

## Órdenes geométricos complejos en la construcción de trazados reguladores



Lucas Peries

### Resumen

*La ponencia corresponde a la producción del proyecto de investigación “Los órdenes geométricos complejos en la generación de la forma arquitectónica contemporánea” desarrollado en el marco de la Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño, Cátedra Morfología 2B. El proyecto cuenta con subsidio de la SeCyT – UNC y el equipo está integrado por: S. Barraud, N. Colombano, A. Coria, L. Cuevas y M. Scully, bajo la dirección de quien suscribe.*

*La investigación estudia la generación de formas arquitectónicas sustentada en órdenes geométricos complejos, desde la sistematización pormenorizada de alternativas posibles, como categorías estandarizadas, para su aplicación en la configuración morfológica. Nos referimos a la posibilidad concreta de realizar la identificación y clasificación de órdenes geométricos aplicados y/o transferibles a la arquitectura contemporánea.*

*El trabajo es planteado en relación directa con las prácticas de enseñanza y aprendizaje. La propuesta pretende aunar investigación y enseñanza como una oportunidad de acción conjunta para el desarrollo del conocimiento y su potencial retroalimentación.*

*Como resultado principal de la investigación se plantea la producción de un inventario de casos contemporáneos y la organización de la diversidad de tipos geométricos reconocibles, proponiendo un esquema de categorización, a partir de la determinación de los principios de cada tipo.*

Palabras clave: geometría, morfología, arquitectura

Keywords: geometry, morphology, architecture

## Introducción

Encontrar el orden de las formas naturales está en la esencia de la geometría misma. La geometría es una interpretación humana de la naturaleza, un modo artificial de simplificar y comprender la realidad. Quaroni manifiesta que el raciocinio humano, al estudiar los procesos de crecimiento animal, vegetal y mineral "... ha sido capaz de 'reconocer' ciertas formas simples, hallando relaciones particulares entre ellas y en el interior de ellas, es decir, construyendo los sistemas de lógica matemática que se llaman geometrías" (1977, p. 139). En los campos del diseño, el procedimiento analítico de la forma natural para derivar en esquemas o figuras geométricas se invierte, porque generalmente los procesos proyectuales se inician desde la geometría como herramienta para producir formas.

Alsina y Trillas plantean que "La geometría forma parte de la Sintáctica de la Arquitectura y le ha aportado técnicas notables para describir, comunicar y calcular, que no deben confundirse con el resultado final" (1984, p. 16). La sintaxis gramatical es definida como la coordinación y secuencia de los elementos que componen un lenguaje, las relaciones, reglas y principios que dirigen la combinatoria de constituyentes —las palabras o morfemas y sus secuencias—. Desde principios del siglo XIX se reconoce la relación entre sintaxis lingüística y sintaxis arquitectónica en la teoría de Durand sobre la composición por partes, que determina a la propia composición como sintaxis, siguiendo reglas análogas a las de la lingüística. Si nos referimos al lenguaje arquitectónico, las funciones sintácticas —las relaciones de combinación y ordenación— estarían reguladas por la geometría. Pero la geometría en arquitectura por sí sola no produce nada, tiene que ser concretada en forma y materializada.

El orden geométrico habilita y arbitra la generación de la forma, un planteamiento que siempre ha sido un tópico fundamental en todos los campos del diseño y durante los distintos periodos históricos. Sobre este tema abunda la literatura especializada, como por ejemplo los trabajos de Gombrich (1979), Ghyka (1983), Doczi (1996), Elam (2001) o Español (2001). En algunos casos se trata de estudios con carácter técnico en relación a la matemática y en otros priman los análisis de productos del diseño o el arte, e incluso de formas naturales. La clave común de estos antecedentes se encuentra en el tratado de lógicas y principios geométricos de índole clásico o euclidiano. En 2006, Borja Ferrater publica "Sincronizar la geometría: fuentes ideográficas", incluyendo el capítulo "Geometría en el tiempo", en el que se edita una antología de proyectos arquitectónicos enmarcados entre la segunda y última década del siglo XX, con aquellos casos que proponen geometrías alternativas sobre los postulados de la arquitectura moderna. Redes, mallas, pliegues, retículas, superficies regladas y desarrollables, algoritmos y sistemas paramétricos constituyen el catálogo. Esquemas, diagramas o trazados geométricos precisos aparecen como componentes clave y disparadores de las propuestas. Los trazados reguladores se detectan como una constante en el diseño urbano-arquitectónico, en múltiples periodos históricos. El Palacio de Versalles y sus jardines (1661-1692), por ejemplo, reflejan una regularidad compositiva con particiones espaciales y ejes visuales estrictamente definidos —característicos del diseño renacentista—, derivado de un trazado de líneas y figuras geométricas euclidianas. Bernard Tschumi propone múltiples capas de información con un orden en niveles superpuestos y relacionados, para generar el trazado del parque de La Villette (1982). En propuestas más actuales como la Terminal de Yokohama de FOA, también puede identificarse el empleo de trazados geométricos como una práctica vigente y necesaria para aportar rigurosidad geométrica al diseño arquitectónico. Las formas

complejas de los proyectos incluidos en la era digital<sup>1</sup> parecieran ser aleatorias a simple vista, sin embargo, existen profundos y rigurosos estudios geométricos sobre los que se sustentan estas prácticas proyectuales.

En los proyectos contemporáneos —en términos generales—, los trazados derivan del estudio del entorno construido o de la ciudad misma, a modo de “entretejido”, y también de analogías o imitación de formas o sistemas de la naturaleza. En los casos estudiados detectamos el trabajo con **tramas, redes, teselas** planteadas como estructuras de repetición (regulares, semirregulares o irregulares) y la posibilidad de realizar deformaciones topológicas y superposiciones —como capas de información—. También la traducción de órdenes perceptuales interpretados como sistemas de flujos o movimientos y representados en líneas de **trayectorias**.

Todas estas estrategias proyectuales implican recursos alternativos y válidos para construir los trazados geométricos complejos que accionan y regulan la generación morfológica. A continuación presentamos los cuatro tipos de estructuras geométricas estudiadas.

### Tramas

Las tramas geométricas se hacen presentes en el entrecruzamiento de líneas, que en una dimensión material pueden corresponder a los hilos que se cruzan para formar un textil. Claro que en las tramas por sí mismas no hay complejidad, pero detectamos dos modos operativos para la generación de trazados complejos: la distorsión y el *scaling* (escalado), dado que una estructura geométrica de trama puede ser alterada o combinada con otras tramas.

La **distorsión** entendida como alteración, deformación, distensión o estiramiento que se produce en las líneas que constituyen una trama, como si se tratara de entidades elásticas y flexibles, con el sentido de producir complejidad geométrica. Un ejercicio análogo a las exploraciones gráficas realizadas por Durero, a principio del siglo XVI, sobre la deformación cartesiana de la fisonomía animal.

El **scaling** es un proceso desarrollado por Eisenman, en los años setenta del siglo pasado, que consiste en la superposición de tramas con variaciones de escala y posibles rotaciones o desplazamientos. Este proceso es flexible y busca romper con los órdenes clásicos y fragmentar la ortogonalidad.



*Distorsión de trama y scaling de tramas*

<sup>1</sup> La gran producción data de la década del noventa a la actualidad, periodo coincidente con la introducción masiva de los medios digitales como herramientas operacionales en el proceso proyectual y, posteriormente, en la construcción arquitectónica desde la fabricación digital.

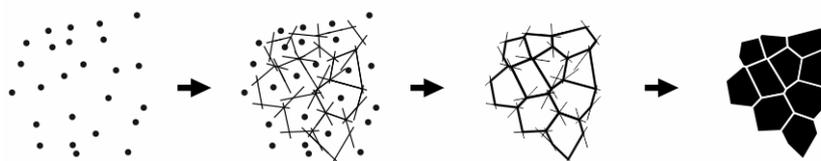
## Teselado

Un **teselado** —o teselación— es un conjunto de teselas —figuras pequeñas— que subdividen o cubren un plano, sin producir superposiciones ni dejar espacios libres. El trabajo con teselas tiene orígenes muy remotos, tanto en técnicas de mosaicos cerámicos como con en textiles. En la naturaleza se las puede identificar en estructuras vegetales y en anidaciones animales, como por ejemplo, los panales de teselación hexagonal de las colmenas.

En la matemática, los teselados simples, regulares o monoédricos se producen por la repetición de polígonos iguales y las teselaciones semirregulares o no uniformes se producen por la combinación de más de un tipo de polígono. Con el transcurso de la historia, en el campo matemático, aparecen estructuras más complejas como por ejemplo: La teselación de Voderberg<sup>2</sup> es la primera en construirse como sistema espiral, a partir de un polígono irregular de 9 lados (eneágono). La teselación de Penrose<sup>3</sup> opera con dos figuras y simetría rotacional, sin producir repeticiones periódicas, superando los patrones repetidos simples.

Cuando los teselados se integran con figuras triangulares aparece el diagrama de Voronoi o la teselación de Dirichlet<sup>4</sup>. Ambas técnicas subdividen un plano en regiones o celdas. El teselado se construye por interpolación de puntos y trazando las mediatrices de los segmentos conectores. Las intersecciones de las mediatrices determinan una serie de polígonos como particiones del plano, de manera que el perímetro de las celdas sea equidistante a los puntos circundantes.

También para las teselas triangulares se emplea el método de triangulación de Delaunay.<sup>5</sup> Esta técnica generativa maximiza el ángulo mínimo de todos los triángulos que generan la estructura triangular y tiende a evitar las figuras obtusángulas.<sup>6</sup>



Proceso de construcción gráfica del teselado de Voronoi

## Redes

Otras alternativas para la generación de trazados geométricos la encontramos en las redes. Se trata de estructuras de orden topológico que vinculan nodos con conexiones no jerárquicas. El interés en las redes y en diversos contextos de conocimiento, se desarrolla desde hace varias décadas con la atención en los sistemas complejos. Tal como lo propone Strogatz (2001), las redes plantean las siguientes características: complejidad estructural; evolución o cambio en el

<sup>2</sup> Propuesta del matemático Heinz Voderberg planteada en 1936.

<sup>3</sup> Propuesta del físico matemático Roger Penrose desarrollada en la década de los 70, en el siglo pasado.

<sup>4</sup> Métodos desarrollados por los matemáticos Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet en 1850 y Georgy Feodosevich Voronoy en 1908.

<sup>5</sup> Boris Nikolaevich Delaunay desarrolla su teoría geométrica a partir de 1934.

<sup>6</sup> Triángulo que tiene un ángulo obtuso: es decir, que mide más de 90°.

tiempo; diversidad de nodos; diversidad de conexiones; alinealidad; metacomplejidad —cuando la dinámica de los nodos afecta a la fuerza de la conexión—.

Baran<sup>7</sup> idea los fundamentos de las redes de comunicación, al desarrollar un sistema de comunicaciones topológico para la defensa militar norteamericana. El autor propone tres alternativas de red partiendo de la misma cantidad de nodos y estableciendo distintas estructuras, derivadas de las diversas posibilidades de conexión: la red centralizada, en la que los nodos se conectan a través de un único nodo central; la red descentralizada, en la que se replica la estructura centralizada en varias redes menores y conectadas; la red distribuida, en la que todos los nodos están conectados, desapareciendo los nodos centrales.

Otra opción para la construcción de redes, a partir de conjuntos arbitrarios de puntos, la encontramos también en el método de triangulación de Delaunay, reseñando en el apartado de teselados.



*Estructuras de red de Baran: centralizada, descentralizada, distribuida.*

## Trayectorias

Cuando la geometría deja de considerarse estática y se atiende al movimiento y el crecimiento entran en acción las estructuras dinámicas. La parábola, por ejemplo, surge a partir de la observación de Galileo (1602) sobre la trayectoria descrita por el lanzamiento de un objeto. Y una curva sinusoidal se interpreta como una proyección en el plano del camino de un punto moviéndose alrededor de un círculo.

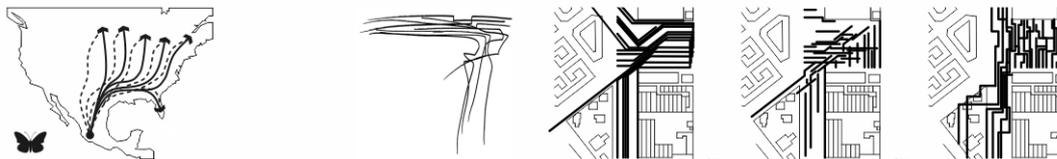
En el campo de la naturaleza, la migración animal puede ser definida como el desplazamiento periódico de individuos migrantes de un hábitat a otro. La conducta colectiva de grandes manadas, bandadas, cardúmenes o enjambres, entre otros tipos de especies, describen distintos patrones migratorios. Estos patrones pueden ser sintetizados en diagramas geométricos <sup>7</sup> cuestiones ampliamente estudiadas y descritas por los etólogos<sup>8</sup>. También en los sistemas naturales de ramificación se reconocen diagramas geométricos. Las estructuras de los vegetales, los ríos, los relámpagos o las vías vasculares, operan con progresiones simples para producir estructuras complejas. El ejemplo característico es la convergencia de tres arroyos formando una corriente, tres corrientes un afluente y tres afluentes un río. Estas estructuras operan tanto por dispersión como concentración y cualquier parte de cualquier dimensión siempre será superada en número por la siguiente dimensión más pequeña.

En arquitectura la propuesta de Hadid<sup>8</sup>, en su discurso teórico, reitera los conceptos de campos de flujos, líneas de fuerzas, sistemas y secuencias de desplazamientos. Además, estudia las pautas de desplazamiento generadas por los sistemas de automóviles, de trenes, de

<sup>7</sup> Fundamentos desarrollados por el ingeniero Paul Baran en 1964, estudios similares son desarrollados por Donald Davies y Leonard Kleinrock.

<sup>8</sup> Planteamientos teóricos y proyectuales desarrollados por Zaha Hadid publicados a partir de 1992.

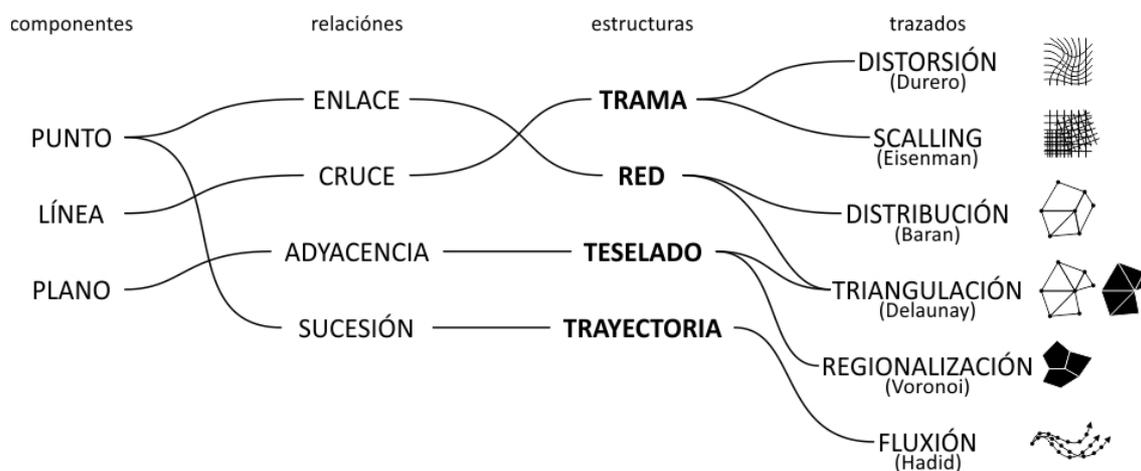
bicicletas y de peatones en los espacios urbanos; cada uno de ellos con sus propias trayectorias que son traducidas a esquemas gráficos. Estos registros iniciales adquieren, durante el proceso de ideación, definición y precisión geométrica, y así se convierten en trazados reguladores que permiten desarrollar la configuración formal.



Esquema de la migración de mariposas Monarca y esquemas de trayectorias para le proyecto MAXXI Roma, Zaha Hadid Architects, 1999

### Conclusión

A partir de los conceptos generales expuestos y los casos reseñados, y con la intención de ordenar la información en un sentido didáctico y orientado a la enseñanza de la morfología arquitectónica, definimos el mapa síntesis que presentamos y explicamos a continuación. Para precisar y adoptar una terminología uniforme respecto de las alternativas reconocidas anteriormente, acompañamos la argumentación con un glosario.



Mapa síntesis de la lógica geométrica de construcción de trazados reguladores

En el desarrollo de la investigación determinamos tres tipos de unidades geométricas elementales, los que denominamos **COMPONENTES**, estos son:

- **Punto:** unidad geométrica abstracta sin dimensión.
- **Línea:** unidad geométrica unidimensional.
- **Plano:** unidad geométrica bidimensional y superficial.

Estos componentes pueden establecer conexiones o unirse de determinado modo específico dando por resultado una estructura geométrica. Las **RELACIONES** entre componentes son:

- **Enlace:** unión o conexión de puntos que genera una estructura.

- **Cruce:** intersección de líneas que genera una estructura.
- **Adyacencia:** aproximación de planos que genera una estructura.
- **Sucesión:** desplazamiento de puntos que genera una estructura.

Las **ESTRUCTURAS** geométricas, entendidas como la distribución y orden lógico de componentes, se diferencian en:

- **Trama:** estructura geométrica compuesta por líneas cruzadas.
- **Red:** estructura geométrica compuesta por nodos enlazados.
- **Teselado:** estructura geométrica compuesta por planos adyacentes.
- **Trayectoria:** estructura geométrica que representa la sucesión de puntos en movimiento.

La selección o generación de estos tipos de estructuras desencadena en la construcción de **TRAZADOS** reguladores. Los trazados son una estructura geométrica con determinada lógica organizativa y procedimental. Se pueden reconocer diversos tipos de trazados según el tipo de estructura de la que provenga y de las acciones procedimentales que se apliquen. En esta investigación estudiamos seis tipos de trazados:

- **Distorsión:** desequilibrio o torsión de las líneas que integran una trama para generar trazados complejos, derivado de los estudios de Durero (aprox. 1500).
- **Scalling** (escalado): ampliación y/o reducción de tramas superpuestas con posibles desplazamientos para generar trazados complejos, derivado de los estudios de Eisenman (1969).
- **Distribución:** unión de puntos por enlaces para generar trazados complejos de redes, derivado de los estudios de Barán sobre las redes de comunicación (1964).
- **Triangulación:** unión de tres puntos por enlaces o unión de planos triangulares por adyacencia para generar trazados complejos de redes o teselas, derivado del procedimiento de Delauney (1934).
- **Regionalización:** circunscripción de los planos que generan un trazado teselar complejo, derivado del procedimiento de Voronoi (1908).
- **Fluxión:** sucesión de puntos que fluyen en el espacio y definen trayectorias para generar trazados complejos, derivado de los conceptos de Hadid (1992).

En la definición de cada tipo de trazado incorporamos un autor referente, dado que la operación geométrica con la que se interviene o la lógica organizativa deriva del trabajo de esos autores.

Los procesos de tridimensionalización de estos tipos de trazados complejos, para la generación de formas arquitectónicas, son explorados en esta misma investigación y su exposición queda pendiente para un próximo escrito.

## Bibliografía

Alsina, C. y Trillas, E. (1984). *Lecciones de álgebra y geometría para estudiantes de arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gili.

Baran, P. (1964). *On distributed communications: I. Introduction to distributed communications networks*. Santa Monica: Rand Corporation.

Doczi, G. (1996). *El poder de los límites: proporciones armónicas en la naturaleza, el arte y la arquitectura* (Trad. A. Vucetich). Buenos Aires: Troquel.

Elam, K. (2001). *Geometry of design*. New York: Princeton Architectural Press.

Español, J. (2001). *El orden frágil de la arquitectura*. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos.

Ferrater, B. (2006). *Sincronizar la geometría: fuentes ideográficas*. Barcelona: Actar.

Ghyka, M. (1983). *Estética de las proporciones en la naturaleza y en las artes* (Trad. J. Bosch Bousquet). Barcelona: Poseidón.

Gombrich, E. H. (1979/1999). *El sentido del orden* (Trad. E. Rimbau i Saurí). Madrid: Debate.

Quaroni, L. (1987). La geometría de la arquitectura. En L. Quaroni, *Proyectar un edificio: ocho lecciones de arquitectura*, 134-158. Madrid: Xarait.

Strogatz, S. (2001). Explorando las redes complejas (Trad. M. Barahona). *Fisuras de la cultura contemporánea, Enredados*, 125-145.

ISBN 978-987-4415-32-5



9 789874 415325