  $\sqrt{5}-1/2$  de  $360^{\circ}$  es  $137^{\circ} 30' 27.95''$  que es la condición ideal para que el desarrollo de las ramas o pétalos alrededor de un eje obtengan la máxima exposición a la luz. Asimismo, los números de la serie también conciden con la cantidad de curvas presentes en la mayoría de los frutos o flores.

<sup>72</sup> "The leaves are arranged on the stem in a spiral and generally are separated by internodes. In plants of rosette habit in which the stem is much compressed the leaves are crowded together, and in such plants a number of spirals are apparent running round the centre of symmetry in opposite directions. Such spiral lines are also very evident in crowded inflorescences such as the sunflower, and in the scales of pine cones. The number of intersecting spiral lines running in the two directions generally conform with two adjacent members of the series 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, ... the so-called Fibonacci series in which each number is the sum

Pero quizá una de las asociaciones de la espiral logarítmica que más fantasías han despertado respecto a sus propiedades, es la de su vinculación con la sección áurea y el número  $\phi$ . El paralelo entre estos dos conceptos no puede ser más tentador: se trataba de descubrir el puente de la divinidad entre la creación humana y la naturaleza.

Según parece, fue una carta de William Schooling<sup>73</sup> sobre la progresión  $\phi$  - transcrita íntegramente en el apéndice II del libro de Cook- la que indujo a Theodore Cook a considerar las posibles relaciones entre esta serie y la espiral logarítmica. La serie  $\phi$  es, para Cook, una especie de serie *doble* de Fibonacci que le permite establecer unos ciertos paralelos y unas determinadas relaciones entre ambas series numéricas<sup>74</sup>. De este modo, puede concluir que los radios vectores de una espiral logarítmica se encuentran en proporción  $\phi$ , de tal manera que la suma de las distancias de dos pasos de curva sobre un radio vector cualquiera es igual a la distancia sobre el mismo radio vector del paso siguiente (Fig.21).

La validez o no de especulaciones de este tipo es un tema que escapa a los propósitos de este trabajo y por lo tanto no nos detendremos en ellas mucho más tiempo. Lo que sí conviene aclarar inmediatamente es el sentido real que puedan tener estas especulaciones para el estudio de la forma natural.

A lo largo de este capítulo insistimos sobre la necesidad de considerar la interpretación matemática sólo como una *aproximación* a ciertos fenómenos de la forma en la naturaleza. Si en estos temas seguimos la evolución de muchas interpretaciones que inicialmente comienzan siendo simples aproximaciones basadas en la lógica matemática - como en este caso la relación entre dos series numéricas- podremos comprobar que, en un momento determinado, para determinados autores estas interpretaciones pasan a adquirir

---

of th two previous members. In the apical bud of the stem, in which the rudiments of the leaves (*primordia*) are being formed, cut transversely the geometrical centres of the leaves in section again lie upon two sets of spiral running in opposite directions and conforming numerically with the Fibonacci series. This geometrical arrangement of leaves is called phyllotaxy." (GREGORY, F.G., "Form in plants", AAVV, *Aspects of form*, op. cit., p.74)

<sup>73</sup> En realidad, según dice el propio autor en esta carta, estas apreciaciones acerca de los vínculos entre la serie de Fibonacci y la serie  $\phi$  ya habían aparecido publicadas por el mismo brevemente en la revista *Field*, en el número del 14 de diciembre de 1912.

<sup>74</sup> Las observaciones de Cook en realidad se basan en el simple hecho de que en las progresiones geométricas como la de Fibonacci -en donde el crecimiento se obtiene por adición de elementos simples- la razón de dos términos consecutivos tiende hacia  $\phi$  cuando éstos aumentan infinitamente.

la categoría de *axiomas* indiscutibles de validez universal<sup>75</sup>. Por ello, pensar que la geometría y las matemáticas puedan ser la *clave* de cada uno de los fenómenos naturales sería caer, cuanto menos, en una ingenuidad un tanto irresponsable.

Podríamos reconocer una definida tendencia a configurar espirales logarítmicas –en general como proyecciones de hélices cónicas– en tres grandes grupos naturales.

Un primer grupo de gran importancia estaría formado por las llamadas configuraciones orgánicas estables, es decir las cubiertas córneas de una buena cantidad de moluscos. Para Thompson, y en relación con el modo de crecimiento y generación morfológica, existen dentro de este grupo dos grandes tipos: el conjunto de los *discoïdes* y los *turbinados* y el grupo de los *foraminíferos*. Los primeros forman una vasta variedad de caracolas y conchas marinas y están asociados a un crecimiento de movimiento rotatorio continuo<sup>76</sup>. Sería el caso de las generaciones a partir de trayectorias helicoidales que vimos al principio de esta sección.

Los foraminíferos, en cambio, se caracterizan por un crecimiento basado en la adición progresiva de elementos individuales y diferentes cuya agrupación describe una trayectoria aproximadamente helicoidal<sup>77</sup> (Fig.22).

---

<sup>75</sup> Quizá Matila Ghyka sea uno de los autores más paradigmáticos de esta tendencia. En sus libros, prácticamente *todo* lo que existe en este mundo es susceptible de transformarse en relaciones geométricas y proposiciones matemáticas. Como no resultará difícil suponer, muchas de estas interpretaciones carecen del rigor operativo y metodológico mínimo para resultar convincentes.

<sup>76</sup> Moseley es el primero en definir la forma de estos moluscos desde el punto de vista geométrico como la revolución alrededor de un eje del perímetro de la figura formada por el *operculum* o boca de la concha, que se mantiene semejante a sí mismo creciendo en progresión geométrica. Esta curva generatriz puede asumir muchas formas según las especies: puede ser circular, triangular, romboidal, elíptica, etc. y puede crecer de manera rápida o lenta. En el tipo *discoïde* (caracoles como el *Nautilus*, el *Argonaut* y el *Amonite*) la *figura generatriz* revoluciona en un plano perpendicular a un eje. En las variedades *turbinadas* (caracolas marinas y la mayoría de los gastrópodos) tenemos una trayectoria oblicua respecto al eje de revolución y la curva en el espacio generada por cada punto dado define un ángulo constante con el eje del cono envolvente y pertenece, por tanto, a la definición de una *hélice*. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.189)

<sup>77</sup> La morfología de las caparazones de los foraminíferos, unos protozoarios que normalmente habitan en el fondo de los océanos, nos ofrece en cambio una manera diferente de entender la presencia de la espiral logarítmica. Debido a causas biológicas particulares de estos organismos, el crecimiento se produce por la adición exterior y progresiva de unidades cada una diferentes a las precedentes, a la manera de celdas relativamente autónomas que poseen una edad característica. La adición sucesiva y exterior de cada unidad sigue un desarrollo que tiende a definir la espiral logarítmica, al tiempo que se establece una relación proporcional de sus partes formando un todo permanente y una rígida estructura. La superficie de contacto entre las celdillas o cámaras puede ser, según los casos, importante (como en la *Cyclammia* y la

El segundo grupo lo constituyen los cuernos y partes córneas de muchos animales. En este caso las generaciones son propiamente helicoidales, aunque de mayor complejidad que en el caso de los moluscos<sup>78</sup>.

Finalmente, un conjunto muy diversificado de configuraciones cercanas a las espirales logarítmicas lo podemos encontrar en el ámbito de la botánica<sup>79</sup>. Como hemos visto, la trayectoria helicoidal en este caso queda definida por lo general de una manera indirecta, debido a la rotación de unidades independientes alrededor de un eje. Este efecto de superposición por sucesivas rotaciones siguiendo un patrón angular más o menos constante es el fundamento de lo que en botánica se denomina *filotaxis* y nos ofrece un excelente ejemplo de la estrecha relación existente entre la forma y las condiciones de adaptación al medio<sup>80</sup> (Fig.23).

Al principio de este capítulo veíamos cómo las formas de la naturaleza siempre se configuran de una manera dinámica al no poder ajustarse con fidelidad a los patrones

---

*Pulvinulina*) o prácticamente nula (es el caso de las celdas esféricas de la *Globigerina*). En esta última y algunas especies más, comprobamos la tendencia al desarrollo de una curva alabeada en el espacio. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.193)

<sup>78</sup> En el caso del cuerno, el anillo exterior tomado como curva generatriz es usualmente una curva alabeada, es decir, no contenida en un plano, por lo que la superficie resultante es de gran complejidad y define lo que D'Arcy Thompson denomina una *superficie anticlástica* (anticlastic surface). La sección transversal de muchos cuernos de este tipo define en muchas ocasiones complicados trazados poligonales. El autor pone por ejemplo las secciones triangulares de ciertas variedades de cabras que dan por resultado cuernos con una forma aproximada a la de un prisma triangular cuyas caras, a la vez de revolucionar alrededor de un eje como una hélice, experimentan una torsión que produce una deformación y que genera una mayor complejidad geométrica. (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.204)

<sup>79</sup> En general, podría ordenarse y clasificarse la presencia más o menos evidente de las espirales en las plantas según estos seis grandes grupos:

- I) la *filotaxis* o disposición de las hojas;
  - II) el efecto de *superposición* en pétalos de flores;
  - III) el crecimiento desigual en los ejes principales que provoca un efecto de torsión;
  - IV) el movimiento en espiral en el crecimiento final de una rama, como en el caso de las trepadoras;
  - V) el crecimiento helicoidal de ciertas plantas;
  - VI) las espirales producidos después de la muerte de determinadas especies.
- (COOK, Theodore Andrea. *op. cit.*, Cap.VII, p.115)

<sup>80</sup> La explicación biológica de este fenómeno parece ser bien simple: las nuevas hojas que van creciendo alrededor de un eje central necesitan el máximo de exposición a la luz solar y al aire exterior para llevar a cabo sus procesos químicos. La mejor manera de lograr este objetivo será pues una distribución espacial en donde exista el mínimo de superposición entre cada hoja en relación a la fuente de energía que se encuentra orientada verticalmente.

geométricos que le sirven de base. Estas variaciones respecto a determinados *patrones* ideales, que conceptualmente tomamos como referencia para interpretar el objeto natural, pueden adoptar básicamente dos modalidades diferentes:

a) la *oscilación* dimensional y geométrica del patrón básico dentro de un gradiente determinado;

b) la *transformación* del patrón inicial en arreglo a determinadas condiciones.

De la primera modalidad ya hablamos anteriormente. En la segunda nos detendremos un momento debido a sus interesantes implicaciones en el diseño de las formas artificiales.

Las formas biológicas no pueden ser nunca "modulares" en el sentido que se da habitualmente en arquitectura o en el arte a este concepto. El primer y obvio argumento para demostrar esto es que las estructuras biológicas están sometidas a procesos de crecimiento y desarrollo y su forma se encuentra dentro de un proceso de cambio permanente. En cualquier estado de este proceso podemos, sin embargo, reconocer *impresa* en la propia forma una *transformación*, un momento en el que puede identificarse una unidad o patrón básico y sus sucesivas modificaciones<sup>81</sup>. Este fenómeno -denominado *ritmo*, *gradiente* o crecimiento *nomónico* según los diferentes autores- es una de las características más peculiares de la morfología natural y que, según lo demuestran importantes investigaciones, no se limita exclusivamente a las formas orgánicas<sup>82</sup>.

Como podemos ver en los ejemplos de las figuras 8 y 9, las "secuencias" en la transformación del elemento base pueden adoptar características diferentes pero siempre parecen responder a una doble relación recíproca de orden jerárquico y escala. Las unidades de base, en general ordenadas en configuraciones con ángulos próximos a los 120°, se transforman respondiendo a sollicitaciones exteriores pero no lo hacen de una manera arbitraria, sino siguiendo ciertos principios que vinculan las unidades a la forma

---

<sup>81</sup> A pesar que en algunos organismos elementales se pueda considerar que la disposición formal de las células esté fundada en una unidad no modificada, en la mayoría de los casos no ocurre así.

"De plus, dans les petits organismes où les cellules sont en nombre assez limité pour fonctionner comme le module, ce n'est qu'exceptionnellement que le système est fondé sur des arrangements d'un module non modifié. Généralement, même dans des groupes de seulement quelques cellules, il y a une différenciation de ces unités en espèces légèrement différentes, et la forme est réalisée par un arrangement ordonné de ces différentes unités." (WADDINGTON, C.H., "Principe modulaire et forme biologique", AAVV, *Module, proportion, symétrie, rythme, op. cit.*, p.20)

<sup>82</sup> Configuraciones de este tipo se han podido observar en estructuras policristalinas interiores en metales o rocas que han sido asociadas configuraciones de películas líquidas. (Ver, SMITH, C.S., "Structure, substructure, superstructure", AAVV, *La structure dans les arts...op., cit.*, pp.29-41)

como totalidad.

D'Arcy Thompson, apoyándose en su teoría de la *semejanza continua*, define el concepto de *crecimiento nomónico* como un proceso de transformación continuo que guarda una relación directa con la geometría de la espiral logarítmica<sup>83</sup>. Para demostrar esta propiedad el autor vincula en un único esquema la espiral logarítmica con una serie de triángulos isóceles en proporción nomónica, tal como puede verse en la Fig.24. En este dibujo, los puntos de paso de la espiral quedarán definidos por los vértices de los sucesivos triángulos semejantes. De igual manera, pueden emplearse otras figuras de este tipo, como el rectángulo de razón  $\sqrt{2}$  o el mismo rectángulo de sección áurea, para trazar las espirales logarítmicas correspondientes (Fig.25).

A partir de aquí, Thompson establece una interesante relación recíproca entre la curva y el concepto de *nomon*, en donde la espiral logarítmica viene asociada directamente con un grupo de transformaciones métricas a partir de un número determinado de figuras semejantes<sup>84</sup>. Estas figuras constituirán una *serie* susceptible de ser estudiada en relación a la forma del organismo como un todo.

Esta propiedad de la espiral equiangular es justamente la que le confiere la peculiaridad de poder fundir y sintetizar en un único concepto geométrico la idea de *continuidad* y la de *agregación*, dos fenómenos, como hemos visto, ligados íntimamente con los procesos naturales de crecimiento<sup>85</sup>.

### *El concepto del tiempo en la obra gaudiniana.*

Cuando observamos el caparazón de un caracol o la disposición de las semillas de

---

<sup>83</sup> El teorema de Aristóteles parte de la consideración de que en todo triángulo ABC puede construirse otro semejante si se traza una recta BD que forme un ángulo ABD igual a BCA. Este triángulo ADB será pues un *nomón* del triángulo ABC inicial.

<sup>84</sup> "Any plane curve proceeding from a fixed point (o pole), and such that the vectorial area of any sector is always a gnomon to the whole preceding figure, is called an equiangular, or logarithmic, spiral." (THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.184)

<sup>85</sup> Si observamos una sección que revele la estructura interna del caparazón de un molusco podremos comprobar la importancia de esta relación entre la idea de continuidad y la de agregación: las sucesivas celdillas o cámaras interiores son *nomones* de una estructura existente previamente. Un fenómeno similar se puede observar en cada unidad de incremento adicional en el colmillo de un elefante o las líneas exteriores de un caparazón.

una flor de girasol, retenemos inmediatamente una impresión muy particular y no tenemos dudas acerca de la presencia de vida en estas formas. De una u otra manera, la forma en sí misma está revelando el desarrollo de un *proceso*, aunque éste haya tenido lugar en otro momento y ahora estemos observando un objeto ya sin vida. Este fenómeno, de gran interés desde el punto de vista biológico tiene, como hemos visto, fuertes implicaciones geométricas y matemáticas.

A partir de la idea de *semejanza continua* expuesta por D'Arcy Thompson a propósito del crecimiento orgánico, comprendemos el significado de esta dualidad "unidad-totalidad" que es característica de las disposiciones en forma de espiral equiangular: en ellas está presente un *elemento tiempo* que ha quedado en alguna medida "retenido" en la forma física<sup>86</sup>.

Desde un punto de vista puramente físico, podríamos afirmar que las propiedades particulares de las espirales y las series de elementos geoméricamente semejantes derivados de estas curvas son las que determinan en gran medida las configuraciones que llegan a imprimir esta característica tan peculiar de las formas orgánicas. Esta presencia dinámica pero a la vez estable, unitaria y al mismo tiempo parcial es, como hemos visto, uno de los rasgos más característicos de la forma orgánica.

Esta idea de *dejar la huella* del tiempo impresa en la forma será una de las mayores preocupaciones de los artistas de nuestro siglo. Gaudí, un creador solitario y obstinado, recreará las formas de la naturaleza por medio de los recursos de la geometría, tomando como punto de partida ciertas formas arquetípicas a las que imprime una originalidad y un dinamismo desconocidos en la obra de sus contemporáneos.

La posibilidad de detener por un instante la evolución de las formas, de *congelar* la obra de la naturaleza para intentar comprender sus fundamentos esenciales, ha sido una de las preocupaciones más sostenidas de científicos y artistas en los últimos quinientos años de civilización occidental. La idea de la existencia de unos *principios* o unas leyes internas capaces de otorgar unidad desde el interior al exterior de la forma natural es, sin embargo, un descubrimiento mucho más reciente. La enorme complejidad de los fenómenos naturales ha convertido muchas veces a los instrumentos de las ciencias en simples tanteos que se extienden en múltiples direcciones. En este contexto, la visión sintetizadora e intuitiva del

---

<sup>86</sup> "But we must look for it wherever the organism retains, and still presents at a single view, the successive phases of preceding growth: the successive magnitudes attained, the successive outline occupied, as growth pursued the even tenor of its way."(THOMPSON, D'Arcy Wentworth, *op. cit.*, p.186)

artista cobra un significado esencial<sup>87</sup>.

La búsqueda esencialmente gráfica de Leonardo da Vinci encuentra su confirmación en las investigaciones de Goethe, Couvier o Darwin y los caminos comienzan a superponerse. El grado en que la forma natural se ajusta o es apropiada a su función y al entorno comienza a entenderse en términos de *adaptación* o, según Darwin y Spencer, de *adecuación*, y los mecanismos de generación en las formas naturales en relación a determinados *principios* internos son estudiados con cierto rigor sistemático.

No es de extrañar, pues, que de este ambiente surgieran unas ideas radicalmente novedosas acerca de la función y el significado de la arquitectura y el arte. Los viejos moldes de la estética academicista comienzan a resquebrajarse y personajes como Viollet-le-Duc o Choisy en Europa y después Sullivan en América, desde ángulos muy diferentes, empiezan a consolidar las bases de lo que, poco más tarde, será la revolución de las ideas racionalista en arquitectura.

Una nueva idea de lo que significa el *estilo* en arquitectura comienza a gestarse en en el *Dictionnaire...* de Viollet-le-Duc y las *Charlas...* de Sullivan. Esta idea estará marcada en gran medida por una apropiación intuitiva de la lógica interna de los fenómenos naturales y por la adhesión incondicional a ciertas ideas definidas. La *adaptación* de la forma a la finalidad será pues el resultado de la intervención de la inteligencia y la razón a través de la sensibilidad estética.

Las convicciones de Viollet-le-Duc en este sentido no pueden ser más decididas

---

<sup>87</sup> Esta *otra manera* de comprender los mecanismos internos de una naturaleza que resulta demasiado compleja para someterse a la interpretación puramente científica, ha sido -y en gran medida continua siéndolo- la obsesión de gran parte de los artistas de este siglo.

"De cette façon, s'est ouvert pour notre siècle une vision de la structure détaillée de la nature qui est différente de celle de la Renaissance parce qu'elle n'est plus visible: ses formes n'ont plus de rapport manifeste avec les formes naturelles. La recherche, dans les arts, de formes nouvelles, plus profondes que le squelette, me paraît exprimer la même vision. Le cubisme fut une première étape dans cette voie, qui tenta d'organiser le corps et le paysage sous une seule forme." (BRONOWSKI, Jacob, *op. cit.*, p.59)

Los propios científicos reconocen así la impotencia de las ciencias para penetrar en los significados más profundos de los fenómenos naturales y acaban muchas veces reclamando la participación de la intuición artística dentro del proceso de investigación.

"Nous avons maintenant grandement besoin de nous préoccuper de systèmes plus complexes, de découvrir des méthodes pour traiter de la nature complexe telle qu'elle existe. L'artiste a longtemps fait des déclarations significatives et communicables, sinon toujours précises, sur les choses complexes. Si de nouvelles méthodes, qui devront sûrement quelque chose à l'esthétique, devaient permettre au savant de pénétrer dans des domaines plus complexes, sa zone d'intérêt s'approchera de celle de l'humaniste, et les sciences pourront même une fois de plus se mêler doucement à l'ensemble de l'activité humaine." (SMITH, Cyril S., "Structure, substructure, superstructure", AAVV, *La structure dans...op. cit.*, p.41)

cuando afirma que "Pour l'architecte, l'art c'est l'apparence pour tous d'un besoin satisfait"<sup>88</sup>.

En la Barcelona neomedievalista de la época, un todavía joven Gaudí encuentra en estas ideas la lógica conexión con sus sentimientos acerca de la naturaleza y unos principios racionales derivados de su espíritu práctico. Para llevar adelante estos principios en su arquitectura, se apoyará en dos sólidos basamentos: la construcción como técnica y la geometría práctica como herramienta.

---

<sup>88</sup> VIOLLET-LE-DUC, Eugène-Emmanuel, *Entretiens sur l'architecture*, Edition Intégrale, Bruxelles, Pierre Mardaga éditeur, 1986. (Edición original publicada en dos tomos, Tome Premier, A. Morel et Cie. Éditeurs, Paris 1863, Tome Deuxième, Vic. A. Morel & Cie., Libraires-Éditeurs, Paris 1872)

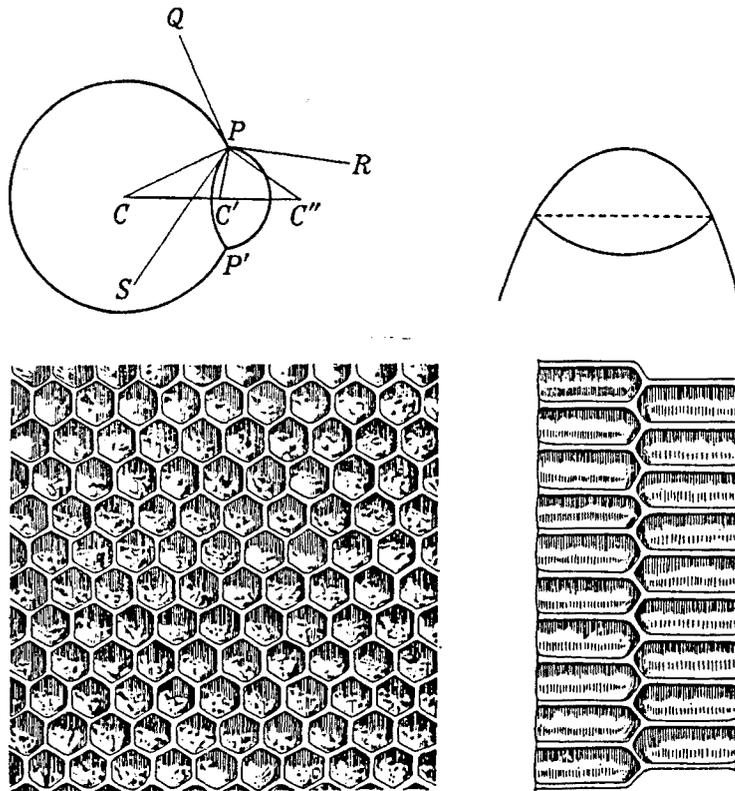
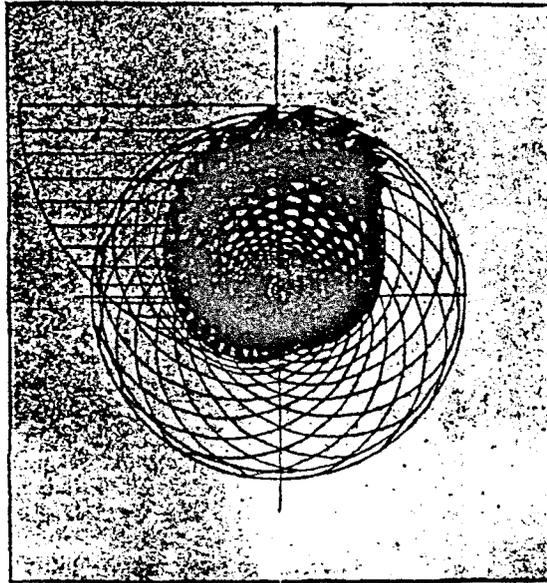


Fig. 1/ Fig. 2/ Fig. 3

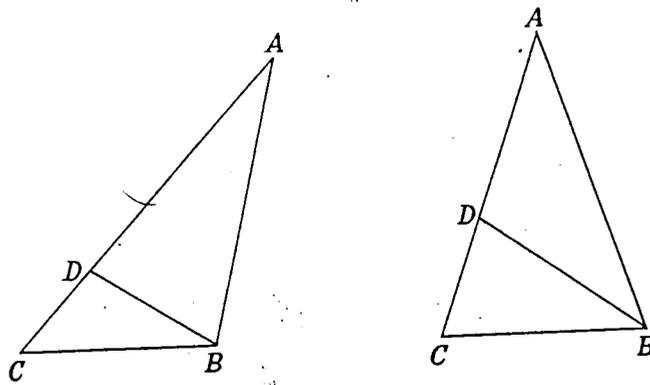
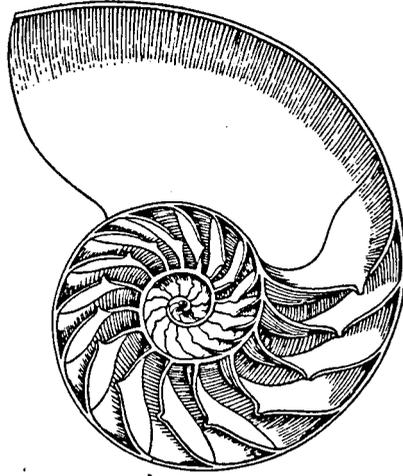


Fig.4/Fig.5

---

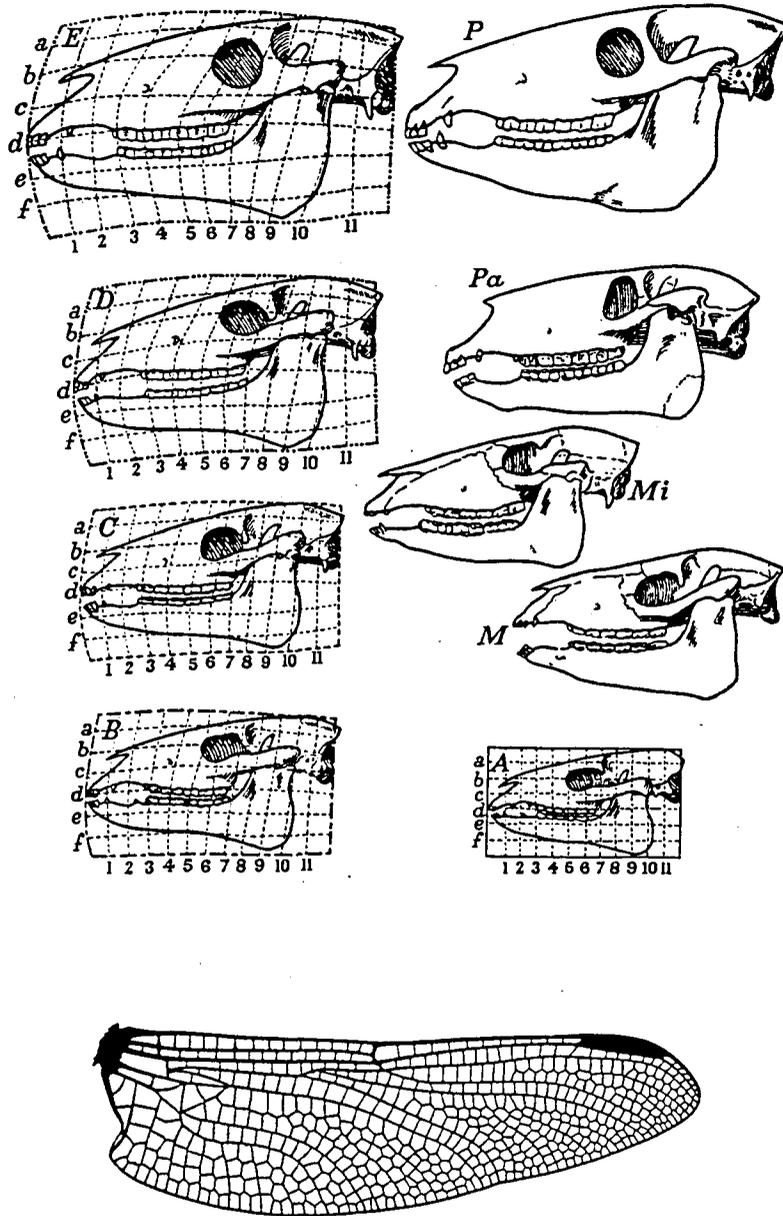


Fig.6/Fig.7

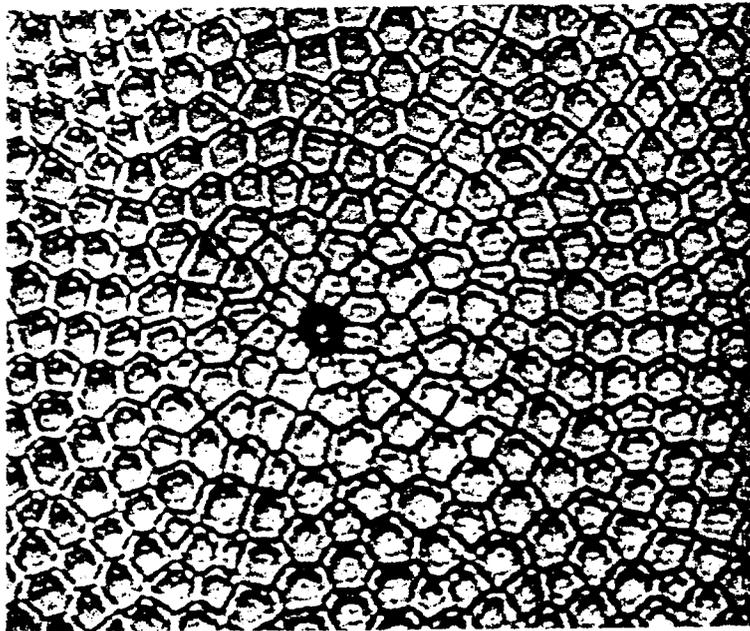
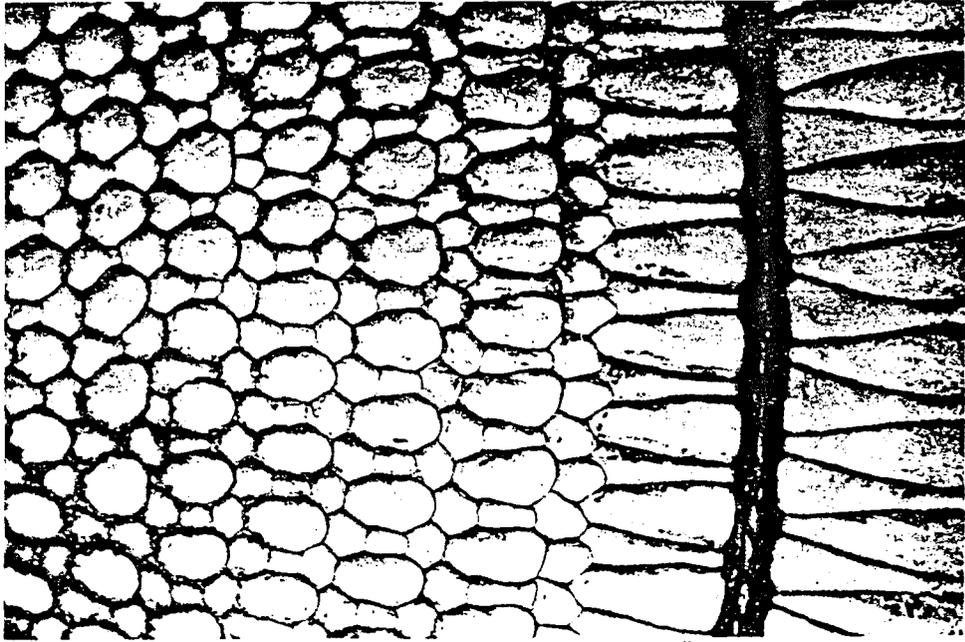


Fig.8/Fig.9

---

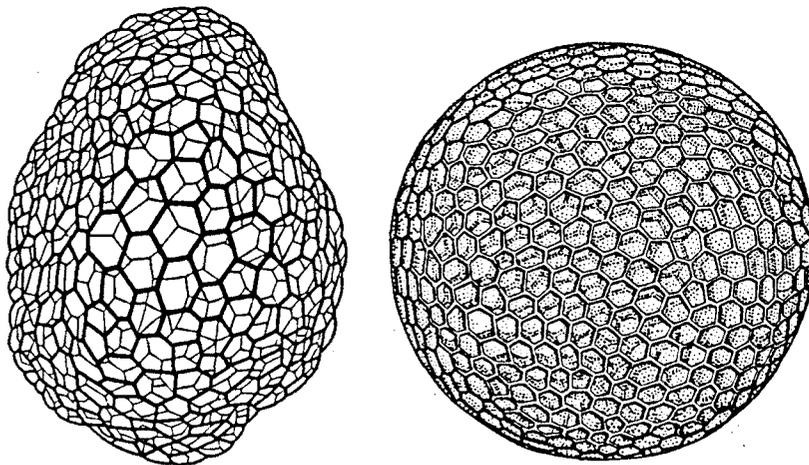
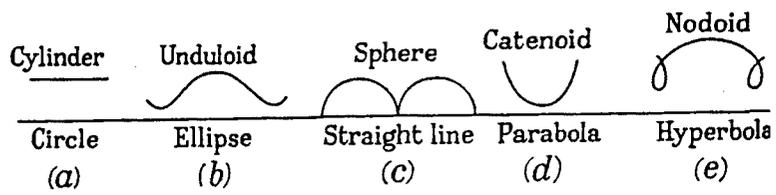
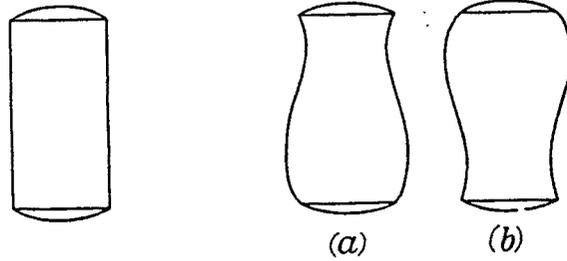


Fig.10a/ Fig.10b/ Fig.11

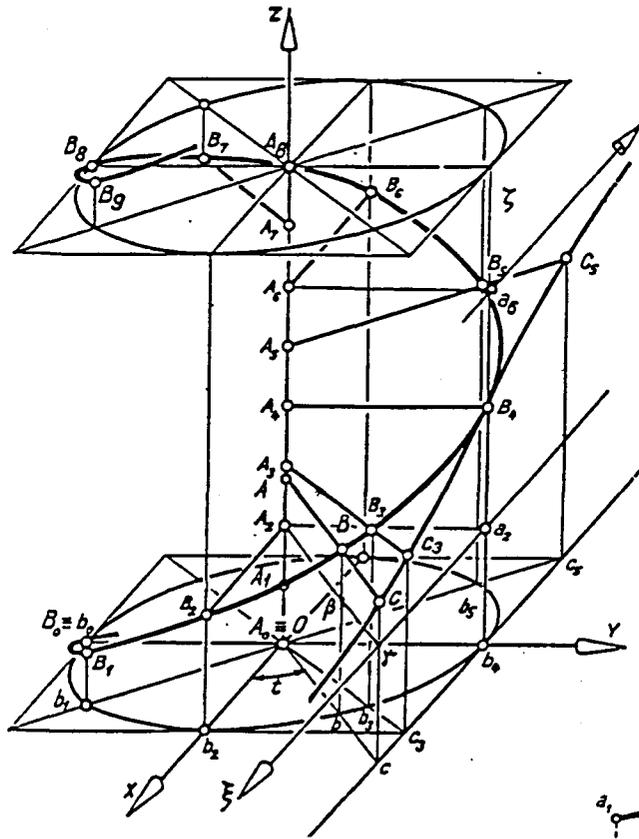
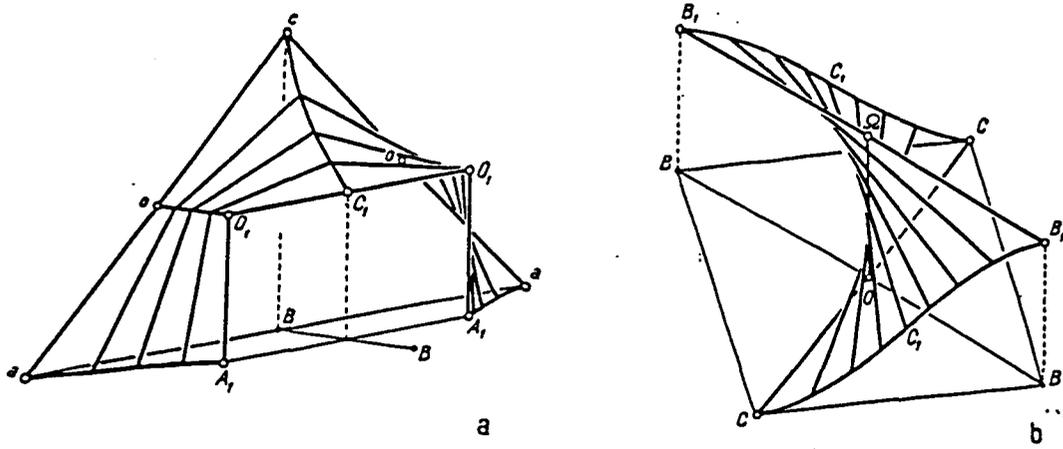


Fig.12a/Fig.12b

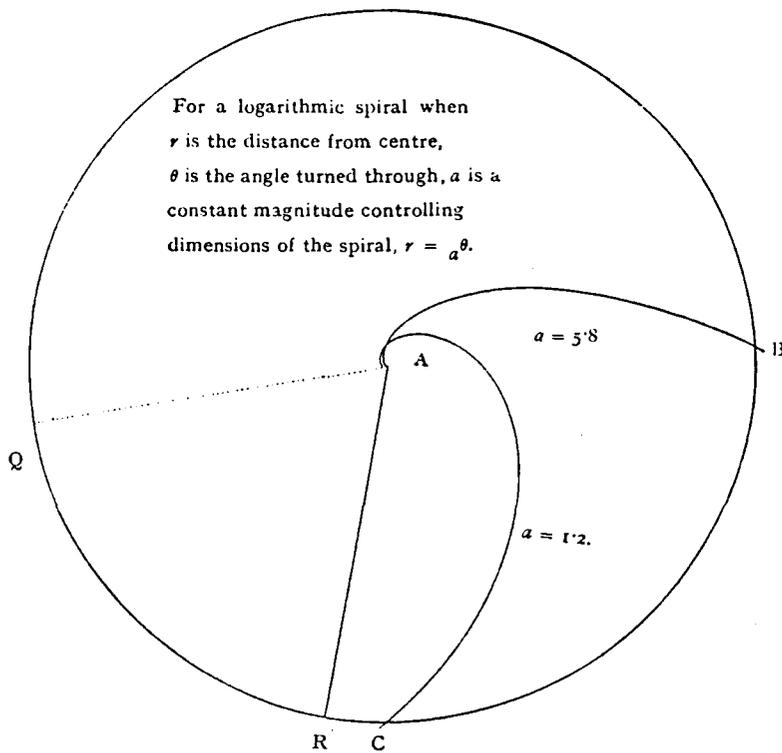
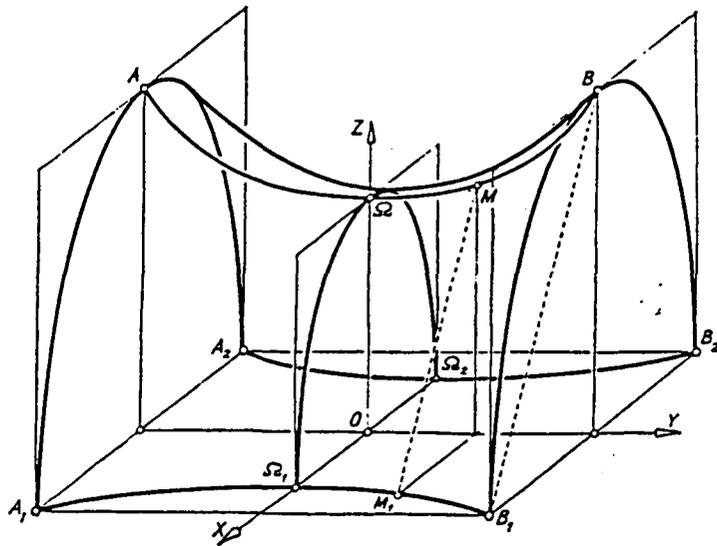


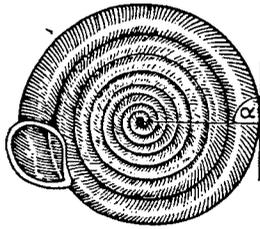
Fig.13/Fig.14



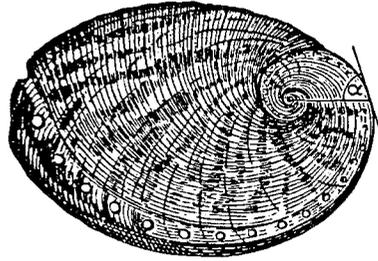
Fig.15

---

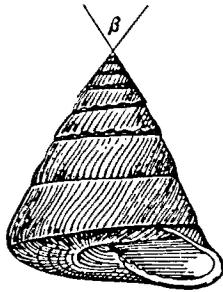
Large  $\alpha$



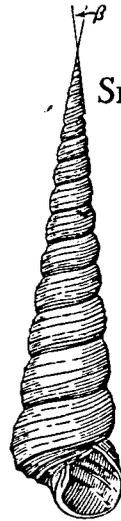
Small  $\alpha$



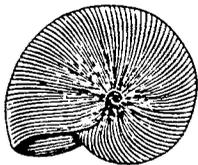
Large  $\beta$



Small  $\beta$



Large  $\gamma$

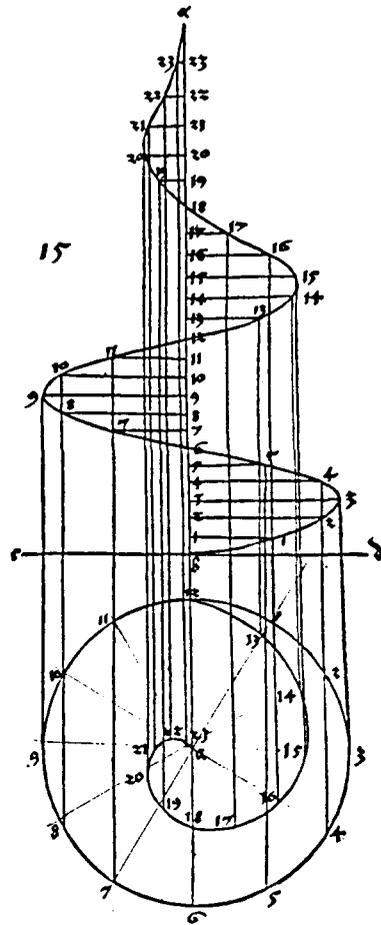


Small  $\gamma$



Fig. 16

---



Dies ist der Schnitt  
aus dem grüß auf  
gezogen / mit allen  
notdürftigen Linien  
en daraus er gezeichnet  
wirdet.

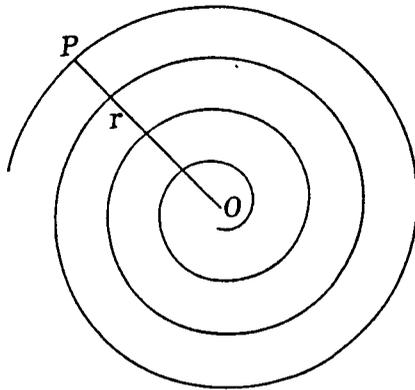


Fig.17/Fig.18

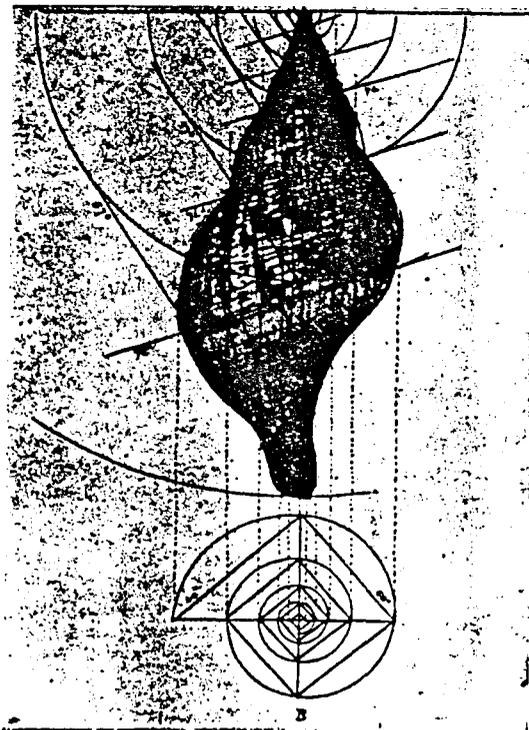
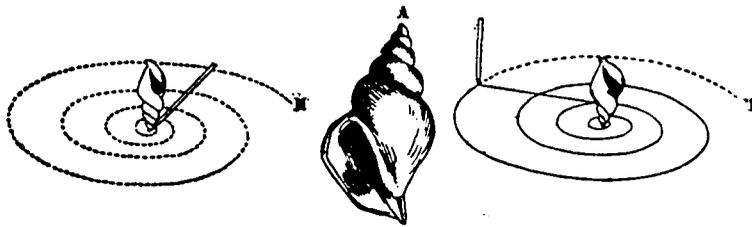
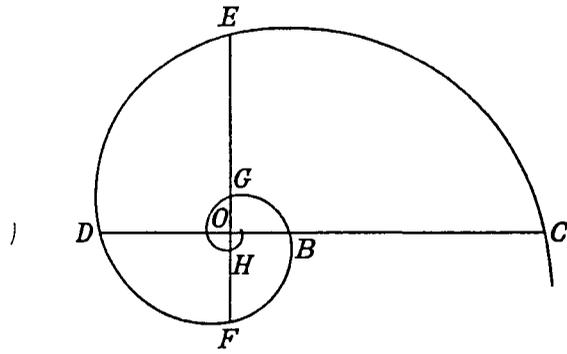


Fig.19/Fig.20/Fig.21

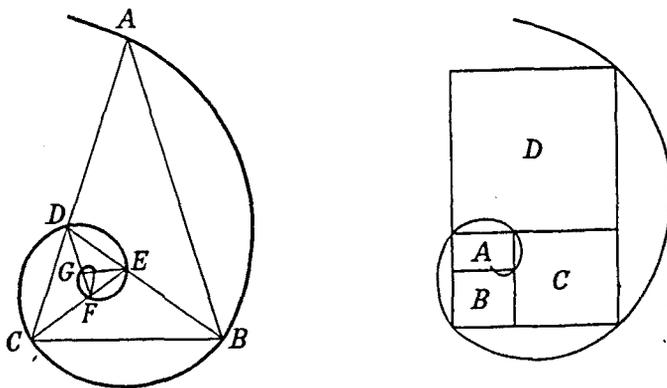
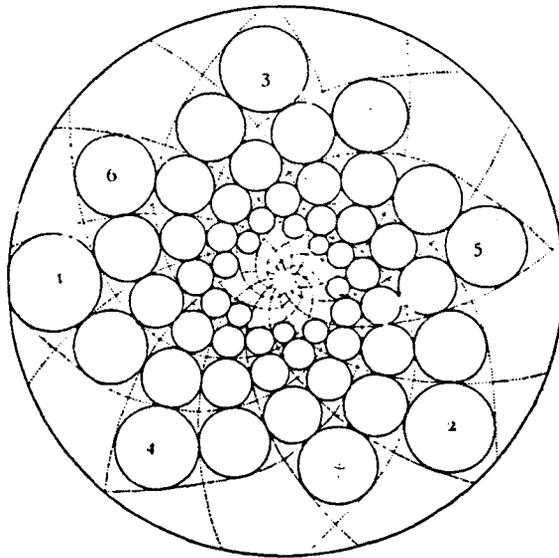
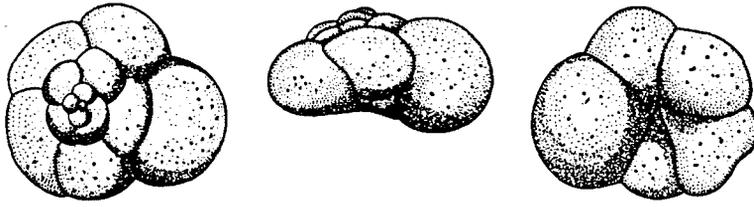


Fig.22/Fig.23/Fig.24/Fig.25

---

## CAPÍTULO III UNA GEOMETRÍA PARA CONSTRUIR

### GEOMETRÍA E INTUICIÓN

El paso por la entonces Escuela Provincial de Arquitectura de Barcelona entre los años 1874 y 1877 no parece haber dejado recuerdos muy memorables en Gaudí.

La formación que se impartía por aquel entonces en la Escuela tenía, como hemos visto, un importante contenido ecléctico y en esta primera época la enseñanza se caracterizaba por una marcada separación entre las asignaturas *técnicas* y las *artísticas*. Así, por un lado tenemos asignaturas como *Copia de yeso, Dibujo a la aguada o Teoría general del arte* y por el otro *Sombras y perspectiva, Mecánica, Manipulación y empleo de materiales, Topografía*, etc<sup>1</sup>.

En este primer período formativo, la geometría no parece haber ocupado un interés especial en un joven Gaudí demasiado preocupado por la definición del concepto de *estilo* y los problemas de ornamentación. En sus escritos de la época encontramos escasas referencias a la aplicación de conceptos geométricos en el diseño de los edificios y, cuando estas existen, son muy vagas e imprecisas<sup>2</sup>.

Cuando ha sido indagado en relación a este período de su vida, Gaudí ha respondido con cierta hostilidad respecto a su aprendizaje de la geometría en la Escuela, criticando duramente la enseñanza impartida por Rovira i Rabassa, su profesor de *Sombras y perspectiva*, que para el caso venía a ser equivalente a geometría descriptiva. En una supuesta conversación íntima con Cèsar Martinell ocurrida en 1915, el arquitecto confiesa a éste su escaso interés por la geometría que enseñaba Rovira, criticando el poco conocimiento que de las cuestiones prácticas de la estereotomía tenía su profesor<sup>3</sup>, más vinculado, según el, a los conocimientos eruditos de los tratadistas de la época que a la

---

<sup>1</sup> BASSEGODA NONELL, Juan, *El gran Gaudí*, Sabadell, Ed. AUSA, 1989.

<sup>2</sup> En estos escritos, ya citados en el capítulo I, destaca la preocupación de Gaudí por los problemas sociales en relación a los hechos puramente constructivos. En las páginas del Manuscrito de Reus, y muy al estilo de Violet-le-Duc, encontramos reiteradas citas acerca del *destino* de los edificios y los objetivos estético morales que animan la labor del arquitecto. (BASSEGODA NONELL, Juan, *op. cit.*, pp.72-91)

<sup>3</sup> "...només sap el que estudià en llibres francesos...té memòria del temps i no de l'espai; per això recorda la geometria analítica i l'àlgebra. Té el títol d'arquitecte, que hauria de voler dir temperament plàstic, però és músic, i la seva afecció per la música fins el portà a cantar públicament "El barber de Sevilla". (MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família. Comentada per ell mateix*, Barcelona, Aymà S.L. Editors, 1951, p.109)

práctica cotidiana del corte de piedras. En la misma charla Gaudí confiesa su escasa formación teórica en geometría, de cuya teoría dice, con muy poca modestia, no tiene necesidad alguna gracias a su particular percepción del espacio<sup>4</sup>.

Quizá sea esta peculiar visión intuitiva del espacio -que el propio Gaudí se empeña en relacionar con cuestiones familiares<sup>5</sup>- unida a la complejidad creciente de sus propuestas, lo que justifique en alguna medida la poca disposición del maestro para expresar sus ideas en dibujos, o al menos en lo que entendemos habitualmente por dibujos convencionales de arquitectura.

A pesar de la destrucción de gran parte del material gráfico de los proyectos de la Sagrada familia y la Colonia Güell, sabemos que Gaudí no se prodigaba mucho en dibujos para describir sus propuestas arquitectónicas. Ni siquiera en la presentación de los proyectos a sus clientes se esforzaba por exhibir muchos dibujos. De esto nos quedan algunos testimonios, como el del escultor Juan Matamala que nos relata la precariedad del material gráfico que acompañó la primera presentación de un proyecto de la envergadura de la iglesia de la Colonia Güell<sup>6</sup> o el de Martinell cuando nos habla de la confesada "pereza" de Gaudí para dibujar planos de arquitectura<sup>7</sup>.

---

<sup>4</sup> "Diu que ell veu l'espai amb gran facilitat i que els problemes geomètrics per a ell no ho són; que mai no va estudiar altra geometria que l'elemental ni en veié cap més llibre." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.110)

<sup>5</sup> "Jo tinc aquesta qualitat de veure l'espai, perquè sóc fill, nét i renét de calderers. El meu pare era calderer; l'avi també; el besavi, també; a casa de la meva mare eren calderers; el seu avi era boter (que és el mateix que calderer); un avi matern era mariner, que també són gent d'espai i de situació. Totes aquestes generacions de gent d'espai donen una preparació. El calderer és un home que d'una planxa plana ha de fer un volum. Abans de començar la feina ha d'haver vist l'espai." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.134)

<sup>6</sup> "Al confiársele los planos de esta nueva Iglesia, se dejaron a libre competencia del artífice de la Sagrada Familia, lo que le permitió prescindir de entrega de proyectos, limitándose a un simple esquema, y de conjunto exterior." (MATAMALA FLOTATS, Juan, *Antonio Gaudí. Mi itinerario con el arquitecto*, Manuscrito mecanografiado depositado en la Cátedra Gaudí, Barcelona, 1960, p.432)

De igual manera, Puig Boada comenta en su libro de la iglesia de la Colonia Güell la inexistencia de planos de obra durante la ejecución de la cripta, debido entre otras cosas a la utilización de técnicas de replanteo directo a partir de la maqueta funicular.

"Perquè cal considerar, a més, i així ho creiem, que Gaudí féu plans i esbossos fins a obtenir la maqueta funicular, que li donava la forma com si fos maqueta de guix; però que no féu els plans en projecció horitzontal i seccions de la maqueta, un cop acabada, perquè no sols eren d'una complexitat enorme, sinó que no haurien estat prou fàcilment indicatius." (PUIG BOADA, Isidre, *L'església de la Colònia Güell*, Barcelona, Lumen, 1976, p.29)

<sup>7</sup> El 21 de marzo de 1915 en una visita de la Asociación de Arquitectos, Gaudí confiesa su poca dedicación al dibujo.

"Ensenya una planta del Temple dibuixada per ell sols a bocins. Diu que és un "potiner" i que no sap dibuix.

En realidad se diría que la pereza de Gaudí no tiene tanto que ver con una cuestión expresiva sino con un asunto esencialmente práctico. A él no le hace falta -o no le basta- la descomposición en proyecciones ortogonales como un mero ejercicio de geometría descriptiva para comprender sus propias formas en el espacio<sup>8</sup>.

Para Gaudí, esta reducción de la realidad física del objeto sólo tendrá una utilidad real si puede aplicarse para definir en alguna medida la materialidad constructiva de sus ideas, pero no como un mero recurso de representación. Es decir que para el arquitecto la herramienta gráfica tiene una clara finalidad operativa alejada de toda especulación teórica. Sus biógrafos lo suelen describir dibujando croquis o repasando originales para plantillas de obra, pero raramente destinando horas de su actividad en dibujar planos detallados de las obras<sup>9</sup>.

En realidad, y siempre que le era posible, Gaudí prefería trabajar con modelos tridimensionales en lugar de planos detallados. La gran cantidad de fragmentos de maquetas en yeso de la Sagrada Familia o el modelo colgante de la iglesia de la Colonia Güell son sólo unos pocos testimonios supervivientes de la predilección que sentía el arquitecto por las maquetas. El sistema de trabajo empleado habitualmente por Gaudí estaba basado en gran medida en el modelado de las formas directamente sobre la superficie de la propia

---

La planta no està feta tota ella perquè "no en sap més", perquè t'è peresa intel.lectual i no vol seguir el procediment d'agafar llibres, retallar i enganxar els retalls, com fan alguns.

"Diu que l'únic dibuix que ha fet en la seva vida és el projecte de la façana de la catedral de Barcelona original de l'arquitecte Joan Martorell, de qui fa grans elogis." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.79)

<sup>8</sup> "L'home no pot actuar directament en l'espai perquè la reflexió o l'ecuació només es pot fer en un pla (amb l'ecuació de primer grau; les altres són combinacions d'aquestes). Ara bé, en el paper no es pot resoldre més que allò que tingui per pla principal el de la projecció (cònica o no cònica), i això presuposa d'haver imaginat la dita solució i de haver escollit el pla que la conté. Calen, doncs, una sèrie de projeccions, i fins que es casen totes no és possible atènyer la cosa més que realitzant-la i repetint-la, corregint cada cosa en el seu pla principal, que és l'única manera d'arribar a la perspectiva interior de la cosa, però no una perspectiva d'un sol punt de vista, sinó aquella perspectiva que sap el que hi ha darrera i als costats. (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí*, Barcelona, Ed. La Gaya Ciencia, 1981, p.150, citado en BERGÓS, Joan, *Conversaciones de Gaudí con J. Bergós*)

<sup>9</sup> Autores como Bergós y Martinell nos hablan de estos croquis que el arquitecto realizaba en pocos minutos y con el material que tuviera a mano en ese momento. Muchos de estos dibujos han desaparecido, otros, como los expresivos estudios de la iglesia de la Colonia Güell, nos permiten comprobar esta urgencia por transmitir una idea global o un concepto plástico determinado.

Sobre los dibujos para uso exclusivo en obra, Matamala relata que durante el tiempo en que se incorporó el joven Opisso al taller de la Sagrada Familia, Gaudí estableció una mecánica de trabajo muy especial. El escultor cuenta que Opisso era una especie de delineante que desarrollaba los perfiles y motivos de fachada en escala y en papel de *Canson* para la confección posterior de plantillas y fraccionado de dovelas. Sobre este *Canson* Gaudí superponía una y otra vez los croquis hasta lograr el modelo definitivo. (MATAMALA FLOTATS, Juan, *op. cit.*, p.200)

maqueta, que quedaba de esta manera incluida dentro del propio proceso creativo del maestro<sup>10</sup>.

En este sentido pareciera que la obra del Gaudí de los primeros tiempos siguiera, respecto a la experimentación plástica de las formas, dos caminos diferentes que van tanteando sus propias posibilidades expresivas.

Dentro de un primer grupo tendríamos obras como la casa Vicens, la finca Güell, el colegio de las Teresianas o el propio Palau Güell, en donde en gran medida las formas son controladas por una geometría muy definida que fija las leyes que gobernarán las partes más significativas del edificio.

En cambio, la plástica propuesta por Gaudí para la casa Batlló o la casa Milá es de una libertad tan absoluta que pareciera no tener interés alguno en someterse -salvo en fragmentos muy concretos- al control de una geometría reguladora. Será seguramente el diálogo entre estas dos vertientes la que llevará a la síntesis que comienza a tomar cuerpo en las formas de la iglesia de la Colonia Güell y encuentra su eclosión en la compleja experimentación geométrica y plástica de la Sagrada Familia.

La idea de Gaudí acerca de la geometría es muy definida y precisa. Para él, la única geometría válida es aquella que pueda tener una vinculación directa con la realidad física del objeto. Detesta las especulaciones abstractas. Su proceso en alguna medida resulta inverso a la lógica didáctica propuesta en la enseñanza de la geometría descriptiva de la Escuela.

No debemos olvidar que, si bien la geometría que enseña Rovira i Rabassa está muy ligada a cuestiones prácticas como el tratamiento de sombras o el corte de piedras, la teoría que habitualmente precede a estas aplicaciones sigue fielmente el modelo didáctico ya

---

<sup>10</sup> Matamala, como escultor que era, se siente especialmente atraído por este sistema de trabajo. En su biografía cuenta como la fachada de la casa Batlló fue concebida a partir de una maqueta de yeso que, desde una composición elemental inicial, fue moldeada en un proceso muy lento por el propio Gaudí. En otra parte del escrito vuelve a aparecer una descripción de la modalidad de trabajo de Gaudí por entonces. Matamala relata que para proyectar la casa Milà se elaboró una maqueta escala 1:10 de toda la extensión de la fachada:

"A excepción de los croquis de mano de Gaudí, los proyectos serán desarrollados por plantas al ritmo de la maqueta, cuyos volúmenes de fachada, eran precisados luego por los auxiliares en los planos correspondientes, para fijar rectificaciones de aberturas. Ni en los croquis, ni en los planos, ni en la maqueta que venía resolviéndose, se adivinaba lo que debía ser la totalidad del edificio. Igual fenómeno que se producía en los diseños para la Sagrada Familia y demás edificios. Siempre reservábase Gaudí en la intimidad de su intelecto, libertad de modificar sus propias ideas, recatándose de exhibir definitivos proyectos." (MATAMALA FLOTATS, Juan, *op. cit.*, p.385)

establecido<sup>11</sup>. Este esquema -que por cierto no es el que Monge desarrolla en su *Geometría Descriptiva*<sup>12</sup>- toma como punto de partida un conjunto de abstracciones para luego avanzar en la definición de entidades de progresiva complejidad.

Gaudí entiende este proceso un poco en sentido inverso: se trata de partir de los cuerpos en el espacio para comprender sus propiedades geométricas por medio de razonamientos sencillos.

"La geometria, per a l'execució de superfícies, no complica sinó que simplifica la construcció; el més complicat és l'expressió de les coses geomètriques, que no podent-se expressar completament dóna lloc a malentesos; aquests desapareixen encarant-los amb els

---

<sup>11</sup> Podemos constatar el desarrollo de este modelo didáctico en el testimonio de los trabajos de dos arquitectos catalanes de la etapa previa a la creación de la Escuela Provincial de Arquitectura.

Por un lado, se han conservado las *Lecciones de Geometría Descriptiva, sombras, corte de piedras y madera*, impartidas por el profesor Josep Casademunt en la Escola de Mestres d'Obres, de la que fue nombrado catedrático de Geometría Descriptiva en 1850. Un esquema de enseñanza prácticamente idéntico a éste se puede constatar en los ejercicios de geometría descriptiva realizados por August Font Carreras en la Escuela Superior de Arquitectura de Madrid en el curso 1865-1866.

El contenido de estos ejercicios revela de alguna manera un proceso conceptual en la enseñanza de la geometría descriptiva que se instalará prácticamente hasta nuestros días. Según este esquema, se parte del punto y la línea para explicar las propiedades, transformaciones y operaciones de proyección. Una vez asimilados una serie de conceptos generales se va pasando gradualmente al estudio de las superficies, sus propiedades, intersecciones, etc.

(Ver, BERTRAN ILARI, J., *op. cit.*, Tomo II, BASSEGODA NONELL, Juan, *Aproximación a Gaudí*, Madrid, Ed. Doce Calles, 1992, pp. 227-265)

<sup>12</sup> De la lectura de la *Geometría Descriptiva* se pueden deducir dos importantes aspectos de la obra de Monge:

a) El indudable *sentido práctico* que posee el texto, bastante alejado de las puras especulaciones teóricas de muchos de los tratados posteriores de geometría descriptiva.

Por un lado, a la hora de escoger un método determinado para resolver un problema geométrico siempre adopta aquél que ha sido aplicado anteriormente, cuya sencillez y facilidad operativa queda demostrada por la práctica. Por otro lado, siempre trata de relacionar los conceptos geométricos (generación de superficies, determinación de curvaturas principales, determinación de planos tangentes, etc.) a los procedimientos y a una *realidad física* construída.

b) La manera de conceptualizar el conjunto de los contenidos de la obra de manera tal que siempre se apoya en la realidad perceptual (tridimensional) para formular las operaciones desde el sistema de proyección.

La intención de Monge era, pues, hacer de la geometría descriptiva un lenguaje racional, lógicamente estructurado, que permitiera unificar los procedimientos gráficos particulares empleados largamente por los gremios. En realidad se trataba de configurar un lenguaje de validez universal para facilitar la comunicación entre dos personajes de funciones cada vez más segregadas: el proyectista y el constructor.

Sin embargo, la *Geometría Descriptiva* de Monge va a imprimir un giro a la práctica tradicional de la estereotomía, privilegiando más el rigor teórico gráfico que la práctica constructiva, motivo por el cual será duramente criticado por sus sucesores en varias oportunidades. (Ver, MONGE, Gaspard, *Geometría Descriptiva. Lecciones dadas en las escuelas normales...* Trad. al castellano por Agustín de Betancourt, Madrid, Imprenta Real, 1803, Ed. original francesa, Paris, 1799)

cossos en l'espai."<sup>13</sup>

La suya es una geometría *tangible*, que puede constatarse físicamente, incluso con sencillos medios prácticos, y que escapa de toda especulación puramente teórica<sup>14</sup>. Gaudí, rehuendo de aproximaciones analíticas o diferenciales, prefiere definir las superficies con las que va a trabajar desde la misma esencialidad geométrica<sup>15</sup>.

Estamos en un punto, pues, en que podemos comprobar cómo se va perfilando el sentido que la herramienta geométrica tiene en Gaudí. En el capítulo anterior analizamos las relaciones entre las formas de la naturaleza y las formas geométricas, de las que Gaudí intenta sacar el máximo provecho para sus planteamientos arquitectónicos. En este sentido, Gaudí tiene su propia imagen de la naturaleza que *materializará* en la forma construída mediante un repertorio de formas geométricas muy concretas, a veces siguiendo unos caminos que implican un alto grado de experimentación y riesgo. Podemos constatar entonces la presencia de un primer nivel en donde la geometría es utilizada como una aproximación figurativa al mundo natural.

---

<sup>13</sup> PUIG BOADA, Isidre, *El pensament...*, op. cit., p.145, citado en BERGÓS, Joan, *Conversacioens de Gaudí con J. Bergós*.

<sup>14</sup> Martinell relata que en ocasión de una visita al estudio de Gaudí, tuvo la oportunidad de ver cómo el arquitecto experimentaba con las proyecciones de un paraboloide y un hiperboloide mediante un ingenioso procedimiento.

"Damunt d'una taula té un paraboloide hiperbòlic fet amb quatre llistons i fills vermells. Per demostrar pràcticament las seves propietats fa entrar el sol a l'habitació on som aixecant part de la coberta, que funciona amb contrapesos. Ens ensenya les projeccions del paraboloide hiperbòlic per mitjà de l'ombra que fa damunt d'una taula que, segons la posició, dóna línies radials o paral·leles. Gaudí creu que aquesta superfície és la síntesi de tota la Geometria, puix diu que tot surt del paraboloide hiperbòlic.

Pregunta: ¿no fóra bonica una Geometria explicada així? Pondera aquest procediment de fer les coses veient-les i diu que d'aquesta manera no s'obliden més, i hom les sap del cert. És la millor demostració; quan un ha vist una cosa diu: "Sí, és cert, jo ho he vist". Quan en Matemàtiques queda demostrat quelcom, es diu que "és evident". L'"evidència" és als ulls de l'esperit el que la "visió" és als ulls del cos.

Tot seguit fa veure les interseccions d'un pla amb l'hiperboloide de revolució per un mitjà enginyós i senzill. Consisteix en una fusta plana que té una ranura recta i deixa passar els raigs del sol, que segueixen una superfície plana; si en aquesta hi és interposat l'hiperboloide construït amb fils (generatrius) subjectes a dos cercles de filferro (directrius), es veuen clarament les interseccions que s'obtenen segons les posicions de l'hiperboloide." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.63)

<sup>15</sup> Martinell recoge también los conocidos comentarios de Gaudí acerca de su idea de la *geometría sintética*, con un explícito reconocimiento hacia la geometría de Monge.

"Diu que ell és geomètra, que vol dir sintètic. Els del Nord no comprenen la síntesi i han fet la Geometria Analítica, que és la geometria del punt, i tot ho resol amb punts. Són ultraalpíns.

Els mediterranis són els únics que han entès la geometria, i per a trobar-la hom de recórrer als grecs. Modernament el qui millor ha explicat la Geometria ha estat Monge, mediterrani de Lió." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.123)

En el desarrollo de este capítulo intentaremos precisar el otro rol esencial que tiene la geometría para Gaudí y es el que tiene que ver con una cuestión puramente operativa. La manera en que es generada la forma edificada, los medios disponibles y los sistemas constructivos, serán los elementos más importantes que contribuirán a delinear esta nueva función instrumental que asumirá la geometría.

## RACIONALISMO MEDIEVALISTA

### *Viollet-le-Duc y Choisy.*

Una nueva manera de ver y entender la arquitectura comienza a gestarse en Francia después de la mitad del siglo pasado. Los nuevos arquitectos comienzan lentamente a rebelarse contra una ya desgastada formación academicista de la mano de las propuestas encendidas de Viollet-le-Duc.

En este ambiente de gran convulsión ideológica emerge de la École Polytechnique un joven ingeniero y humanista llamado Auguste Choisy. Su formación eminentemente técnica y su nueva visión del objeto arquitectónico desprovista de todo lastre esteticista le lleva a distanciarse de la postura de los académicos franceses en Roma.

La figura de Choisy representa para la época una nueva manera de ver y entender la arquitectura a partir de un conjunto de principios racionales, en donde destacará notablemente el hecho constructivo y mecánico en relación a cuestiones puramente prácticas. No es de extrañar por eso que este nuevo *espíritu racional* que animaba la búsqueda de Choisy encuentre en Viollet-le-Duc grandes coincidencias en la manera de interpretar la historia de la arquitectura. Choisy conoce a Viollet-le-Duc durante la guerra de 1870 y se sabe que este último alabó los análisis de la arquitectura griega hechos por su joven colega.

Muy esquemáticamente podríamos decir que Choisy viene a representar el aspecto más práctico de las ideas de Viollet. En el autor de los *Entretiens...* resultan más sugerentes las grandes declaraciones de principios que sus propias *invenciones* arquitectónicas.

Las dos primeras publicaciones del ingeniero francés Auguste Choisy, *L'Art de bâtir chez les Romains*, aparecida 1873 y *Histoire de l'art de bâtir chez les Byzantins* de 1875 son, en cambio, ejemplares en cuanto a una nueva manera de entender la historia de la arquitectura. En estas obras aparecen sus famosos dibujos que combinan admirablemente la planta y la vista axonométrica de edificios y detalles constructivos para explicar las estructuras de la arquitectura romana y bizantina y sus sistemas de construcción de arcos y bóvedas en ladrillos. En Viollet-le-Duc, en cambio, resultan más importantes los

conceptos que puedan deducirse a partir de los ejemplos de los distintos períodos históricos de la arquitectura que la propia realidad edificadan en sí misma. El núcleo común de ambos tratadistas es, sin embargo, la manera -absolutamente novedosa para la época- de interpretar la historia de la arquitectura partiendo del *hecho construido* como forma arquitectónica que es producto de las necesidades sociales y los medios disponibles en cada período.

Las dos obras monumentales de Viollet-le-Duc, el *Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du XIe au XVIe siècle*<sup>16</sup> y los *Entretiens sur l'Architecture*<sup>17</sup>, reflejan con extraordinaria precisión este nuevo espíritu racional que animaba a la interpretación histórica.

El *Entretiens...* resulta, por muchas razones, el tratado más revelador en este sentido y no cuesta mucho trabajo imaginar la manera en que pudo haber encendido el espíritu de Gaudí, un entusiasta lector tanto de esta obra como del *Dictionnaire...* Ya desde la propia organización de los contenidos del *Entretiens...* se puede percibir una manera decididamente *anti-clásica* de enfocar los temas arquitectónicos. El primer tomo es una revisión de los estilos históricos precedida de una declaración de principios. En el segundo, Viollet dedica un importante espacio a temas constructivos y de organización de la obra, para acabar desarrollando sus propuestas arquitectónicas.

En el comienzo del libro, cuando Viollet intenta una aproximación a su idea de arte, quedan perfectamente definidos los dos extremos dialécticos entre los que oscilarán permanentemente sus propuestas: la *racionalidad* del hecho constructivo como evidencia objetiva y la *sensibilidad* artística orientada por la belleza y las leyes de la naturaleza<sup>18</sup>.

De esta manera, Viollet fija los parámetros de su propio método de estudio de la historia de la arquitectura, un enfoque apoyado en lo racional de su esencia, su estructura, sus métodos y sus transformaciones a partir de las *necesidades* y los *medios* disponibles<sup>19</sup>. Así, inevitablemente, el estilo en arquitectura acaba identificándose con la idea de

---

<sup>16</sup> VIOLLET-LE-DUC, Eugène-Emmanuel, *Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du XIe au XVIe siècle*, Paris, 1854-1868.

<sup>17</sup> VIOLLET-LE-DUC, Eugène-Emmanuel, *Entretiens sur l'architecture*, Edition intégrale: tomes 1+2, Bruxelles, Pierre Mardaga éditeur, 1986. (Originalmente publicada en dos tomos, Tome Premier, Paris, A. Morel et Cie. Éditeurs, 1863, Tome Deuxième, Paris, Vie. A. Morel & Cie., Libraires-Éditeurs, 1872)

<sup>18</sup> "Nous posons donc en principe que l'art est *un* comme la morale est *une*, comme la raison est *une*"... "qui font reconnaître la présence de l'art, ce sentiment exquis qui sonnet toutes les formes à la raison, non point à la raison sèche et pédant du géomètre, mais à la raison dirigée par les sens et par l'observation des lois naturelles." (VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, p.22)

<sup>19</sup> VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, p.148.

*necesidad satisfecha* ya esbozada en el capítulo anterior. Es decir, la arquitectura sólo tiene sentido cuando es capaz de expresar un *principio* generador<sup>20</sup>.

La conocida adhesión de Viollet-le-Duc a la arquitectura de la Edad Media no se limita sólo al descubrimiento de las libertades y posibilidades de la estructura *elástica* respecto a los sistemas pasivos romanos, sino que implica en alguna medida toda esta nueva actitud en relación a los problemas de la forma arquitectónica. De igual manera Viollet subrayará todo el ingenio medieval aplicado a los sistemas constructivos, partiendo de la concurrencia de sencillos métodos geométricos y criterios de repetición modular, derivados en gran medida de este espíritu racional<sup>21</sup>. El método de la *ciencia experimental*<sup>22</sup> como sistema de trabajo será, pues, un instrumento fundamental con el que enfrentarse a la rigidez academicista.

A partir de aquí, no deben extrañarnos sus ataques a la simetría como sistema de composición<sup>23</sup>, su defensa de la *sinceridad* del sistema gótico primitivo o su concepto acerca de la decoración en arquitectura<sup>24</sup>. Todos estos revolucionarios enfoques de los temas clave de la arquitectura no son otra cosa que la expresión de esta desprejuiciada manera de entender el fenómeno de la forma arquitectónica.

Una nueva idea de la arquitectura comienza a gestarse cuando Viollet afirma que

---

<sup>20</sup> "Le style réside uniquement dans l'expression vraie et sentie d'un principe et non dans une forme immanuable;..." (VIOLLET-LE-DUC, *op. cit.*, p.183)

<sup>21</sup> Viollet se muestra partidario del sistema de proporciones basado en la utilización del triángulo generador egipcio (triángulo equilátero y triángulo rectángulo de lados 3-4-5). En el *Neuvième Entretien*, describe numerosos ejemplos de la utilización de esta figura generadora en la antigüedad, edad media y en la arquitectura bizantina. En este mismo *Entretien* realiza además un estudio de los perfiles de partes arquitectónicas en relación a su trazado y las condiciones físicas y estéticas. (VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*)

<sup>22</sup> Viollet cita expresamente el *Compendium philosophie* de Roger Bacon (1267) como referencia de su método de trabajo. (VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, p.461)

<sup>23</sup> Para Viollet-le-Duc, la unidad no significa uniformidad ni simetría. Desde sus *Entretiens...* defenderá un método que el denomina "ley de ponderación de las masas" en contraposición a la simetría como único recurso compositivo. (VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, pp.477-483)

<sup>24</sup> Viollet plantea el tema de la decoración como una integración armónica y racional con la estructura, en donde intervienen activamente factores como la naturaleza de los materiales y las leyes de la percepción. Pone como ejemplo de esta integración la decoración de la arquitectura oriental cuando afirma ".....c'est qu'en effet jamais cette décoration chez eux, ne vient voilier l'idée; au contraire, elle l'appuie toujours avec énergie; elle en est le corollaire; il faudrait dire, tout d'abord, que l'idée ne leur fait jamais défaut." Resulta sumamente novedosa, entonces, esta ampliación del concepto de decoración en arquitectura que hace Viollet: las formas decorativas expresan la "idea" de la obra y la decoración se manifiesta desde la planta misma, desde la primera concepción del edificio debida a la interpretación de un programa. (VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, p.200)

"L'art consiste précisément, en architecture, à savoir revêtir tout objet d'une forme appropriée à cet objet, no point à faire une boîte monumentale pour chercher, après coup, comment on pourra disposer les objets dans cette boîte."<sup>25</sup>

Es ésta la idea de una forma que nace de dentro hacia afuera, una forma que debe responder de una manera casi *orgánica* a una serie de *principios* generadores y que es materializada a partir de unas técnicas y unos medios disponibles. Viollet-le-Duc construye a partir de estos conceptos el gran edificio de la arquitectura racional, del que arquitectos como Gaudí se servirán para delinear su propia idea de la arquitectura.

La obra de Choisy coincide con la de Viollet-le-Duc en el punto de partida antiacadémico respecto a la interpretación de la arquitectura del pasado. En la introducción de su primera obra, aparecida en 1873<sup>26</sup>, ya puede perfilarse con claridad esta nueva actitud cuando critica abiertamente la interpretación romántica de las visitas arqueológicas promovidas por la Academia en Roma<sup>27</sup>.

Choisy introduce en la interpretación histórica de la arquitectura el punto de vista del ingeniero, tradicionalmente excluído de las disciplinas "artísticas" y de la arqueología. Desde su punto de vista, la labor del ingeniero resulta esencial como un aporte a la comprensión racional del fenómeno constructivo y estructural<sup>28</sup>.

Podríamos afirmar que la historia de la construcción de la arquitectura para Choisy es básicamente una historia de las necesidades técnicas y los medios para satisfacerlas con el mínimo esfuerzo. De esta manera, su descripción de la arquitectura romana pasa a ser

---

<sup>25</sup> VIOLLET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, p.274.

<sup>26</sup> CHOISY, Auguste, *L'Art de bâtir chez les romains*, Paris, Librairie Générale de l'Architecture et des Travaux Publics, Ducher et Cie., 1873.

<sup>27</sup> "Une semblable revue des méthodes abandonnées n'offrirait pas seulement le vague intérêt qui s'attache aux origines de l'industrie humaine: la construction telle que nous la font entrevoir les détails disséminés dans les descriptions des ruines, semble ingénieuse autant qu'elle est puissante; elle résume une longue et laborieuse expérience consacrée par des monuments qui ont subi l'épreuve des siècles; elle permet d'apprécier l'étendue et la nature des ressources dont les anciens peuples ont fait usage, le développement que les sciences appliquées avaient pris de leur temps..." (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, p.2)

<sup>28</sup> Hablando de las técnicas constructivas del imperio romano, Choisy no duda en reclamar esta participación en el proceso interpretativo de la historia.

"...il me sembla que l'histoire de ces monuments envisagés au point de vue de l'art de l'ingénieur, pouvant se faire aisément et s'exposer sans confusion, si l'on profitait, pour mettre quelque unité dans le travail, de l'étroite liaison qui rattache en général les détails de la construction romaine aux principes qui régissent l'établissement des voûtes." (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, p.4)

una afirmación conceptual de lo que el ingeniero francés entiende por *economía* del proceso arquitectónico en su conjunto<sup>29</sup>. Esta noción de economía, en su sentido más general podría asimilarse, como hemos visto, a la idea de *necesidad satisfecha* ya proclamada por Viollet-le-Duc en sus escritos y, años más tarde, será la clave interpretativa de los fenómenos naturales a partir del concepto de *aptitud* enunciado por D'Arcy Thompson.

En absoluta coherencia con sus planteamientos metodológicos, las ilustraciones de Choisy reflejan esta nueva actitud frente a la indagación de la forma arquitectónica. El objeto arquitectónico es de esta manera reducido a un fragmento inteligible y literalmente "explotado" para poner de manifiesto su compleja realidad constructiva. Choisy no duda en situar espacialmente el objeto de su estudio fuera de toda realidad perceptual o estéticamente codificada, sometiéndolo a unos puntos de vista y encuadres verdaderamente novedosos para la historia de la arquitectura. Sus célebres axonométricas -inspiradas indudablemente en los dibujos de ingeniería militar- incluirán en sus característicos *despiezos* no sólo la descripción de la complejidad interior de su materialización sino además los elementos que son transitorios o auxiliares en el proceso de la obra como las cimbras, puntales, etc<sup>30</sup>. Aparecen de esta manera fundidos en un único esquema conceptual la materialización arquitectónica y los medios que la hicieron posible, aunque estos últimos hayan desaparecido inmediatamente después del hecho constructivo (Fig.1).

Este método de investigación, iniciado con absoluta rotundidad en su primera obra, es utilizado por Choisy en todos sus trabajos posteriores y encuentra su mayor exponente en la *Histoire de l'Architecture*<sup>31</sup>, sin duda su obra más ambiciosa.

La *Histoire...* es una obra de gran complejidad que admite lecturas simultáneas en donde se entrecruzan las referencias político-sociales, los sistemas de proporciones, los

---

<sup>29</sup> "...l'esprit des Romains répugnait à l'adoption de tout procédé complexe, de toute marche détournée. Les efforts matériels leur coûtaient peu, et nulle part ils ne les ont éparqués dans les parties durables de la bâtisse, mais nulle part aussi ils ne les ont dépensés qu'à regret pour des ouvrages provisoires; la règle qu'ils suivirent fut au contraire d'utiliser de la façon la plus simple en travaux permanents l'ensemble des ressources affectées à l'exécution de leurs édifices." (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, p.7)

Resulta ilustrativo seguir la manera en que Choisy va relatando, unas páginas más adelante, la evolución gradual que experimenta el sistema constructivo de las bóvedas romanas. Este proceso, que comienza con la construcción de bóvedas a "juntas convergentes" y acaba con las bóvedas macizas de hormigón, es relacionado directamente con el problema que implicaba la utilización de cimbras de madera debido a la necesidad de una mano de obra especializada. (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, pp.31-60)

<sup>30</sup> No casualmente, un tipo de dibujo de estas características fue empleado por Viollet-le-Duc para ilustrar algunos detalles constructivos de su *Dictionnaire...* En un dibujo como el de la Fig. se puede observar el rigor descriptivo empleado por Viollet para relatar el completo proceso de la obra.

<sup>31</sup> CHOISY, Auguste, *Histoire de l'Architecture*, Tomos I y II, Poitiers, Inter-Livres, 1991 (Ed. original, Paris, A. Morel, 1863)

temas de estructura, construcción y ornamento. Ordenado por períodos históricos que van desde la prehistoria hasta el renacimiento, el libro se organiza en capítulos que abordan de una manera absolutamente sistemática cada uno de estos temas. Sin embargo, en la manera en que están ordenadas estas secciones de cada capítulo -y en relación al espacio que ocupan dentro del conjunto- se puede verificar con facilidad el enfoque global que plantea Choisy: a partir de un encuadre histórico-social que define una visión de contexto se pasa inmediatamente a las consecuencias constructivas y estructurales del fenómeno arquitectónico. Los aspectos estéticos y funcionales quedan relegados así a un segundo plano y dependiendo en alguna manera de este proceso material de construcción arquitectónica. De esta manera, su historia de la arquitectura se va conformando como una suerte de trama que, en direcciones simultáneas, atraviesa los distintos períodos históricos teniendo siempre como referencia el fenómeno constructivo. Podemos así seguir cualquiera de estas direcciones y comprender en gran medida la complejidad del hecho histórico en su conjunto a través de un proceso lógico de pensamiento.

Continuando con este razonamiento, se podría decir que la historia de la construcción de la arquitectura será en gran medida para Choisy la historia de la construcción de la bóvedas, su evolución y sus avatares constructivos. Desde la forma más primitiva de abovedar en base al deslizamiento progresivo de las piedras o los ladrillos hasta las complejas estructuras elásticas de las bóvedas góticas nervadas, Choisy nos describe un fascinante proceso en donde se funden los conceptos geométricos de generación, las tecnologías disponibles y el espíritu práctico de los constructores. Para el ingeniero francés, las valoraciones estéticas de las obras del pasado no pueden entenderse desconectadas de este proceso racional. Desde este punto de vista, los trazados y sistemas de proporciones utilizados desde Mesopotamia quedan reducidos a una serie de conceptos geométricos elementales que van adquiriendo distintos matices en función de las necesidades propias de cada período<sup>32</sup> (Fig.2).

Tanto Choisy como Viollet-le-Duc serán incondicionales admiradores de la racionalidad de los sistemas constructivos del medioevo. Para el primero, el nuevo concepto de estructura *elástica* del período gótico representa una clara innovación respecto al modelo monolítico romano desde el punto de vista de la flexibilidad operativa<sup>33</sup>.

---

<sup>32</sup> Sobre este tema volveremos más adelante, pero resulta bastante significativa la trascendencia que Choisy otorga a la utilización del triángulo de lados 3-4-5 para el trazado de perfiles y la importancia que tiene en la operatividad del proceso de obra para determinar alineaciones, perpendicularidades, etc. (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, cap.II)

<sup>33</sup> "L'architecture gothique supprime toute question d'appareil en ajoutant à la voûte romane une nervure sous chaque arête; la voûte gothique n'est autre chose qu'une voûte d'arête où les panneaux sont indépendants et supportés par des nervures."... "Un mérite du mode de construction que nous venons de décrire est la flexibilité avec laquelle il s'accommode aux plans les plus divers, au besoin aux plans les plus complexes.

Viollet, en cambio, pondrá el acento en las relaciones que esta estructura establece con la decoración<sup>34</sup> e irá un poco más allá al proponer una aplicación de los principios estáticos de las estructuras equilibradas del sistema gótico en audaces proyectos de su propia invención<sup>35</sup>.

Viollet y Choisy serán, pues, dos baluartes fundamentales de este nuevo *espíritu racional* que, pasando por sobre cuestiones de gusto y tradición, plantearán la realidad de la forma arquitectónica desde su propia lógica interna y sus mecanismos de generación y producción material.

### *Antoni Gaudí: la construcción racional.*

La influencia de las ideas de Viollet-le-Duc en el Gaudí de la primera época es un tema que hoy nadie pone en duda. A pesar de que Bergós, en su biografía del arquitecto, indique que le consta que la obra de Viollet más leída por Gaudí era el *Dictionnaire...* y no los *Entretiens...*<sup>36</sup>, creemos que la influencia de esta última fue decisiva para la formación del joven Gaudí. El propio arquitecto deja testimonio de esta temprana influencia cuando cita expresamente la lectura de los *Entretiens...* en un diario y en el

---

Quel que soit le contour, au moyen de supports isolés on arrivera toujours à établir un réseau de nervures, et les mailles se rempliront ensuite à l'aide de panneaux d'une exécution facile." (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, pp.268-284)

<sup>34</sup> Si, para Viollet-le-Duc, en la Edad Media se recobra el estrecho vínculo *estructura-decoración* de los griegos, en el Renacimiento, en cambio, se pretende recrear el concepto romano de una *piel* decorativa independiente de la estructura con los sistemas constructivos de la Edad Media. Interesante es, en este aspecto, la crítica que hace Viollet a la arquitectura del siglo XVI, en donde los procedimientos de corte de las piedras eran bien diferentes a los de la Edad Media. Al no existir la necesidad del corte de las piezas en la propia obra, se fue perdiendo paulatinamente la relación de la sillería con los miembros arquitectónicos. (VIOUET-LE-DUC, E.E., *Entretiens...*, *op. cit.*, *Huitième Entretien*)

<sup>35</sup> A partir del concepto de estructura elástica tomada de la Edad Media -en contraposición de la estructura pasiva de los romanos- Viollet desarrolla una serie de propuestas arquitectónicas aplicando combinaciones de hierro, piedra y albañilería. En ellas utiliza el hierro sin condicionantes estilísticas *a priori*, siguiendo las líneas de presión estáticas en combinación con la mampostería de las bóvedas y las paredes de piedra o ladrillo. Viollet se anticipa notablemente al racionalismo arquitectónico al proponer un sistema de bóvedas con apoyos articulados en hierro de fundición concebidos como piezas industrializadas y ensambladas en obra. (VIOUET-LE-DUC, E.E., *op. cit.*, pp.80-84)

<sup>36</sup> BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, *op. cit.*, p.24.

manuscrito de Reus<sup>37</sup>.

No es objetivo de esta tesis el hacer un análisis de las relaciones entre las ideas de Viollet-le-Duc y la obra de Gaudí -un trabajo interesantísimo que, por cierto, aún no ha sido realizado en profundidad. No obstante, lo que sí vamos a hacer, en cambio, es intentar un paralelo entre este *sentido racional* que impregnaba la obra de personajes como Viollet y Choisy y las estrategias de producción de formas arquitectónicas utilizadas por Gaudí de una manera más o menos consciente.

La influencia de Auguste Choisy sobre el pensamiento y la obra de Gaudí no es tan directa ni está documentada como en el caso de Viollet-le-Duc. Sin embargo, creemos que no debe desestimarse el papel que desempeña en la formación artesana de Gaudí una obra tan vinculada a la realidad de la forma construída como la de Choisy.

No está demostrado que la obra de Choisy haya sido leída directamente por el propio Gaudí, o al menos no está recogido en ningún testimonio oral o escrito<sup>38</sup>. Lo que sí parece evidente es que el arquitecto recibió esta influencia de una manera indirecta probablemente a través de sus estudios de las técnicas de construcción y los materiales. Un poco más adelante tendremos la oportunidad de ver cómo la enseñanza de las asignaturas relacionadas con los temas de construcción y mecánica que se impartían en la Escuela de Arquitectura en tiempos de Gaudí estaba marcadamente influída por los planteamientos de Choisy. De la mano de profesores como Leandre Serrallach, Juan Torras Guardiola, Antoni Rovira i Rabassa o August Font Carreras, la doctrina entre lírica y racional de Viollet-le-Duc se funde con un profundo conocimiento de las posibilidades mecánicas y físicas de los materiales, de manera que -tal como lo concibió Choisy- los métodos constructivos son el resultado de un proceso racional que vincula los procedimientos geométricos con la *aptitud* de los materiales y los medios disponibles.

Esta influencia decisiva de la obra de Choisy en los programas de enseñanza de las asignaturas técnicas de la escuela puede detectarse no sólo en el ordenamiento conceptual de los temas sino, inclusive, en la terminología empleada y los ejemplos elegidos. Un documento esencial a este respecto son los *Apuntes de construcción* de Joaquín Bassegoda

---

<sup>37</sup> En la sección del manuscrito de Reus dedicada a la ornamentación puede leerse:

"En el fondo algunas ideas expresadas lo estan el los l'Entretiens sur l'Architecture pero no todo debe sugetarse á la necesidad el problema,..." (BASSEGODA NONELL, Juan, *El gran Gaudí*, op. cit., p.80) De los extractos del *Dietario de Antonio Gaudí (Fragmentos, 1876-1879)* publicados por Casanelles, destaca una referencia directa:

"Lectura de Viollet-le-Duc: "Entretiens sur l'Architecture". (CASANELLES, Enric, *Nueva visión de Gaudí*, Barcelona, Ed. Polígrafa, 1965)

<sup>38</sup> No debemos olvidar que la primera publicación del *L'Art de bâtir chez les Romains*, en donde ya estaban fijados claramente los principios y metodología de estudio de Choisy, aparece en el año 1873, o sea un año antes de que Gaudí comenzara sus estudios en la Escuela Provincial de Arquitectura.

Amigó, en donde se recogen las clases que éste daba cuando era auxiliar en la cátedra de Leandre Serrallach, al que sustituirá años más tarde<sup>39</sup>. En estos apuntes, las referencias tanto a Choisy como a Viollet-le-Duc pueden seguirse con facilidad en las lecciones dedicadas a las bóvedas y sus antecedentes históricos en donde, incluso, se llega a citar expresamente a estos autores<sup>40</sup>.

Si leemos detenidamente el propio manuscrito de Reus, en muchos pasajes del texto podremos comprobar la temprana adhesión de Gaudí a los principios sustentados por los tratadistas franceses. De una primera lectura surgen inmediatamente los tramos del escrito en que es evidente la influencia de los ideales de Viollet respecto a los nuevos valores de la arquitectura en relación a los objetivos "estético-morales" y a la idea de estilo, uso y tratamiento de los materiales<sup>41</sup>.

Sin embargo, en relación con nuestro estudio, nos interesa más profundizar sobre una segunda lectura del texto del manuscrito. Esta lectura pone de relieve la atención

---

<sup>39</sup> Estas lecciones se suponen escritas entre el período de tiempo que el autor es auxiliar de Leandre Serrallach i Mas en la Escola Provincial d'Arquitectura en la asignatura "Conocimiento y Aplicación de los Materiales de Construcción" y cuando lo sustituye como profesor de la misma asignatura en los años 1886 a 1890. (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *Apuntes construcción*, manuscrito mecanografiado y encuadernado en tres tomos, Barcelona, depositado en la Cátedra Gaudí)

<sup>40</sup> Es sugerente, en este sentido, la aparición a lo largo del escrito de algunas palabras en francés tomadas del léxico de Choisy o traducidas directamente. De esta manera, la palabra *encorbellement* aparece en más de una oportunidad (Lección 32, *Bóvedas. Concepto exacto de esta construcción*, p.272) o se denomina como bóvedas "concrecionadas" a las bóvedas pasivas de la arquitectura romana (Lección 34, *Bóvedas romanas*, p.292). En general, las lecciones dedicadas a las bóvedas de la antigüedad siguen unos contenidos muy propios de Choisy, especialmente en las lecciones 34 y 35 dedicadas a las bóvedas romanas y las bizantinas. Más adelante, en la lección 35 (*Bóvedas de ladrillo*) Bassegoda Amigó cita expresamente a Choisy cuando habla del paso de las bóvedas adoveladas del románico a las bóvedas nervadas góticas (p.344). En las lecciones dedicadas a las bóvedas nervadas se cita además la referencia a Viollet-le-Duc en más de una oportunidad (Lección 42, *Bóvedas de crucería*, pp.354-357)

<sup>41</sup> En el escrito sobre *Hornamentación* abundan los pasajes en donde esta referencia resulta bastante clara. Citamos uno de ellos a modo de ejemplo.

"La primera cualidad que ha de tener un objeto para ser bello es cumplir con el objeto á que está destinado no como si reunieramos los problemas resueltos por separado y recopilarlos para darnos un resultado etherogéneo si tendiendo á alcanzar una solucion de unidad que atienda á las condiciones materiales del objeto a su uso al caracter y sintetizado y sabidas las buenas soluciones, tomar la resolucion mas adecuada al objeto de lo que se desprende que hay que atender al uso, al Carácter y a las Condiciones Físicas.

Uso. el uso puede decirse son los moviles de la creacion del objeto, el caracter es la definicion de las circunstancias estetico morales y las condiciones físicas son las que tienen á las materiales de durabilidad, conservación, etc."... "Las formas exteriores han de ser trasunto de las interiores, encima grandes pilares pueden levantarse arcos y bovedas de formas equilibradas nervios de ladrillo y enjutas de mampostería ó tabicadas..." (BASSEGODA NONELL, Juan, *El gran Gaudí*, op. cit., p.75)

prestada por Gaudí a los problemas derivados del hecho constructivo en relación a los temas socioeconómicos, las aplicaciones tecnológicas y los medios de producción más adecuados a estos condicionantes.

En el segundo de los escritos del manuscrito ya se empieza a percibir la influencia de los planteamientos sociales en relación con los medios materiales de producción. Para Gaudí el resultado formal de la arquitectura de un determinado período de la edad media es más una cuestión económico-social que de estilo<sup>42</sup>.

Un poco más adelante Gaudí precisa aún más su objetivo al poner el acento en los procedimientos constructivos y los medios disponibles como único recurso a una arquitectura *sincera* y *económica*<sup>43</sup>. Estas primeras impresiones acerca del protagonismo que asumen los procesos constructivos en la producción de la arquitectura definirán en buena medida la futura labor del arquitecto. Para Gaudí el hecho constructivo es tan determinante que se sitúa incluso por encima de los problemas de estructura<sup>44</sup>, relativizando de esta manera las posibles asociaciones ingenieriles de su obra<sup>45</sup>.

Cuando Gaudí afirma que "El sentit constructiu ha de manar el sistema d'equilibri"<sup>46</sup>, está asumiendo no sólo una clara cuestión de jerarquías sino también una actitud decididamente pragmática en relación con el fenómeno de la creación de formas arquitectónicas. De aquí seguramente su marcada aversión hacia la tendencia de los

---

<sup>42</sup> "En la edad media (los escasos restos) la estension era ya un hecho del que no se podia precindir, ya que no se volvio a la costosa ejecucion pero la parca retribucion de los jornales permitio una infinidad de delicados detalles que venian á tapizar aquellos monumentos. En la actualidad ni podemos emplear profusamente la mano de obra en los detalles ni mucho menos podemos volver á las construcciones de la justaposicion, no solo por ser hoy otros los usos sino por no tener los elementos de trabajo de aquel entonzes." (BASSEGODA NONELL, Juan, *op. cit.*, p.73)

<sup>43</sup> "Pues si actualmente la mano de obra es cara y todavia es preciso suprimirla solo los procedimientos pueden economizarla que lo demas seria mutilacion y no economia, todo se cifra en emplear abundantemente lo que es de facil adquisicion y suprimir ó emplear escasamente lo de costosa adquisicion." (BASSEGODA NONELL, Juan, *op. cit.*, p.73)

<sup>44</sup> "El concepte d'estabilitat i el concepte de forma són separats; quan l'estabilitat i la forma convergeixen van paral·lelament, o divergeixen segons convé." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí*, *op. cit.*, p.152, citado en BERGÓS, Joan, *Conversaciones...op. cit.*, p.63)

<sup>45</sup> COLLINS, George R., "Antonio Gaudí: Structure and Form", *Perspecta* 8, New Haven, Yale Univ. School of Archit., 1963. TARRAGÓ, Salvador, "Entre la estructura y la forma", *A+U* 86, Tokio, dic. 1977.

<sup>46</sup> PUIG BOADA, Isidre, *op. cit.*, p.152, citado en BERGÓS, Joan, *Conversaciones...op. cit.*, p.64.

arquitectos hacia las abstracciones desprovistas de referentes materiales<sup>47</sup>.

Será quizá por este motivo que Gaudí prefiere trabajar directamente sobre la *materia*, sobre la propia sustancia de la arquitectura, soslayando en gran parte el proceso previo de conceptualización gráfica y asumiendo las limitaciones materiales impuestas por los procedimientos y los materiales de construcción. Para lograr este objetivo se valdrá de los recursos de la herramienta geométrica en su aplicación más directa sobre la propia materia a construir. Esta aplicación se podrá concretar gracias al empleo de un conjunto de estrategias geométricas de gran sencillez y efectividad.

## CONSTRUIR CON LADRILLOS

### *La tradición.*

Es un hecho conocido la predilección de Gaudí por la utilización del ladrillo como un componente esencial de su arquitectura. La preferencia del arquitecto por los tabicados de ladrillos queda reflejada tempranamente en el manuscrito de Reus, en principio justificado por sus ventajas económicas y resistentes<sup>48</sup>. Lo cierto es que, la evolución de la construcción arquitectónica en Gaudí no tendría mucho sentido separada de los tabicados, un sistema constructivo que experimentó profusamente, llevándolo en muchas ocasiones hasta sus propios límites mecánicos y plásticos.

Históricamente, se sabe que los romanos fueron en alguna medida los precursores de esta técnica para la construcción de bóvedas, aunque por aquel entonces resultaba un medio auxiliar de las bóvedas pasivas y, por tanto, no era utilizada aprovechando todas sus propiedades.

En realidad, a principios del siglo pasado esta técnica ya era descrita en algunos importantes tratados de construcción como el de Rondelet<sup>49</sup>, pero será Choisy unos años después el que mejor describirá el origen y proceso constructivo de estas bóvedas en el ya

---

<sup>47</sup> "Los arquitectos que no tienen sentido plástico y constructivo, y los quieren suplir con la abstracción científica, trabajan en vano." (BERGÓS MASSÓ, Juan, *op. cit.*, p.158)

<sup>48</sup> Más adelante, más sobre este tema:  
"La construcción económica que nuestra época indudablemente es el hormigón para macizos y para cubrir el empleo de Bovedas tabicadas de varios gruesos según la luz y demás condiciones de resistencia,..." (BASSEGODA NONELL, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, *op. cit.*, p.79)

<sup>49</sup> RONDELET, Jean, *Traité théorique et pratique de l'Art de bâtir*, Dixième Édition, Paris, 1855, Livre Quatrième, Chapitre deuxième, *Vôutes formées avec des briques posées de plat et maçonnées en plâtre*, pp.283-293. (Edición original, Paris, 1802)

citado *L'Art de bâtir chez les romains*.

En el capítulo segundo de la primera parte de este libro<sup>50</sup>, en la sección *Voutes sur armatures en briques a plat*, se describe con gran detalle por vez primera el sistema constructivo de bóvedas que dará origen a las denominadas bóvedas tabicadas y que será de referencia obligada en muchos tratados de construcción posteriores. En nuestro medio, esta influencia será fácilmente detectable, tal como veremos seguidamente, en los estudiosos más importantes de la bóveda catalana como Basegoda Amigó, Basegoda Musté, Bergós, etc.

Según Choisy, el origen del sistema de bóvedas tabicadas aparece cuando se utilizan los ladrillos de plano en el intradós de la bóveda romana para que cumplan la función de una especie de cimbra permanente que soportará el hormigonado posterior. Para el autor, esta función de los ladrillos haciendo las veces de una *cimbra-armadura* puede tener su origen en la basílica de Constantino, en donde fueron colocados grandes ladrillos en los espacios del reticulado, formado por los arcos y los nervios longitudinales, para que luego fueran rellenados con mampostería. Este sistema evolucionará posteriormente hacia una mayor simplicidad, eliminándose progresivamente los arcos para las dimensiones reducidas y creándose una auténtica "hoja" de ladrillos de plano que luego trabajaría solidariamente con el hormigón<sup>51</sup> (Fig.3).

En las soberbias ilustraciones de este libro de Choisy se puede seguir el proceso que recoge la gradual reducción de cimbras y que acaba con la descripción de un simple entablonado que sigue las directrices de la bóveda, sirviendo como apoyo de los grandes ladrillos romanos dispuestos de plano.

La llegada de esta técnica del ladrillo a Cataluña es evidente en el medioevo, aunque autores como Bergós sostienen una sugerente hipótesis que supone una presencia

---

<sup>50</sup> CHOISY, Auguste, *L'Art de bâtir...*, op. cit., Chapitre II: Les voutes concrètes, pp.31-60.

<sup>51</sup> El texto que describe el método utilizado por los romanos para la construcción de estas bóvedas es el siguiente:

"Sur la surface convexe des cintres, on posait à plat une couche de ces grandes briques carrées dont les dimensions les plus ordinaires étaient 2 pieds romains de côté (0m,60) sur 4 à 5c. d'épaisseur. Ces grandes briques, maçonnées au moyen d'excellent plâtre ou de mortier à prise rapide, faisaient sur toute la convexité du cintrage comme un enveloppe mince et sans lacunes, qui é pousait la forme de l'intrados et présentait l'aspect d'une sorte de carrelage courbe.

Ce carrelage constituait quelque fois à lui seul toute l'armature d'une voûte; ordinairement on lui en superposait un second tout semblable, mais construit en briques de moindre dimension, et qui formait sur le plancher courbe des cintres une deuxième enveloppe soudée a la première par l'intermédiaire d'un lit de plâtre ou de mortier." (CHOISY, Auguste, *op. cit.*, p.60)

anterior de estos tabicados cerámicos en relación con la influencia morisca en Lleida<sup>52</sup>.

Uno de los autores que ha estudiado con más profundidad los orígenes y la técnica constructiva de las *voltes de maó de pla* ha sido, sin embargo, Buenaventura Bassegoda Musté. En una conferencia leída en noviembre de 1952<sup>53</sup>, que complementa en alguna medida su comunicación titulada *La Bóveda Catalana* aparecida en 1946, Bassegoda Musté sugiere una vía de entrada de la técnica constructiva de las bóvedas tabicadas a través de las colonias romanas de la Provenza y un posterior afianzamiento renacentista en Italia<sup>54</sup>. La llegada a Cataluña podrá ser detectada en la plentería gótica tabicada con rasillas y aligerada con el característico enjutado de alfarería doméstica, tal como se puede ver en *Santa María del Mar* o la *Basílica del Pi*, por citar algunos ejemplos de Barcelona<sup>55</sup>. Bassegoda Musté atribuye el arraigo de esta técnica del ladrillo como una prolongación del hacer tradicional de los albañiles decantado por las colonias romanas. Lo cierto es que durante el seiscientos, en casi toda la península ibérica se construyen bóvedas según la técnica de los tabicados, a pesar que un siglo más tarde este sistema vive su peor momento al ser duramente criticado por ser estimado poco seguro debido a su esbeltez<sup>56</sup>. Sin embargo, las posibilidades de flexibilidad y la ductilidad que puede ofrecer una técnica constructiva como ésta no tendrá comparación con cualquier otro sistema constructivo

---

<sup>52</sup> El aporte personal de Bergós a la historia de la bóveda catalana vendrá a la hora de establecer una hipótesis, algo más sólida que la de otros autores, respecto a la influencia morisca en Cataluña. Bergós señala a Lleida como un punto clave en donde, después de la reconquista de 1138, la antigua cultura sarracena permanece en las artes de la construcción y pone como prueba de ello el testimonio escrito de documentos de la época. (BERGÓS MASSÓ, Juan, *Tabicados huecos*, Barcelona, Colegio Oficial de Arquitectos de Cataluña y Baleares, 1965, p.8)

<sup>53</sup> BASSEGODA MUSTÉ, Buenaventura, "Bóvedas tabicadas", 1952, en BASSEGODA NONELL, Juan, *Aproximación a Gaudí*, op. cit., pp.111-129.

<sup>54</sup> Bassegoda Musté no duda en atribuir la paternidad romana de las bóvedas tabicadas en su conferencia, aprovechando de esta manera para hacer explícita su admiración por Choisy: "Desde el momento en que los romanos doblan, para reforzarla, la cimbra cerámica permanente, típica de las grandes bóvedas concretas de las termas de Caracalla, queda inventado el sistema tabicado. ¡Cuán sugestivas son, al respecto, las láminas de Choisy, en su obra monumental "L'art de bâtir chez les Romains"!". (BASSEGODA MUSTÉ, B., op. cit., p.115)

<sup>55</sup> Existen innumerables ejemplos en toda Cataluña, entre los más importantes podemos citar el Hospital de Santa María y el monasterio de las *Santes Creus* en Lleida, la Torre del Prior y el *joc de pilota* en Poblet o el *Saló del Tinell* y el hospital de la *Santa Creu* en Barcelona.

<sup>56</sup> BASSEGODA MUSTÉ, Buenaventura, *Algunos ensayos sobre técnica edificatoria. La bóveda catalana*, Barcelona, Cátedra de estructuras de la ETSAB, Seix y Barral, 1974, p.133.

contemporáneo<sup>57</sup>.

El resurgir de la técnica de los tabicados cerámicos a mediados del siglo pasado se deberá en gran medida a su difusión en los ámbitos universitarios, con una recién creada Escuela de Arquitectura que tiene su antecedente más inmediato en la enseñanza de las técnicas constructivas heredadas de la Escuela de Maestros de Obras.

### *Los maestros.*

La revalorización de las técnicas de los tabicados cerámicos dentro de las aulas de la Escuela Provincial se debe en gran medida al aporte de un grupo muy homogéneo de profesores que, inspirados por el ambiente neomedievalista de la época, intentan una revalorización de las técnicas tradicionales de construir dentro de un marco de fuerte eclecticismo. Tal como señala Basegoda Nonell, José Casademunt fue quizá el primer profesor que enseñó la construcción arquitectónica con método científico desde sus primeras clases de arquitectura en la *Llotja* barcelonesa<sup>58</sup>. Su posición frente a esta nueva manera de entender la arquitectura fue heredada en buena medida por sus discípulos Torras Guardiola, Rogent, Garriga y otros que infundieron una revitalización a la enseñanza de la arquitectura y la construcción en la Escuela Provincial.

Dos personajes clave en este período de la escuela que coincidió con el paso de Gaudí por sus aulas fueron, por diferentes motivos, Torras Guardiola y Leandre Serrallach.

De las clases de Juan Torras Guardiola<sup>59</sup> nos quedan algunos testimonios interesantes, como el de un manuscrito de Macario Planella cuando era alumno de la

---

<sup>57</sup> "Ese sistema, dijérase cartilaginoso, se adapta fácilmente a todas las formas geométricas, regladas, enviajadas, alabeadas. Se aplican entonces con profusión las típicas bóvedas pensiles para escaleras; estribadas unas en otras y en las citaras de caja, constituyen la solución más elegante y económica para sostener los peldaños de los tiros y los rellanos y descansillos, y, aún, con formas apechinadas pinjantes, cabe la supresión de uno o dos de aquellos muros. (BASSEGODA MUSTÉ, B., *op. cit.*, p.138)

<sup>58</sup> BASSEGODA NONELL, Juan, *Aproximación a Gaudí*, *op. cit.*, Arquitectos catalanes del siglo XIX, pp.227-265.

<sup>59</sup> *Juan Torras Guardiola (1827-1910)*

Desde 1856 fue profesor de la Escuela de Maestros de Obras hasta la extinción de este centro en 1869. Pasó a la Escuela Provincial de Arquitectura de Barcelona en calidad de profesor primero y luego como catedrático de "Mecánica y Estabilidad" desde su establecimiento en 1872 hasta su jubilación en 1897. De 1901 a 1905 fue director de dicho centro. (BASSEGODA NONELL, Juan, *op. cit.*)

Escuela de Maestros de Obra, aparejadores y agrimensores<sup>60</sup>.

Resulta interesante la manera en que Torras organiza los contenidos de su asignatura, un poco a la usanza de los tratados de la época, dividiéndolos en dos grandes bloques temáticos: las propiedades de los materiales y la construcción propiamente dicha. En esta última sección, destaca el espacio dedicado a las bóvedas, en donde comienza a perfilarse una de las características que será esencial para la comprensión del fenómeno constructivo desde un punto de vista racional e integrador.

El fuerte vínculo entre los recursos geométricos y las técnicas constructivas será un poco el hilo conductor de estas lecciones que, recogiendo en en alguna medida todo el pragmatismo de *paletes* y constructores, intentará una comprensión sistemática de las prácticas constructivas. Cuando la complejidad geométrica de la resolución práctica sobrepasa los límites de la asignatura, Torras vincula sus lecciones a las clases de Geometría Descriptiva<sup>61</sup>. De todas maneras, en la mayoría de los casos, las técnicas constructivas van acompañadas de breves pero precisos conceptos geométricos para solucionar los problemas de una manera sencilla y eficaz.

Un espacio importante dentro del grupo de lecciones sobre las bóvedas es el ocupado por las bóvedas de ladrillo, a las que el autor divide en dos grandes grupos: las bóvedas tabicadas y las bóvedas de rosca. En estas lecciones se advierte la importante relación que se intenta establecer entre el tipo de espacio a cubrir y la manera en que la bóveda es generada geoméricamente. De esta manera, se presenta al alumno como una necesidad fundamental en el proceso de aprendizaje el conocimiento exhaustivo de los medios auxiliares de la obra, como los diferentes sistemas de cimbrado o la confección de plantillas para su utilización en obra<sup>62</sup>. Incluso el planteamiento de problemas de una cierta complejidad geométrica como es la construcción de una bóveda en *punte oblicuo*

---

<sup>60</sup> PLANELLA y ROURA, Macario, *Lecciones de construcción. Explicadas por el catedrático D. Juan Torras, arquitecto por la Real Academia de S. Fernando*, manuscrito, Cuarta asignatura de la carrera de Maestros de Obras, aparejadores y agrimensores, Tomo I: Lecciones, Tomo II: Atlas, Año 1860, depositado en la Cátedra Gaudí.

<sup>61</sup> Este es el caso típico de las lecciones de construcción de bóvedas adoveladas en piedra, en donde Torras advierte que los temas de "despiezo y claves" de las bóvedas no corresponden a esta asignatura sino a "Geometría descriptiva". (PLANELLA, Macario, *op. cit.*, Lección 43)

<sup>62</sup> En la Lección 44 (*Construcción de las bóvedas tabicadas*) se describen los diferentes métodos de cimbrado, en donde se destaca que, por lo general, estas bóvedas se pueden construir con cerchas guías y reglas, sin necesidad de mucho gasto en cimbrado. En la bóveda de cañón, la cercha será "movible", en la bóveda de arista se colocarán cerchas a las aristas y en las bóvedas vaídas las plantillas se colocarán diagonalmente y se agregarán "cuatro medias plantillas en la clave para marcar las pechinas" (PLANELLA, Macario, *op. cit.*, p.201)

es presentada aquí con gran sencillez y operatividad<sup>63</sup>. De igual manera es frecuente la descripción de simples métodos a partir de curvas catenarias para el trazado de bóvedas, un sistema que, como sabemos, será abundantemente utilizado por Gaudí<sup>64</sup>. A partir de este testimonio escrito de las clases de Torras Guardiola podemos empezar a comprender la forma en que esta manera de entender la práctica de la construcción se irá acomodando a las nuevas aspiraciones pedagógicas de la Escuela de Arquitectura y la influencia que ejercerá en la formación de los arquitectos de la época.

El caso de Leandre Serrallach es de gran importancia para nosotros por un doble motivo: porque nos permite comprobar la pervivencia de una estructura didáctica en las asignaturas de construcción y por la relación que tuvo con Antoni Gaudí al trabajar éste último como ayudante en su despacho cuando era estudiante<sup>65</sup>.

Serrallach fue catedrático de la asignatura "Conocimiento y aplicación de los Materiales de Construcción" desde la creación de la Escuela Provincial en 1871<sup>66</sup>. Una

---

<sup>63</sup> "Cuando se nos presente un puente a esviaje, la bóveda no será conveniente que se construya como las rectas pues las hiladas no tendrían trabazón y sería fácil que se viniera abajo, así es que se hace que la dirección de las juntas o hiladas sea helizoidal, para el trazado de dichas hiladas, se colocará la cimbra, y sobre ella, una regla flexible, perpendicular al arco, y se la hará tomar la curvatura de la cimbra, observándose que trazará una serie de líneas helizoides." (PLANELLA, Macario, *op. cit.*, p.210)

<sup>64</sup> Este sistema de trazado se utilizó frecuentemente por los constructores catalanes para la construcción de arcos de escaleras en bóveda tabicada.

"El arco se traza a pulso, o bien se dibuja una cadenaria (sic) y se traslada inversamente, después de fijados los peldaños y mesillas, los peldaños se empiezan por abajo, y se les coloca una zanca para recibir la barandilla." (PLANELLA, Macario, *op. cit.*, p.217)

La prueba de que este método ya era una tradición asentada en la construcción de bóvedas tabicadas lo tenemos en el texto del tratado de Manuel Fornés y Gorrea, un arquitecto neoclásico nacido en Valencia que recopiló un conjunto de técnicas constructivas en un tratado de gran difusión en España.

"Tírese la diagonal a. b. de un extremo á otro, donde se ha de apoyar la bóveda. Se tomará un cordel flexible ó cadenilla de hierro, ó cosa que tenga peso: se fijará en los dos extremos a. b., dejándola colgar hasta el punto que se le quiera dar de monte, y el mismo cordel ó cadenilla demarcará la perfecta curva que se ha de dar á la bóveda; la que se transmitirá á la tabla que ha de servir de cimbra, si se tiene prevenida, y se coloca sobre la diagonal. De una vez se hará la operacion, marcando el rastro que presenta la cadenilla." (FORNÉS y GURREA, Manuel, *El arte de edificar*, Madrid, Ediciones poniente, 1982, p.26. Ed. original, *Observaciones sobre la práctica del arte de edificar*, Valencia, 1841)

<sup>65</sup> Esta relación, que está debidamente comprobada por autores como Bassegoda Nonell, consta en el diario de Reus. (BASSEGODA NONELL, Juan, *Aproximación a Gaudí*, *op. cit.*, p. )

<sup>66</sup> *Leandro Serrallach Mas* (1837-1890)

Cursó la carrera de arquitecto en la Escuela Especial de Arquitectura de Madrid y obtuvo el título en septiembre de 1862. Fue profesor de la Escuela Libre de Arquitectura establecida en Barcelona en 1869, pasando posteriormente a la recién creada Escuela Provincial de Arquitectura.

importante referencia de su labor docente la podemos rescatar indirectamente en los ya mencionados *Apuntes de construcción* de Joaquín Bassegoda Amigó<sup>67</sup>, lecciones que se suponen escritas entre el período de tiempo en que el autor fue auxiliar de Serrallach en esta asignatura y un período posterior, en el que ocupará la cátedra de este último a partir de 1886. El documento tiene entonces un doble valor porque, al cubrir un arco de tiempo tan dilatado, permite por un lado constatar la enseñanza que recibió Gaudí en esta materia y por otro lado comprobar la permanencia de determinados contenidos en el programa de estudio.

El esquema de los contenidos generales se mantiene más o menos similar al programa de Torras Guardiola. Sin embargo, podemos notar una diferencia cuantitativa en cuanto al espacio que van a ocupar las distintas secciones en el conjunto. Las lecciones dedicadas a las bóvedas resultan ampliadas de manera importante con la inclusión de las características constructivas más significativas de los distintos tipos históricos, de una manera que nos recuerda inevitablemente al método de trabajo de Choisy<sup>68</sup>. De esta forma, el dictado de una asignatura en principio eminentemente técnica adquiere un significado más amplio en donde la historia -en consonancia con las propuestas de Viollet-le-Duc y Choisy- no es entendida como una mera superposición de estilos en el tiempo, sino como una manifestación de la forma arquitectónica derivada de los medios y las técnicas de construcción.

Nuevamente, el entero proceso constructivo depende en gran medida de los medios auxiliares de la obra y de su vinculación con los procesos geométricos de generación y trazado, tal como los diferentes métodos de cimbrado y generación de bóvedas. Con tal de definir el sistema más racional y económico adecuado a cada caso particular se echará mano, si es preciso, de los métodos más primitivos y aparentemente en desuso por aquel

---

Publicó diversos trabajos de investigación, entre los que destacan:

- Consideraciones acerca de la intervención del arte, la ciencia y la industria en la arquitectura.* (1882)
- Construcciones retrospectivas: época romana.* (1882)
- Observaciones acerca de las causas que constituyen el estado actual de la arquitectura.* (1884)
- Monumentos romanos de Tarragona.* (1886)

<sup>67</sup> BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *Apuntes de Construcción*, op. cit.

<sup>68</sup> Las lecciones quedan más o menos ordenadas por temas en cuatro grandes bloques:

- 1) Materiales y obras previas;
  - 2) bóvedas: historia y sistemas constructivos;
  - 3) obras de albañilería y
  - 4) medios auxiliares de la construcción.
- (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, op. cit.)

entonces<sup>69</sup>. Esta nueva orientación en la enseñanza de las asignaturas técnicas viene a confirmar, en alguna medida, el clima de revalorización de los principios racionales del construir que se estaba viviendo por entonces, en una actitud un tanto desprejuiciada en relación con la arquitectura del pasado.

Otra de las novedades en el programa de las clases de Bassegoda Amigó es el mayor espacio dedicado a las bóvedas tabicadas, lo que demuestra el auge que por entonces había adquirido esta tradición constructiva. Incluso, la manera en que se explica el origen romano de los sistemas tabicados tiene muchos puntos de contacto con la propuesta de Choisy<sup>70</sup>. En estas lecciones se indica la supervivencia de los tabicados y su paso por la arquitectura del Renacimiento italiano, en donde se va reduciendo la carga de hormigón hasta el mínimo necesario para impedir la flexión de la bóveda. De esta manera, los medios auxiliares tienden a suprimirse gradualmente y pasan a cumplir la función de *reguladores geométricos* de la forma de la bóveda<sup>71</sup>.

De una manera ordenada y sistemática se va describiendo en estas lecciones la construcción de los distintos tipos de bóvedas: las de cañón seguido, las de revolución y las compuestas. En estas descripciones siempre se vinculan íntimamente los conceptos geométricos de generación con los medios auxiliares de construcción y las propiedades de los materiales, en un intercambio dinámico y fluido en donde confluyen armoniosamente

---

<sup>69</sup> En la Lección 33 (*Medios auxiliares para la construcción de bóvedas*), se estudian los diferentes tipos de cimbras, en donde son descritas con detenimiento, aparte de los tipos más comunes de madera, los métodos de cimbrado en base a ladrillos, piedra y tierra utilizadas para la construcción de las grandes bóvedas romanas.

Se cita en esta lección la anécdota de que en Roma se había construido la cúpula del Panteón apoyándola en la tierra y se afirma que un procedimiento similar se utilizó en la Edad Media para levantar las bóvedas de algunas iglesias. De las cimbras de ladrillos se citan tres tipos: 1) en seco: aquí prevalece el mismo concepto que para las de tierra, sólo que debe previamente regularizarse, según la forma del intradós, con una capa de mortero, 2) En arco y 3) en bóvedas tabicadas: aquí, por lo general, ... "puede dejarse que el arco o bóveda quede formando parte de la definitiva, como hicieron los Romanos en sus bóvedas de hormigón."

En el apartado dedicado a las "cimbras para cúpulas", se dice que el cimbrado puede simplificarse notablemente porque, en el caso de hiladas continuas, cada una de ellas, una vez cerrada ya tiene estabilidad propia, de modo que la cimbra puede reducirse al apoyo de una sola hilada, el cual va subiendo en cada una de éstas. (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *op. cit.*, pp.280-286)

<sup>70</sup> Esta asociación se hace evidente en la descripción del modo constructivo de las "cimbras de ladrillo por tabla" tal y como la realizaban los romanos. En éstas, se construía una primera hoja apoyada sobre una cimbra de madera que estaba formada por ladrillos de 60 cm x 60 cm y unos 4 ó 5 cm de espesor unidos por un mortero rápido, a la que luego se le podía agregar otra hoja con ladrillos de menor tamaño unidos a la primera con mortero. Posteriormente se quitaba la cimbra de madera y se seguía cargando la bóveda, conformando de esta manera el *concrecionado* de hormigón. Para más coincidencias, Bassegoda Amigó cita como ejemplo de este sistema a las termas de Caracalla. (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *op. cit.*, p.295)

<sup>71</sup> BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *op. cit.*, p.315.

cada una de las disciplinas intervinientes. En este intercambio estará siempre presente además una idea más o menos explícita de los problemas mecánicos de las formas construídas.

Otra de las características interesantes de estas lecciones es la manera en que se integran los conceptos estáticos de las bóvedas a los medios de materialización constructiva. En el caso de los sistemas tabicados, no sólo se explican las características estructurales propias de las bóvedas sino que además se relacionan con las diferentes propiedades geométricas de los tipos más comunes. Se llega así, de una manera natural, a demostrar la conveniencia de las llamadas *formas equilibradas*, entre las cuales se destaca la catenaria por su facilidad de trazado y excelente comportamiento mecánico<sup>72</sup>.

Estamos, pues, frente a una manera absolutamente pragmática y directa de entender los fenómenos mecánicos de la construcción, muy alejada de todo referente de estilo o gusto estético, lo que nos lleva una vez más a asociar estas ideas a la figura de Gaudí.

La importancia de una asignatura como esta dentro del período formativo de Gaudí resulta, a la luz de las consideraciones precedentes, mucho mayor de lo que en principio podría suponerse.

Por una parte estas lecciones constituyen el enlace perfecto entre las ideas medio románticas y racionales de Viollet-le-Duc y las propuestas de pura lógica constructiva inspiradas por Choisy; se trata de emplear los materiales dentro de un esquema racional que incluya tanto los procesos constructivos y las necesidades estructurales como la operatividad y economía de la obra. No hay lugar por lo tanto a especulaciones estéticas abstractas y desligadas de la realidad construída. La obra de arquitectura expresa su propia racionalidad en este proceso, que es tanto más perfecto cuanto más se ajusta a los requerimientos y solicitudes exteriores.

La propia historia de la arquitectura puede ser entendida dentro de estos términos, a tal punto que podríamos explicar gran parte de la arquitectura occidental a partir de la historia de las bóvedas. Comprendiendo la manera en que cada período de la historia construye su arquitectura en base a sus propias limitaciones y necesidades, comprendemos un poco el proceso integrador del hecho constructivo. De aquí también se deduce lógicamente la idea de una arquitectura sólidamente aferrada al lugar, un concepto de

---

<sup>72</sup> Desde el punto de vista estructural se explica el doble trabajo a flexión y compresión de estas bóvedas y se asimilan a la idea de *membrana* [tachado: "plancha"] sujeta a flexión. La forma equilibrada para estas bóvedas cuando no hay sobrecarga será la catenaria. (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *op. cit.*, p.319)

*pertenencia* al medio tan caro al propio Gaudí<sup>73</sup>.

Otro aspecto interesante de estas clases es la revalorización que en ellas se hace de la arquitectura del ladrillo, en especial de los sistemas tabicados. La posibilidad que tienen los tabicados de adaptarse a las formas más complejas, su economía y su fácil generación en obra son algunas de las ventajas que sedujeron inmediatamente al joven Gaudí. Como sabemos, en las bóvedas tabicadas los medios auxiliares de obra como las cimbras o plantillas móviles quedan simplificadas drásticamente, pudiéndose en algunos casos incluso eliminar por completo<sup>74</sup>.

La tendencia que muestran estas lecciones a incorporar dentro del propio fenómeno constructivo a los medios de producción será, como sabemos, una de las constantes más marcadas en la actividad profesional de Gaudí. Para el arquitecto resulta vital simplificar todo lo que sea posible el proceso de obra y esto no es sólo por una cuestión económica. La complejidad de las formas que existen en su mente sólo podrán ser materializadas si incluyen su propio sistema generador y los medios auxiliares necesarios para construirlas. Así, el trabajo en obra de Gaudí consistirá en la puesta a punto casi diaria de estas *estrategias* constructivas en estrecha relación con cada uno de los protagonistas de la edificación.

Dentro de este proceso lógico de construcción, los temas mecánicos sólo pueden ser entendidos en términos de complementaridad y desde un punto de vista esencialmente pragmático. El uso de sistemas equilibrados estáticamente, que tienen como fundamento la curva catenaria y sus aproximaciones, es otra de las presencias reiteradas a lo largo de estas lecciones. Esta curva, al igual que la parábola y la hipérbola -rechazada sistemáticamente por los arquitectos academicistas por considerarla poco *estética* para los cánones establecidos- será, a partir de este momento, revalorizada por Gaudí y otros arquitectos de la época<sup>75</sup>.

---

<sup>73</sup> "La construcció, com la justícia, resol *sempre* un cas concret; de manera que no es poden fer tipus que serveixin per a diversos llocs...Cal després utilitzar la gent del país amb els materials i mitjans *que els* són peculiars, puix això permet la competència entre ells i per tant l'economia." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí*, op. cit., p.102, citado en BERGÓS, Joan, *Conversaciones...*, op. cit., p.109

<sup>74</sup> Entre las muchas ventajas de estas bóvedas, Bassegoda Amigó destaca en sus clases el que "se adaptan a las formas de generación más complicada e irregular, cuando el albañil "coge el tranquilo" [tachado: "tiene práctica"] las irregularidades no causan dificultad." (BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *Apuntes Construcción*, op. cit., p.320)

<sup>75</sup> Si bien estas curvas ya aparecen descritas gráficamente con sus propiedades mecánicas en tratados clásicos de construcción como el de Rondelet o el de Millington, en general no era recomendada su utilización en la construcción. (Ver, RONDELET, Jean, op. cit., pp.66-74, MILLINGTON, John, *Elementos de arquitectura*, Trad. M. Carrillo de Albornoz, Madrid, Imprenta Nacional, 1848, pp.472-476)

Finalmente, la integración de la geometría dentro del propio proceso de obra será otro de los aportes esenciales de esta manera de enseñar la construcción de arquitectura. En este sentido, la orientación impartida en las clases de construcción por profesores como Torras, Serrallach o el propio Bassegoda Amigó es a la vez primitiva y revolucionaria. Serán ellos los encargados de revivir de alguna manera unos sencillos procedimientos geométricos para construir que parecían olvidados desde la Edad Media. La generación de formas a través de los sistemas de cimbrado, los trazados directos y los recursos para una sistematización en obra, serán algunos de los aportes de esta *geometría práctica* que Gaudí no tardará en aplicar a su propia idea del hacer arquitectura.

### GENERACIÓN GEOMÉTRICA Y PROCESO CONSTRUCTIVO

La consideración de las superficies como *lugares geométricos* ha sido, a lo largo de la historia de la arquitectura, la manera más práctica y simple que mejor se ha ido adaptando a las necesidades del arquitecto como constructor de formas. Dentro de esta consideración, el concebir a las superficies como generadas por *movimientos* o *trayectorias* de figuras geométricas más elementales ha permitido establecer una importante aplicación práctica a los sistemas constructivos.

Desde un punto de vista esencialmente geométrico, podemos clasificar las superficies según sus modos de generación en tres grandes grupos: las superficies generadas por *traslación*, las superficies generadas por *rotación* y un tercer grupo en donde se incluyen todas las superficies generadas por un movimiento compuesto más genéricamente denominado *desplazamiento*<sup>76</sup>. En este último caso, el elemento generador puede deslizarse por distintas curvas directrices bajo determinadas condiciones, pudiendo sufrir algún tipo de deformación. En realidad, podríamos asimilar todo desplazamiento a una combinación de movimientos de rotación y traslación.

---

<sup>76</sup> Para algunos autores esta clasificación sería más específica si se consideran cuatro grupos básicos de superficies:

a) *de traslación* (sTr);

b) *de revolución* (sRev);

c) *helicoidales* (sHel), definidas por un elemento generador que se mueve helicoidalmente, o sea con un movimiento compuesto por una *rotación* alrededor de un eje y de una *traslación* proporcional a lo largo de este eje y

d) *de bi-rotación*, engendradas por un movimiento compuesto de una rotación alrededor de un eje y de una rotación proporcional a lo largo de un paralelo.

(Ver, GHEORGHIU, A., DRAGOMIR, V., *La représentation des structures constructives*, Paris, Ed. Eyrolles, Edición original, *Probleme de Reprezentare a Structurilor Constructive*, Bucarest, Editura Tehnică, 1968)

La vinculación de estos modos de generación geométrica en los procesos constructivos resulta de por sí una fascinante manera de entender la historia de la arquitectura. La lección de Choisy y otros historiadores resulta, en este sentido, ejemplar. En su *Histoire...*, Choisy delimita con precisión las dos formas más primitivas de generación de bóvedas de ladrillo que conviven desde la arquitectura egipcia hasta las grandes obras del imperio romano. Por un lado, la manera más elemental de crear una superficie curva autosostenida será la de provocar unos mínimos voladizos en las sucesivas hiladas horizontales de los ladrillos<sup>77</sup>. Este será un sistema largamente utilizado por su gran efectividad estática y su facilidad de ejecución, ya que no requiere la utilización de cimbras o medios auxiliares para su construcción<sup>78</sup>. Su mayor empleo lo encontraremos en la construcción de las bóvedas cerradas, de las cuales existen diversas modalidades (Fig.4).

Con este método -que podríamos llamar de *agregación* o adición de unidades elementales y que en principio se utilizaba sólo para la construcción de cúpulas- convive contemporáneamente un sistema para la construcción de bóvedas de cañón que tiene como base la generación por traslación. Estas bóvedas se construían a partir de una figura generatriz materializada por un primer *arco de arranque* construido con ladrillos de plano, al que se iban agregando por adherencia los sucesivos arcos que generaban en su crecimiento la entera bóveda. El sistema va sufriendo modificaciones a lo largo de la historia, pero esencialmente mantiene el mismo proceso de generación<sup>79</sup>.

---

<sup>77</sup> La difusión de esta sencilla manera de construir bóvedas no se produce sólo dentro de la arquitectura occidental. El empleo de este sistema en oriente conocerá un largo apogeo en Persia y la India y, de la mano de los árabes, se difundirá largamente en Europa.

Choisy reconoce la pervivencia de este tipo de bóvedas en Asiria, Caldea, las civilizaciones pre-helénicas y bizantina, y atribuye el éxito de su empleo tan extendido a su construcción sin la ayuda de cimbras, un elemento poco frecuente debido a la escasez de madera para su confección.

(CHOISY, Auguste, *Histoire de l'Architecture*, op. cit.)

<sup>78</sup> Choisy detecta las primeras cúpulas en ladrillos de este tipo en la arquitectura egipcia, aunque podríamos considerar, sin duda alguna, que este sistema *agregativo* en base a voladizos de piedras más o menos planas puede considerarse como la forma más primitiva de construir una bóveda. (Ver, RUBIÓ y BELLVER, Joan, "Construccions de pedra en sec", en *Anuario de la Asociación de Arquitectos*, Barcelona, 1914, VILASECA, J y M.L., "Construcciones en seco de la provincia de Tarragona. Las barracas de Mont-roig", en *Actas del X Congreso Nacional de Arqueología*, Maó, 1967, BASSEGODA NONELL, Juan, "las barracas de viña", *San Jorge*, LXXXVIII-LXXXIX, Barcelona, 1976)

<sup>79</sup> Será a partir de la arquitectura romana cuando la construcción de estas bóvedas comienza a adquirir una mayor complejidad. Para la ejecución de las bóvedas en *clave* ya comenzará a utilizarse una cimbra móvil que se va *trasladando* a medida que se va conformando cada arco sucesivo.

En la arquitectura bizantina, para la construcción de las primeras bóvedas de arista, se aplicó sin embargo el modo persa de generación a partir de arcos solidarios que no necesitaban cimbras. (CHOISY, Auguste, *Histoire...*, op. cit.)

La aparición de técnicas constructivas más sofisticadas como las derivadas de la estereotomía de la piedra, plantea, a su vez, la necesidad de una reconsideración de los modos de generación geométrica. Tanto de la cubrición de los grandes espacios como la resolución de una buena cantidad de detalles arquitectónicos requerirán de la geometría como un aliado esencial en el proceso constructivo. Sin embargo, esta extraordinaria complejidad que irá adquiriendo la forma arquitectónica tendrá más repercusión en la definición geométrica para el trazado y corte de las unidades que componen el despiece de las piedras que en los modos de generación del conjunto arquitectónico en sí mismo.

En la arquitectura del ladrillo, en cambio, la ampliación de los campos de utilización de los tabicados cerámicos y su gran ductilidad como sistema constructivo comienza a requerir la aplicación de otros modos de generación complementarios de los habituales. Las plementerías de las bóvedas nervadas del medioevo, la creciente complejidad de las superficies curvas de las escaleras o las cúpulas tabicadas con distintas curvas generadoras, son algunas de las nuevas formas arquitectónicas que necesitan de nuevos procesos de generación geométrica. Así, por ejemplo, se necesitará de la generación de tipo helicoidal en sus diferentes variantes para construir las bóvedas de escaleras, de las cuales podemos encontrar innumerables ejemplos de gran pureza plástica a partir de la arquitectura gótica. Para la construcción de las cúpulas tabicadas será necesario, en cambio, aplicar el recurso del sistema de generación por rotación más idóneo que convenga a cada caso concreto.

En todos estos casos, sin embargo, sorprende la sencillez de los procedimientos de obra con que son materializados estos conceptos de generación geométrica. Una bóveda cerrada puede ser construída a partir del movimiento de rotación de un simple cordel o una regla fija en un extremo, en donde las hojas son dispuestas según los paralelos de la superficie formando anillos cerrados<sup>80</sup> (Fig.5).

De las generaciones helicoidales de las escaleras en tabicados tenemos excelentes ejemplos en Cataluña, cuya tradición ha sido durante muchos años una especie de artesanado heredado por los *paletas* catalanes. En este caso también llama la atención la precariedad de elementos auxiliares necesarios para definir la exacta geometría de la escalera<sup>81</sup> (Fig.6).

---

<sup>80</sup> BASSEGODA AMIGÓ, Joaquín, *op. cit.*, p.317.

<sup>81</sup> En estas bóvedas de escaleras, que se construían sólo con la ayuda de cordeles y reglas, resulta interesante observar la correspondencia entre generación geométrica y disposición constructiva. Esta correspondencia se hace evidente en la disposición que adoptan las hiladas de ladrillos, que siguen en muchos casos a la dirección de las generatrices rectas de su generación geométrica. En este sentido resultan muy interesantes los trabajos realizados en la ya desaparecida Escuela del Trabajo de Barcelona, en el Aula de Prácticas de Albañilería, en donde se realizaban distintos modelos de bóvedas para escaleras construídas con tabicados cerámicos. En las fotografías que han quedado de aquellos trabajos se pueden ver una bóveda

Aún en sistemas más complejos, como la ejecución de los paneles que constituyen la plementería de las bóvedas nervadas en la arquitectura gótica, los procedimientos de generación constructiva resultan relativamente simples. En la mayoría de los casos se usaba para tal efecto una cimbra móvil y regulable de gran simplicidad que se deslizaba sobre las nervuras y sólo en los casos en que panel resultaba ser una superficie alabeada era necesario crear una especie de encofrado provisional<sup>82</sup>.

De la variedad de procedimientos geométricos para la generación constructiva de formas arquitectónicas podríamos considerar conceptualmente una división en dos importantes grupos, teniendo en cuenta ahora al elemento generador en lugar del modo de generación.

Dentro de un primer grupo tendríamos a todas aquellas formas en donde el elemento generador es una figura geométrica perfectamente identificable, como una curva o una recta que se mueve en el espacio de acuerdo a determinadas leyes generadoras. En el segundo grupo, en cambio, esta figura aparece únicamente como el resultado final del proceso, porque los componentes generadores son unidades elementales que se yuxtaponen unas a otras en un proceso de agregación continuo. El ejemplo más típico de las formas del primer grupo será evidentemente el de las bóvedas de cañón generadas por traslación, pero también podríamos incluir en este grupo a muchas de las generaciones helicoidales de escaleras o las formas obtenidas por el movimiento de rotación de una curva generatriz.

Dentro del grupo de formas producidas por agregación de unidades tenemos, aparte del caso más primitivo de las cúpulas en progresión anular o "falsas cúpulas" que hemos visto anteriormente, una importante variedad de formas que dependen en cada caso del tipo de desplazamiento producido entre los elementos y las leyes específicas de agregación. Así, podemos encontrar estructuras en forma de ménsula, arcos de diferentes perfiles y bóvedas cuando estas unidades experimentan desplazamientos en forma de pequeños voladizos. Distintas formas vinculadas a la generación helicoidal pueden producirse, en cambio, cuando estos elementos siguen un determinado movimiento de rotación. La tradición popular de construir un *simil* de columna salomónica en ladrillos tan común en muchas comarcas catalanas deriva naturalmente de este proceso de generación geométrica.

La predilección de Gaudí hacia este sistema de construcción en ladrillos, que el denomina *acartelado*, es evidente en una buena parte de su obra construida y, en muchas

---

helicoidal con ojo, una bóveda helicoidal de plano director, otra de cono director, etc. (Fig...)(BERGÓS MASSÓ, Juan, *Tabicados huecos*, op. cit., BASSEGODA MUSTÉ, Buenaventura, *Algunos ensayos...*, op. cit.)

<sup>82</sup> CHOISY, Auguste, *Histoire...*, op. cit., p.274)

ocasiones, no ha dudado en alabar sus excelencias mecánicas y constructivas<sup>83</sup>.

La mayoría de las obras del primer período de Gaudí -que algunos autores denominan *mudèjar*- se caracteriza justamente por la aplicación del ladrillo como una unidad de agregación que va originando formas estructurales o decorativas de una notable variedad.

Dentro de las formas que tienen una función estática destacan los arcos de trazado parabólico o catenárico obtenidos por el voladizo sucesivo de los ladrillos. Una primera aproximación de este tipo de arcos se podía ver en la ya demolida fuente de la casa Vicens, en donde se combinaba el perfil acartelado con un refuerzo en la parte superior (Fig.7). El arco parabólico creado íntegramente con voladizos sucesivos de ladrillos puede verse como un importante elemento de la composición en la Finca Güell y constituye un auténtico *leit-motiv* estructural y estético en la fachada y los interiores del colegio de las Teresianas (Fig.8). Formando ménsulas, capiteles y elementos decorativos encontramos en mayor o menor medida el desarrollo de esta técnica de agregación en prácticamente toda la obra de esta primera etapa y su pervivencia en muchas obras posteriores; baste para ello citar la casa Vicens, las zonas de servicio del Palau Güell, los capiteles de las bóvedas de la cripta de la Colònia Güell o las estructuras de soporte de la cubierta de Bellesguard por poner los ejemplos más destacados.

Pero esta será sólo la expresión más obvia de esta forma de generación geométrica aplicada a la construcción arquitectónica. El método en base a agregaciones de unidades mínimas será una de las constantes más persistentes a lo largo de toda la obra de Gaudí que asumirá notables transformaciones para adaptarse a los requerimientos más diversos.

Si llevamos esta idea de la agregación a otros niveles y escalas dentro de la propia arquitectura de Gaudí comenzamos a comprender la idea de *sistematización* del proceso de obra que intentaba aplicar el arquitecto a sus edificios. En este sentido, el ejemplo del parque Güell resulta paradigmático. Como es sabido, una gran parte de las construcciones del parque fueron realizadas a partir de elementos prefabricados y ensamblados en la propia obra. Con este procedimiento fueron edificadas íntegramente la Sala Dórica y el gran banco ondulado superior y se conformaron la mayor parte de los remates y elementos decorativos de los pabellones de ingreso, la entrada principal, la valla exterior, etc.

---

<sup>83</sup> "Mudèjar-moresc. Les composicions d'aquest grup, fetes fora del casc urbà, es caracteritzen per una disposició de faixes horitzontals a les primeres plantes i, a l'última, per una eurytmia de lesenes que es clouen superiorment amb arcs en mitra, i per l'ús de carteles obtingudes amb el voladís successiu de les filades de maó. Trobo superior el sentit mecànic dels àrabs: els acartelats successius dels àrabs són més propers a la funícula que els arcs medievals cristians." (BERGÓS, Joan, *Gaudí, l'home i l'obra*, op. cit. p.70)  
 "El sistema de carteles que successivament van avançant és més atansat a la funícula (àrab)." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí*, op. cit., p.117, citado en BERGÓS, Joan, *Conversacions...*, op. cit., p.228)

La utilización que aquí hace Gaudí de los elementos prefabricados pone en evidencia un propósito que va más allá de un simple problema económico. La intención del arquitecto refleja en este caso una forma absolutamente personal de trabajar la composición de los cuerpos geométricos que se basa en conseguir una idea de continuidad expresada a través de un proceso de agregación y combinación. La manera en que Gaudí desarrolla esta inteligente *combinatoria* es la que le permite alejarse de toda repetición que pueda resultar visualmente monótona<sup>84</sup>.

Esta misma intención sistematizadora ya había sido ensayada con anterioridad en fragmentos de obras tan significativas como la Finca Güell y el Palau Güell, pero será en el parque Güell en donde encontrará su mejor expresión.

En resumen, este método que parte de un principio muy global que se basa en la agregación y combinación de elementos singulares será, a distintas escalas y niveles de actuación, una de las constantes de la labor constructiva de Gaudí.

Es precisamente en este punto donde nos encontramos con una cuestión que parece a primera vista contradictoria. ¿Cómo puede ser compatibilizada la conocida obsesión de Gaudí por la *forma continua*<sup>85</sup> con este procedimiento de origen geométrico?

Creemos que, en principio, no se trata tanto de una contradicción sino más bien de una especie de complementaridad que va evolucionando a lo largo de la entera obra de

---

<sup>84</sup> Existe un interesante trabajo realizado por Ignacio Paricio en donde se analizan estos aspectos constructivos del parque Güell.

En este estudio resulta interesante conocer que, por ejemplo, la sinuosidad lograda en el remate de la cubierta de los pabellones de entrada al parque se consigue con la repetición de un solo tipo de pieza en forma de fragmento de toro al que se le añade un pico triangular que se va alternando para desvirtuar su simplicidad. Algo similar ocurre con los enmarcados de las aberturas de los mismos edificios, ya que las piezas responden a dos o tres tipos básicos y la monotonía es contrarrestada con la policromía, la alternancia positivo-negativo o el agregado de pequeñas piezas suplementarias.

El carácter combinatorio y agregativo de la composición gaudiniana queda reflejado con más intensidad aun en la descripción que hace Paricio del "mecano" estructural de la Sala Dórica, en donde el conjunto se compone con piezas prefabricadas formadas con muy pocos elementos.

De una manera más sintética aún, el gran banco ondulado de la cubierta de esta sala es montado con una única pieza prefabricada de radio constante que servirá para componer todo el conjunto. La riqueza del resultado final es debida en este caso a un hábil estudio de proporciones y modulación.

(PARICIO, Ignacio, "El Park Güell de Barcelona. Una lección de construcción", *CAU, Construcción Arquitectura Urbanismo*, Publicación del Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, N°70, marzo 1981)

<sup>85</sup> "Les formes contínues són les perfectes. Usualment es fa distinció entre elements sustentats i sostinguts amb evident inexactitud, ja que dels uns i dels altres n'hi ha que són alhora sostinguts i sustentants. Aquesta distinció crea el punt imperfecte, que neix de la solució de continuïtat, en passar de l'element que es pren com a sustentant a l'element sostingut." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí*, op. cit., p.147)

Gaudí.

Muchos autores sostienen que el descubrimiento de de las superficies alabeadas de generación reglada como el paraboloides hiperbólico, el hiperboloides de una hoja y los distintos tipos de helicoides fue la *clave* que permitió a Gaudí acceder a esa idea tan perseguida de la *continuidad*<sup>86</sup>.

Sin embargo, pensamos que la conciencia plena de esta herramienta geométrica capaz de otorgar la tan deseada continuidad de las formas llegará sólo tardíamente a través de sus experiencias con las superficies alabeadas en la Colònia Güell. Tal es así, que sus manifestaciones públicas acerca de las propiedades de estos paraboloides e hiperboloides no aparecen documentadas hasta bien entrado nuestro siglo<sup>87</sup>. El propio Gaudí, según relata Bergós, admitirá el carácter absolutamente experimental que tenían las formas alabeadas en las bóvedas de la cripta de la Colònia Güell, por lo que cabría suponer que hasta ese momento estas formas habían sido utilizadas de una manera un poco intuitiva por el arquitecto<sup>88</sup>.

Creemos, sin embargo, que una idea de *continuidad* estaba ya asentada en la obra

---

<sup>86</sup> Esta idea puede haber sido alimentada en gran medida por algunas declaraciones del propio Gaudí describiendo las propiedades de estas superficies.

"Els paraboloides, hiperboloides i helicoides són superfícies reglades, arreglades, posades en regla, reglamentades; es passa insensiblement de l'una a l'altra." (PUIG BOADA, Isidre, *El pensament de Gaudí...*, op. cit., p.147, citado de BERGÓS, Joan, *Conversaciones...* op. cit., p.85)

<sup>87</sup> Una de las primeras referencias explícitas al paraboloides hiperbólico está documentada por Martinell durante una visita a la Sagrada Familia en enero de 1915, en donde Gaudí, al mostrar unos planos de las bóvedas a un grupo de estudiantes universitarios, hace una referencia a las propiedades geométricas de los paraboloides:

"Diu que aquestes superfícies han estat oblidades injustament, ja que la seva forma és la més completa i ella sola ho enclou tot. Està engendrada per una recta que té per directrius dues altres rectes situades en plans diferents, que és un cas molt general. Aquest paraboloides, projectat, pot donar "rectes paral·leles"; si el pla de projecció és perpendicular a una directriu la generatriu es projecta segons "radis", ço que equival a "circumferència", de la qual imperceptiblement, inclinant el pla de projecció, es pot passar a l'"el·lipse" (sic); les interseccions amb plans són "paràboles" i "hipèrboles". Aquestes superfícies estan molt indicades per a ésser aplicades a l'ofici de voltes, com hom farà a la Sagrada Família, per bé s'acordaran amb les parets planes, que són un cas particular del paraboloides hiperbòlic." (MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família...*, op. cit., p.48)

<sup>88</sup> "Sin la prueba a gran escala de las formas alabeadas, helicoidales en las columnas y paraboloides en los muros y bóvedas, que he hecho en la Colonia Güell, no me habría atrevido a utilizarlas en el Templo de la Sagrada Familia." (BERGÓS MASSÓ, Joan, *Gaudí, el hombre y la obra*, op. cit., p.89)

En una tardía conversación con Martinell que data de 1924, Gaudí asume en alguna manera el sentido intuitivo con que manejó a estas superficies durante muchos años.

"Li he dit que les primeres vegades que m'explicava coses d'aquestes no les veia tan clares, i m'ha respost que ell tampoc no les hi explicava tant, de clares; que amb els anys sintetitza més clarament les qüestions." (MARTINELL, Cèsar, *op. cit.*, p.125)

de Gaudí desde mucho tiempo antes de la teorización geométrica de las superficies alabeadas. Para el arquitecto, es también posible obtener continuidad formal entre los miembros de un edificio a partir de la adecuada *sintaxis* de un conjunto de elementos singulares<sup>89</sup>. En este sentido, estos elementos podrán ser similares o heterogéneos porque el acento estará puesto en las leyes que los vinculan más que en la propia singularidad de sus componentes. Esto equivale, más o menos, a decir que a partir de este procedimiento, que es del todo equivalente a la operación geométrica de agregación comentada más arriba, Gaudí consigue llegar por otro camino a la materialización de su idea de continuidad.

Para nuestro planteamiento existen entonces dos maneras diferentes de conseguir un mismo propósito; dos caminos que funcionan complementariamente y que se van alternando a lo largo de toda la obra gaudiniana. En uno de estos caminos la continuidad es conseguida mediante el empleo de superficies alabeadas que se vinculan unas a otras de una manera gradual, gracias a sus curvas comunes. En el otro, la agregación de elementos singulares mediante unas leyes perfectamente definidas consigue crear otra idea de continuidad, a la vez diferente y complementaria de la anterior.

Resulta interesante comprobar cómo estos dos modos de generación constructiva pueden vincularse, mediante procedimientos geométricos, a los procesos de generación natural. Como vimos en el Capítulo II, las operaciones con cuádricas alabeadas son perfectamente asimilables al funcionamiento biológico de las membranas formadas por las denominadas *superficies mínimas*: sobre un determinado *armazón* estructural pueden extenderse indefinidamente formando un conjunto de gran estabilidad<sup>90</sup>.

En los procesos de *filotaxis* vegetal y en otros sistemas naturales de crecimiento<sup>91</sup> encontramos, en cambio, la referencia a estos procedimientos geométricos agregativos comentados anteriormente.

Se trata, en suma, de dos recursos constructivos de la arquitectura que, auxiliados por los procedimientos de origen geométrico, son capaces de expresar una misma idea

---

<sup>89</sup> Gaudí en muchas ocasiones ha dejado entrever que se necesitan más elementos que las propias superficies alabeadas para conseguir imprimir a la forma esta idea de continuidad. En una reunión en donde el arquitecto explicaba algunos aspectos constructivos relacionados con la iglesia de la Colònia Güell, sugiere que... "estas tentativas requieren sentido compositivo, con el recurso de otras formas alabeadas recogidas de elementos que, por ser heterogéneos, pueden semejar dispares, pero que la naturaleza, siempre sabia, nos ayuda a establecer la ley de continuidad, por ejemplo, en lo que puede desarrollarse en una edificación" (MATAMALA FLOTATS, Juan, "Gaudí en la intimidad", *Jornadas Internacionales de estudios gaudinistas. Centro de estudios gaudinistas, Manuales de Arquitectura-7*, Barcelona, Editorial Blume, 1970, p.87)

<sup>90</sup> Ver Cap.II, *Las superficies mínimas*, pp.24-32.

<sup>91</sup> Ver Cap.II, *Helicoides, hélices, espirales*, p.40.

asociada a los fenómenos naturales de forma y crecimiento.

## HACIA UNA GEOMETRÍA APLICADA

La teoría abstracta de la geometría descriptiva que se fue imponiendo en la enseñanza técnica a partir del tratado de Monge fue duramente criticada -quizá un poco injustamente- por muchos de los propios seguidores del ingeniero francés<sup>92</sup>. El lento proceso de disociación entre la práctica de construir y los problemas gráfico-geométricos va poniendo en evidencia la desaparición de una *geometría práctica* que venía empleándose en arquitectura desde los comienzos de la civilización.

La estereotomía era, por entonces, la única conceptualización geométrica de un cierto grado de abstracción que estaba ligada íntimamente al arte de la traza y el corte de piedras (y en este sentido significa una anticipación de la propia geometría descriptiva) pero sus objetivos nunca se disociaron de la práctica constructiva<sup>93</sup>.

Choisy relata en su *Histoire...* la pervivencia, a partir de la arquitectura egipcia, de una buena cantidad de métodos para el trazado de perfiles, alineaciones y proporciones en general que estaban basados exclusivamente en el empleo de la figura del triángulo de lados 3-4-5. Con una serie de simples procedimientos geométricos podía de esta manera medirse un objeto a una distancia inaccesible, trazarse una curva para la generación de una bóveda o confeccionarse sencillos instrumentos para su utilización en obra (Fig.2).

Es curioso constatar, por ejemplo, como podía trazarse un perfil de una bóveda equilibrada de gran parecido a la catenaria con el sólo recurso de este triángulo. En efecto, una vez definido un triángulo ABC en relación a la luz a cubrir, se hace centro en los puntos A, C y A' y la curva quedará definida. Este sencillo método de trazado se origina

---

<sup>92</sup> Jules M. de la Gournerie llegó a advertir en su momento cómo la organización de la enseñanza a partir de la teoría abstracta de la geometría descriptiva era inconveniente para la formación de los operarios, privilegiando problemas geométricos poco relacionados con la práctica en detrimento de la consideración mecánica y los aspectos constructivos. Por este mismo motivo responsabilizaba a aquella organización de las artes gráficas de la decadencia de la tradición del corte de piedras." (GENTIL BALDRICH, J. M. - RABASSA DÍAZ, E., "Sobre la Geometría Descriptiva y su difusión en España", introducción al facsímil de la *Geometría Descriptiva* de Gaspard Monge, Madrid, Ed. Col. Ing. de Caminos, Canales y Puertos, 1996, p.89)

<sup>93</sup> Resulta muy instructivo a este respecto poder comprobar en la terminología empleada en los textos de estereotomía de la época la íntima relación que existía entre la geometría y la práctica de construir. En tratados clásicos del tema, como los de Frezier o Jean-Baptiste de la Rue encontramos como un hábito el uso del término *décrire* por dibujar o trazar una línea. Este empleo, junto a la acepción moderna de "narración", conserva el significado etimológico que alude directamente a la materialidad de la representación gráfica. (GENTIL BALDRICH, J. M., *op. cit.*, p.66)

en Egipto y es posible reconocerlo en una gran parte de la arquitectura oriental<sup>94</sup>.

En un interesante trabajo ya comentado, Bechmann<sup>95</sup>, basándose a su vez en los trabajos de Shelby<sup>96</sup>, se encarga de demostrar la supervivencia durante el medioevo de una *geometría práctica* ligada de una manera directa a la *praxis* de obra y transmitida secretamente entre las sucesivas generaciones de constructores<sup>97</sup>. El autor señala el sentido eminentemente práctico que tenían las matemáticas y la geometría de la época y la necesidad de una materialización física del producto de las especulaciones teóricas. En el medioevo, la preferencia por las posibilidades de la geometría en lugar del cálculo y las proporciones numéricas tenía un claro objetivo lógico y a la vez estratégico: gracias a la geometría se podían representar gráficamente los números irracionales y no era necesario acudir a cifras o mediciones que, en un mundo como el medieval -tan *regionalizado* en cuanto a las unidades de medida- resultarían de difícil aplicación.

La manera básica en que se expresará esta *geometria fabrorum* medieval será a través de los *modelos* para la ejecución en obra. Estos modelos, muchas veces a tamaño natural, reproducían las intenciones del arquitecto en cuanto a la ejecución de partes o fragmentos arquitectónicos y tenían como objetivo la comunicación de intenciones en obra y una *sistematización* del proceso de obra<sup>98</sup>. Para aplicar directamente estas instrucciones

<sup>94</sup> BESEVAL, Roland, *Technologie de la voûte dans l'orient ancien*, Paris, Éditions Recherche sur les Civilisations, 1984, Tomo I, p.30.

<sup>95</sup> BECHMANN, Roland, *Villard de Honnecourt. La pensée technique au XIIIe siècle et sa communication*, Paris, Picard Éditeur, 1993.

<sup>96</sup> SHELBY, L. R., "The Geometrical Knowledge of Mediaeval Master Masons", *Speculum*, nº42, juillet 1972.

SHELBY, L. R., "Setting Out the Keystones of Pointed Arches: A note on Medieval Baugeometrie", *Technology and Culture*, vol. X, 1969.

Para un panorama general de la utilización de la geometría en la arquitectura medieval, ver, RUIZ DE LA ROSA, José Antonio, *Traza y simetría de la Arquitectura en la Antigüedad y el Medioevo*, Sevilla, Publicaciones de la Universidad de Sevilla, 1987.

<sup>97</sup> "Ces constructeurs n'étaient pas des "écolâtres", ils ne s'attachaient pas à la théorie. Leur expérience était basée sur des méthodes établies empiriquement, transmises de génération en génération et sans cesse enrichies par l'apport des suivantes par de nouvelles réalisations dont les enseignements qui en étaient tirés s'ajoutaient à ce qui était déjà connu. Mais, entre ce monde des praticiens, des techniciens, et celui des "universitaires", il y avait des cloisons étanches, des barrières, à travers lesquelles le savoir ne filtrait pas, sur lesquelles les initiés veillaient jaouement, et qu'il était dangereux de transgresser, comme le montrent quelques exemples." (BECHMANN, Roland, *op. cit.*, p.34)

<sup>98</sup> "Tracés sur du parchemin, du bois, du métal, ce "moles", selon le terme de l'époque -qui signifie modèle ou moule- étaient remis au tailleur de pierre et représentaient toutes les faces imposées, tracées en grandeur nature, de l'élément à exécuter. Pour une pièce sculptée telle qu'un chapiteau, une gargouille, un cul de lampe, on donnait éventuellement l'épannelage, c'est-à-dire la forme générale et un dessin le

geométricas a la construcción de partes o conjuntos arquitectónicos, los góticos se valían de ingeniosos y a la vez sencillos instrumentos de utilización en obra: plantillas, escuadras especiales y otros artilugios que les permitían, aparte de sistematizar el proceso de obra, establecer una relación directa entre unas figuras geométricas simples y el trazado y corte de piedras (Fig.9). Es importante destacar que estamos hablando en este caso de unos instrumentos muy rudimentarios que, siempre que fuera posible, se intentaban reducir a un número mínimo para simplificar y economizar al máximo el proceso de obra<sup>99</sup>.

La Edad Media representará entonces quizá uno de los puntos más altos en cuanto a la aplicación de esta geometría práctica y experimental en la construcción de la arquitectura. El sentido que tenía la geometría para la arquitectura gótica era un sentido lógico, práctico y concreto, alejado de toda especulación teórica.

Como hemos dicho al principio, esta manera de entender la geometría irá sobreviviendo con diversa fortuna en el campo de la construcción arquitectónica hasta el advenimiento de la teorización impuesta por la geometría descriptiva. Sus métodos y procedimientos serán aprovechados, sin embargo, por las distintas artesanías que intervienen en el proceso de la construcción. El manuscrito sobre carpintería que Diego López de Arenas<sup>100</sup> escribió a principios del siglo XVII es un buen ejemplo de este fenómeno de trasvase metodológico.

Este tratado, que recoge la tradición del antiguo arte de la *lacería* -que según parece pudo incluso haber sido leído por el propio Gaudí<sup>101</sup>- es un bonito ejemplo de la aplicación de esta geometría práctica que acabamos de comentar. En la descripción que hace López de Arenas en su escrito se pone en evidencia en primer término la importancia de la función estructural que tienen los elementos decorativos dentro del conjunto. Pero lo

---

complétait, pour permettre au sculpteur, avec une plus o moins grande liberté, d'exécuter son ouvrage." (BECHMANN, Roland, *op. cit.*, p.52)

<sup>99</sup> "On constate chez les gothiques l'utilisation fréquente à plusieurs fins d'un même instrument, ce qui était justifié par le coût des instruments, mais aussi par la simplification dans l'organisation du travail grâce à la réduction du nombre des instruments différents. On en a des exemples de double ou triple usage dans l'équerre-archipendule, dans la règle-niveau-fil à plomb, dans l'utilisation des équerres comme rapporteurs pour tracer des angles connus, etc." (BECHMANN, Roland, *op. cit.*, p.179)

<sup>100</sup> El manuscrito está dividido en dos partes (una primera que recoge una recopilación de reglas prácticas y una segunda que trata las armaduras de lazo y sus monteas) y fue acabado en 1619. La primera edición impresa es de 1633.

Una lectura comentada de este manuscrito puede verse en, NUERE, Enrique, *La carpintería de lo blanco. Lectura dibujada del primer manuscrito de Diego López de Arenas*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1985.

<sup>101</sup> BERGÓS MASSÓ, Joan, *Gaudí, el hombre y la obra*, *op. cit.*, p.24.

más significativo es que, en realidad, todos los procedimientos descritos por Arenas para el diseño y construcción de lazos pueden llevarse a cabo con el uso exclusivo de cartabones, en un procedimiento que, teniendo como único dato de partida la luz de la estancia a cubrir, le permite establecer todo un sistema de proporciones y relaciones directamente a pie de obra, sin la mediación de planos. Para llevar a cabo esta operación, Arenas se vale sólo de dos tipos de cartabones: unos para el trazado de los lazos (que están en función del número de puntas de la estrella) y los llamados *cartabones de armadura* que, una vez calculada la inclinación de la cubierta, sirven para el trazado de la armadura.

El hecho de que este manuscrito resuma en gran medida una tradición artesanal consolidada en el tiempo, es prueba de la pervivencia de unos métodos sencillos basados en unas pocas operaciones de obra que tienen por fundamento la aplicación de una geometría aplicada.

La lenta desaparición de estos procedimientos a partir del siglo pasado obedece en primer lugar a las importantes modificaciones que van produciéndose en la práctica de la arquitectura. La complejidad creciente del contenido gráfico necesario para describir los proyectos, junto a los importantes cambios sociales que se producen en el ejercicio de la profesión van generando una marcada disociación entre proyectistas y ejecutores de obra, con la consecuente especialización de tareas.

Por otra parte, la revitalización de la cultura clásica originada en el renacimiento y recreada posteriormente por el academicismo, trae aparejada un desarrollo de técnicas de composición y proporción arquitectónicas que tienen como base la tradición numérica en detrimento de las estrategias geométricas.

De esta manera, el pensamiento arquitectónico es separado drásticamente de los procesos de obra y confinado a los gabinetes. Los planos de obra serán entonces el código obligado de intercambio entre ambos mundos.

Tendremos que esperar hasta después de la segunda mitad del siglo pasado para que, con la obra de Gaudí, estos dos mundos vuelvan a ser uno solo.

Para Gaudí, la especulación teórica en estado puro no existe; él es -como gusta llamarse a sí mismo- un hombre  *sintético*<sup>102</sup>. Un hombre que no es capaz de imaginar una forma abstracta, desligada de su manera de producción y de sus características materiales.

Esta particularidad va ligada indudablemente a su fuerte sentido práctico y, en este sentido, resulta muy difícil saber si en este caso la forma surge como materialización de una idea preconcebida o se va gestando en el propio proceso de producción material. Tenemos la imagen de un Gaudí manipulando modelos de superficies regladas construídos

---

<sup>102</sup> "Diu que ell és geomètra, que vol dir sintètic." (MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família...*, op. cit., p.123)

con alambres<sup>103</sup>, confeccionando complejas figuras en papel<sup>104</sup> o trabajando sobre maquetas de yeso, pero nos resulta difícil imaginarlo resolviendo complicadas especulaciones abstractas.

En este sentido, y por poner un ejemplo conocido, el trabajo con superficies regladas será para Gaudí una posibilidad constructiva más que un concepto geométrico teórico. El pensar en generatrices rectas tiene para el arquitecto un inmediato correlato con las reglas utilizadas en la obra y con su manipulación. ¿De qué otra manera se podrían haber concebido unas bóvedas como las de la cripta de la Colònia Güell, cuya complejidad hubiera sido imposible de expresar en dibujos?<sup>105</sup>

Este caso, que es sólo uno de los tantos procedimientos ingeniosos de este tipo que encontraremos en la obra de Gaudí, refleja, además de este sentido práctico, el fuerte contenido experimental que tiene toda su producción arquitectónica.

Gaudí experimenta con la materia y con la geometría. Son conocidos sus frecuentes tanteos buscando la solución más adecuada sobre los volúmenes de las maquetas o las innumerables versiones que ensayaba partiendo de una idea base<sup>106</sup>. Incluso, en muchas

---

<sup>103</sup> Ver nota 14 en este mismo capítulo.

<sup>104</sup> Matamala relata una divertida anécdota que surge de un encuentro de Gaudí con Unamuno en el taller de la Sagrada Familia. Después de un tenso enfrentamiento teológico-religioso, los dos personajes acaban haciendo las paces con un singular duelo de "figuras geométricas" confeccionadas en papel: "Estuve pues a tiempo de contemplar los dos rivales de testarudas barbas, en traje negro, de pie confeccionando pajaritas y objetos diversos. Ante el tablero, tijeras y papel se les veía nerviosos, con los engarabitados dedos construyendo figuras de diminuto tamaño, hasta el punto que alguna no alcanzaría más allá de un centímetro. Unamuno, mucho más joven y recio que Gaudí, las depositaba sobre el tablero inclinado en fila, una al lado de la otra hasta cinco, a las que añadió dos más. El arquitecto, tocado de amor propio, demostró que los taburetes origen de aquel divertimento, eran sólo las primeras letras de lo que en papel por su parte realizó; después de unas pajaritas distintas a la tradicional, y muy originales, ejecutaba mesas, retorcidos candelabros, un ingenioso y decorativo poliedro a modo de farol, contrastantes con las cinco pajaritas y los taburetes del profesor, efectuados, no había que negarlo, con habilidad extraordinaria." (MATAMALA FLOTATS, Juan, *Antonio Gaudí. Mi itinerario...* op. cit., p.563)

<sup>105</sup> La ejecución de estas bóvedas está someramente descrita por Matamala en su trabajo sobre Gaudí. Para conseguir la forma alabeada cercana a un paraboloides hiperbólico que tiene la plementería en tabicados de cada una de las bóvedas, Gaudí se valió de la utilización de la tierra como método de cimbrado, a la que dió forma alabeada mediante regladas. Posteriormente fueron colocados los fragmentos de rasilla y cerámicas de color y fue extendido el mortero, conformándose inmediatamente la bóveda propiamente dicha con varias hojas de tabicados cerámicos. (MATAMALA FLOTATS, Juan, *op. cit.*, p.438)

<sup>106</sup> Ver nota 10 en este mismo capítulo.

ocasiones, practicaba cambios de la técnica constructiva sobre la propia marcha de la obra<sup>107</sup>.

Podríamos de igual manera deducir que su admirable intuición acerca de las formas equilibradas estáticamente le vendrá también, posiblemente, de esta asociación entre su fuerte sentido práctico y la experimentación en los procesos de obra.

Sabemos que Gaudí jamás calculaba previamente las funículas de las formas que proyectaba y que sólo en algunos casos especialmente complicados se valía de la comprobación gráfica<sup>108</sup>. Su manera de trazar un arco equilibrado era todo un ejemplo de geometría aplicada aprendida de sus maestros constructores; para ello le bastaba colgar unas cadenas libremente entre dos puntos fijos hasta conseguir una catenaria de la proporción deseada. Cuando tenía que dibujarla empleaba de igual manera un sencillo método gráfico<sup>109</sup>.

Gaudí retoma, de esta manera, las antiguas tradiciones geométricas del pasado con un espíritu enteramente nuevo. Su particular reinterpretación del gótico -al que por otro lado criticó duramente como estilo arquitectónico<sup>110</sup>- se basa a nuestro entender principalmente en esta recuperación de la racionalidad de los procesos constructivos mediante una geometría práctica y sencilla. El rechazo a las abstracciones impuestas por el cálculo y las proporciones numéricas le lleva a configurar una geometría que no puede

---

<sup>107</sup> El caso de la Sagrada Familia es uno de los ejemplos más ilustrativos en este sentido.

Según analiza Paricio en un estudio sobre el parque Güell, en el proceso constructivo de los viaductos Gaudí ensayó un sistema constructivo diferente para cada uno de ellos; tabicados huecos revestidos de piedra in situ, construcción enteramente pétreo, prefabricación de elementos aislados, etc. (PARICIO, Ignacio, *op. cit.*, p.50)

<sup>108</sup> BERGÓS MASSÓ, Juan, *Conversaciones...* op. cit., p.89.

<sup>109</sup> "Gaudí dibujaba experimentalmente las catenarias valiéndose de cadenas de eslabones elípticos soldados, de unos 4 mm de longitud y 0,4 de diámetro. También ideó el procedimiento gráfico reproducido: se divide la luz en número impar de partes iguales  $d$  y se trazan verticales por los puntos de división, partiendo de un empuje en la clave que se compone con un peso  $I$  proporcional a  $E$ ; su resultante  $A$  con otro peso proporcional al segundo lado de la funícula y así sucesivamente." (BERGÓS MASSÓ, Juan, *Exposición de las ideas constructivas y mecánicas de Gaudí*, Barcelona, Editorial Bosch, 1953)

<sup>110</sup> Su crítica hacia la arquitectura medieval se basa principalmente en las deficiencias estructurales del sistema gótico. La idea de que la completa estabilidad del conjunto arquitectónico se base en el apuntalamiento de los botareles le parecía la expresión de un problema estático sin resolver. De igual manera, la decoración aparece en esta arquitectura de una manera totalmente divorciada de la estructura, por lo que podría suprimirse sin resentir la obra. Naturalmente, esta imperfección derivará directamente del trazado ojival de las bóvedas góticas, de donde resultará una *falsa superficie* formada por dos círculos unidos por una recta. (BERGÓS MASSÓ, Juan, *Gaudí, el hombre y la obra*, op. cit., p.83, BERGÓS MASSÓ, Juan, *Conversaciones...* op. cit., p.166, MARTINELL, Cèsar, *Gaudí i la Sagrada Família...* op., cit., p.58)

existir independientemente de la materialidad física. Será la suya una geometría *aplicada* a la práctica concreta de la construcción arquitectónica mediante sencillas figuras e imaginativos procedimientos. Un código, en suma, que le permita al arquitecto tender el puente interrumpido durante tantos años entre creadores y ejecutores de la arquitectura.

La manera en que Gaudí aplica esta geometría práctica a la construcción de sus obras es muy variada y depende en gran medida de las circunstancias especiales en que se desenvuelve cada proceso constructivo en particular. Esta tesis no tiene por propósito emprender una enumeración y clasificación de estas técnicas constructivas derivadas de la geometría, ya que escaparía a su objetivo inicial y sería, por otra parte, de dudosa utilidad teórica.

Podemos, eso sí, a partir de un estudio en particular, trazar un esquema que señale unas tendencias más o menos características dentro de las estrategias geométricas empleadas por Gaudí para materializar su arquitectura en el proceso de obra. Esto es justamente lo que nos proponemos hacer mediante el análisis de un fragmento singular de la arquitectura gaudiniana a partir del próximo capítulo.

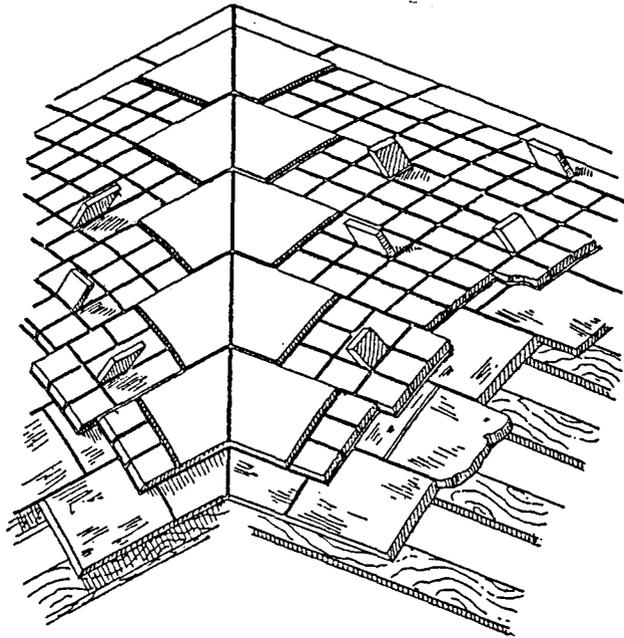
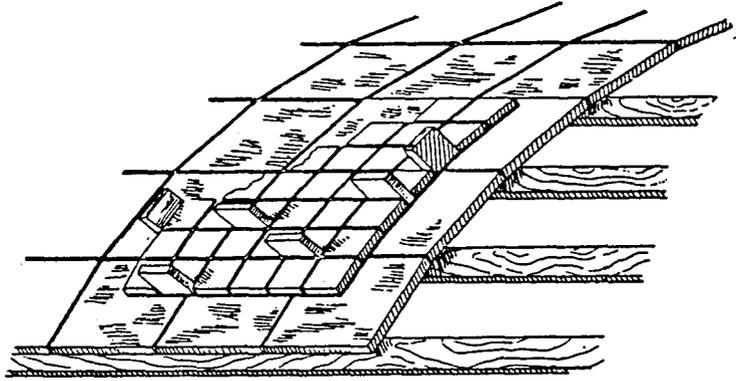


Fig.1/Fig.3

---

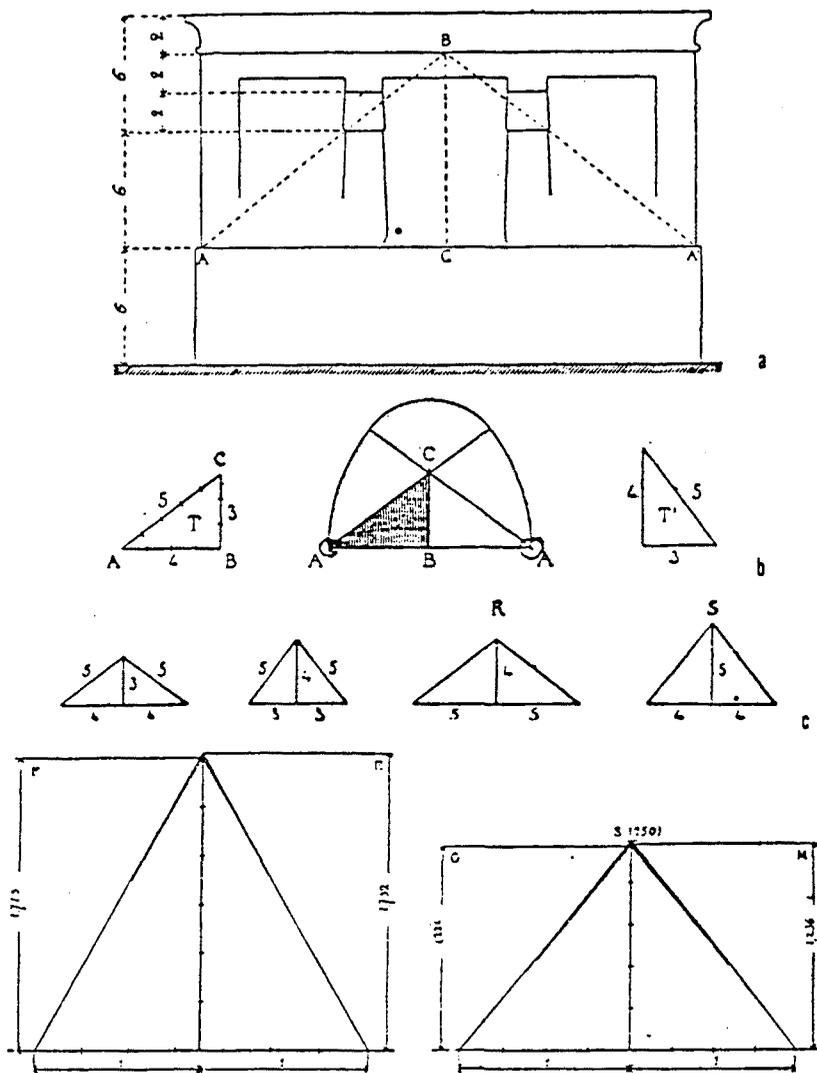


Fig.2

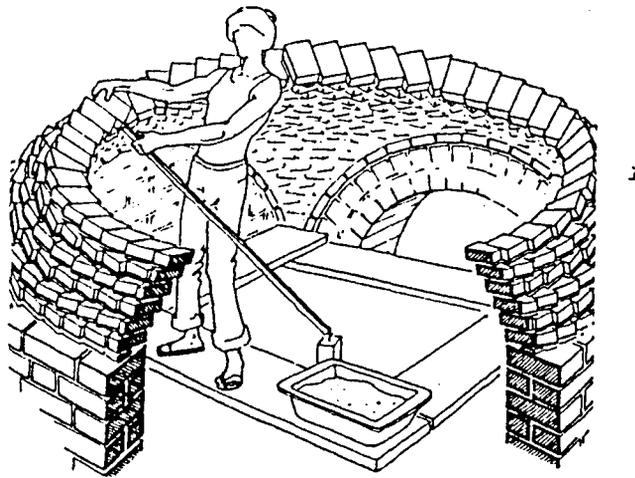
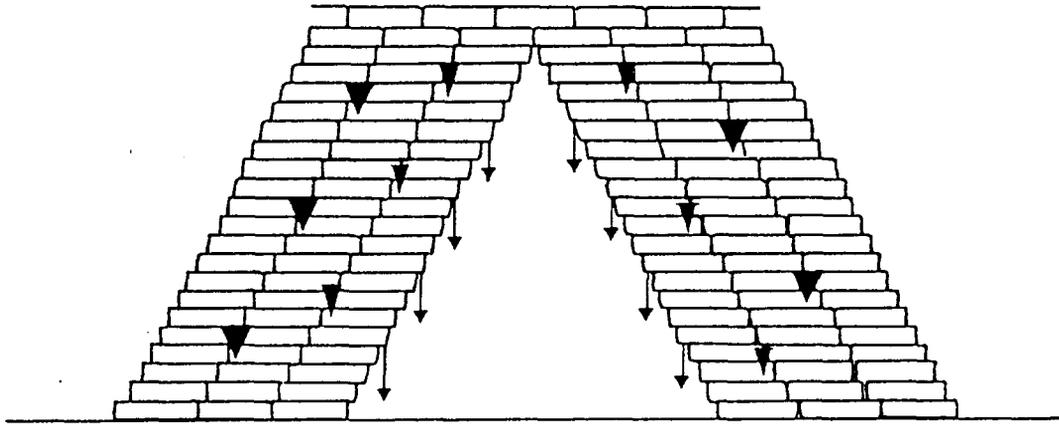


Fig.4/Fig.5

---

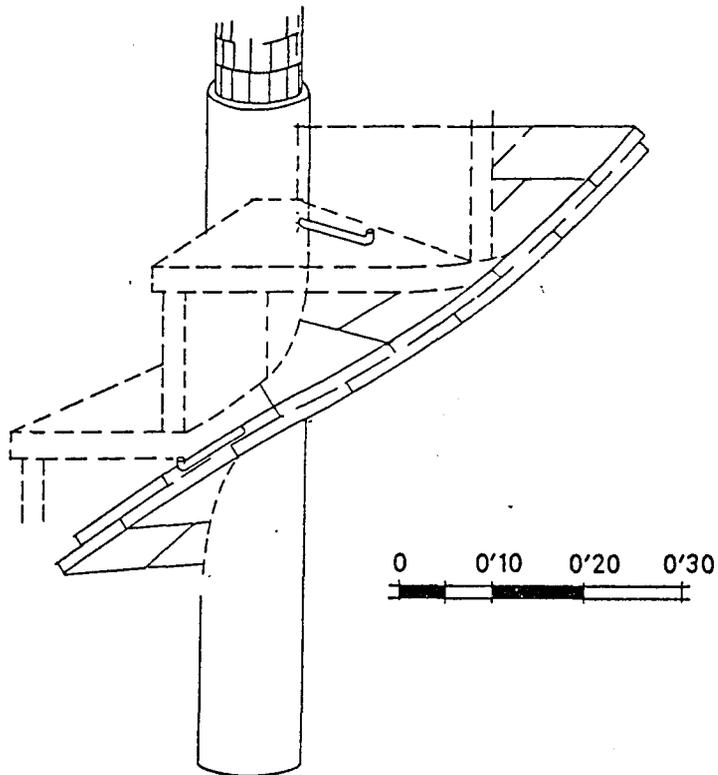
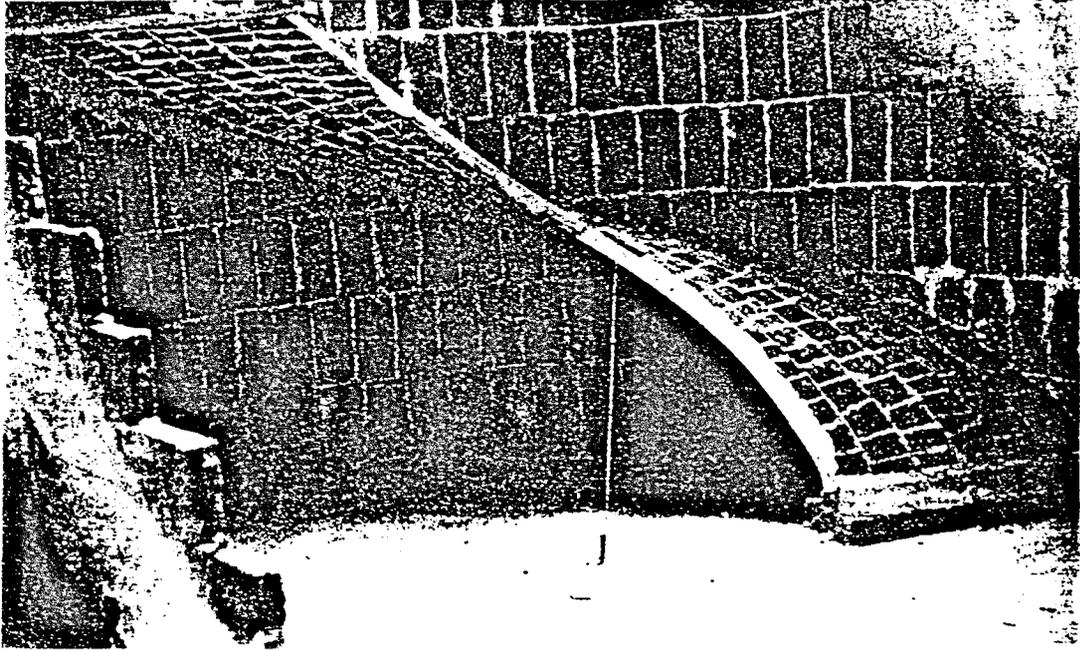


Fig.6a/Fig.6b

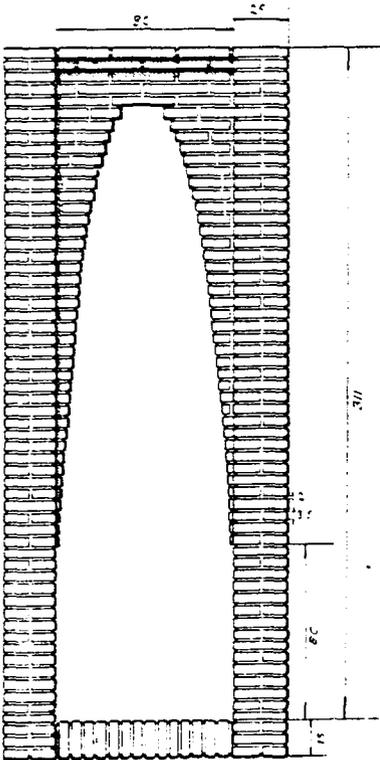
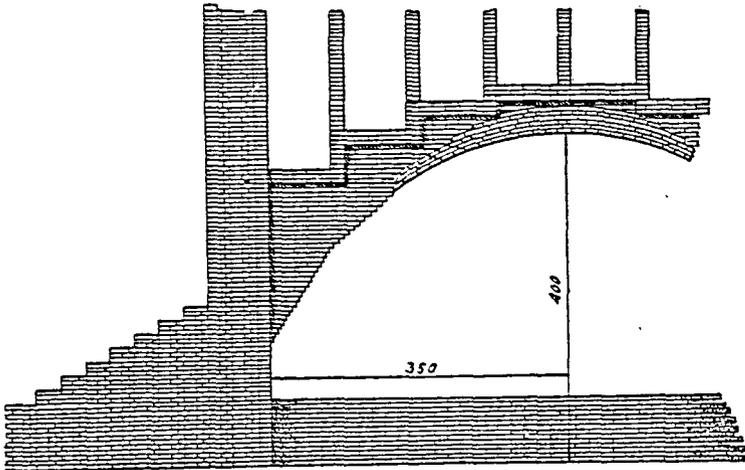


Fig. 7/Fig. 8

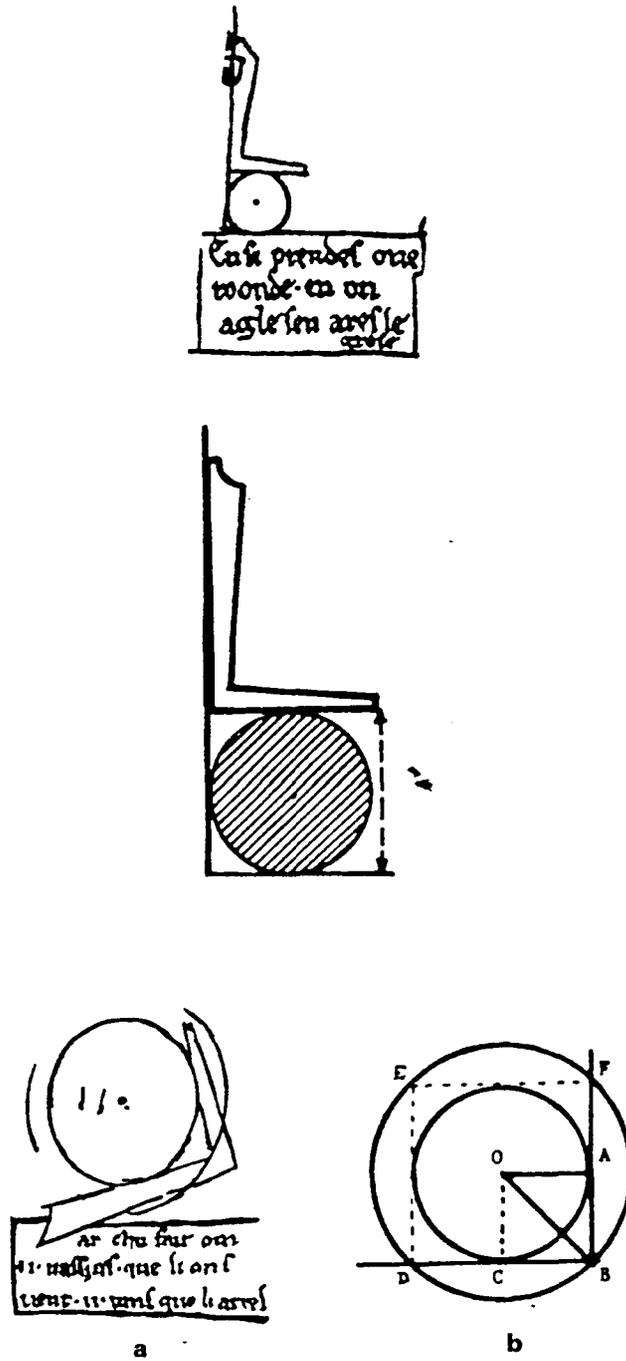


Fig.9