

MARÍA LORETO FLORES R.*

NET.LAB: ¿Algoritmo *versus* arquitectura? Diagrama de Voronoi como herramienta de diseño

NETLAB: ¿Algorithm vs. architecture? Chart Voronoi as design tool

<RESUMEN>

NET.LAB es el proyecto de investigación en diseño realizado en el marco del March Design Research Laboratory (DRL) por el equipo formado por Ibraheem Ammash, Jimena Araíza, María Loreto Flores y Ahmad Sukkar en la Architectural Association School of Architecture, Londres, entre 2004 y 2006.

El objetivo de esta investigación fue la aplicación de algoritmos en la generación de espacios arquitectónicos articulando una amplia variedad de sistemas sociales, escalas y requerimientos programáticos. La implementación de la herramienta elegida, el Diagrama de Voronoi, representó dos desafíos principales a la investigación: en primer término, de qué forma el protocolo matemático informaría al diseño y en segundo lugar, como conjugar los resultados obtenidos con la voluntad estética del diseñador.

Con este fin, la investigación incluyó una serie de experimentos digitales y físicos, los cuales plantearon un cuestionamiento directo a las habilidades y rol del arquitecto dentro de un proceso digitalmente dirigido, en el cual más allá de crear una forma específica, se requiere la articulación de nuevas lógicas de diseño.

<ABSTRACT>

NET.LAB is the design research project carried out by the team of Ibraheem Ammash, Jimena Araiza, Maria Loreto Flores and Ahmad Sukkar, for the March Design Research Laboratory (DRL) at the Architectural Association School of Architecture, between 2004 and 2006.

This research explores how algorithms can be applied parametrically in order to generate architectural spaces, articulating a variety of social systems, scales and program requirements. The application of the selected tool, the Voronoi Diagram brought two main challenges for the research: first, how the mathematical tool could inform the design, and second, how to complement the outputs with the designers will.

With this purpose, the research involved several digital and physical experiments, in which the architect's role was to articulate design logics and explore a new range of formal possibilities rather than modelling a unique form.

<PALABRAS CLAVE>

ALGORITMO / DISEÑO PARAMÉTRICO / DIAGRAMA
DE VORONOI / ESTRUCTURA CELULAR

<KEY WORDS>

ALGORITHM / PARAMETRIC DESIGN / VORONOI
DIAGRAM / CELL STRUCTURE

Introducción

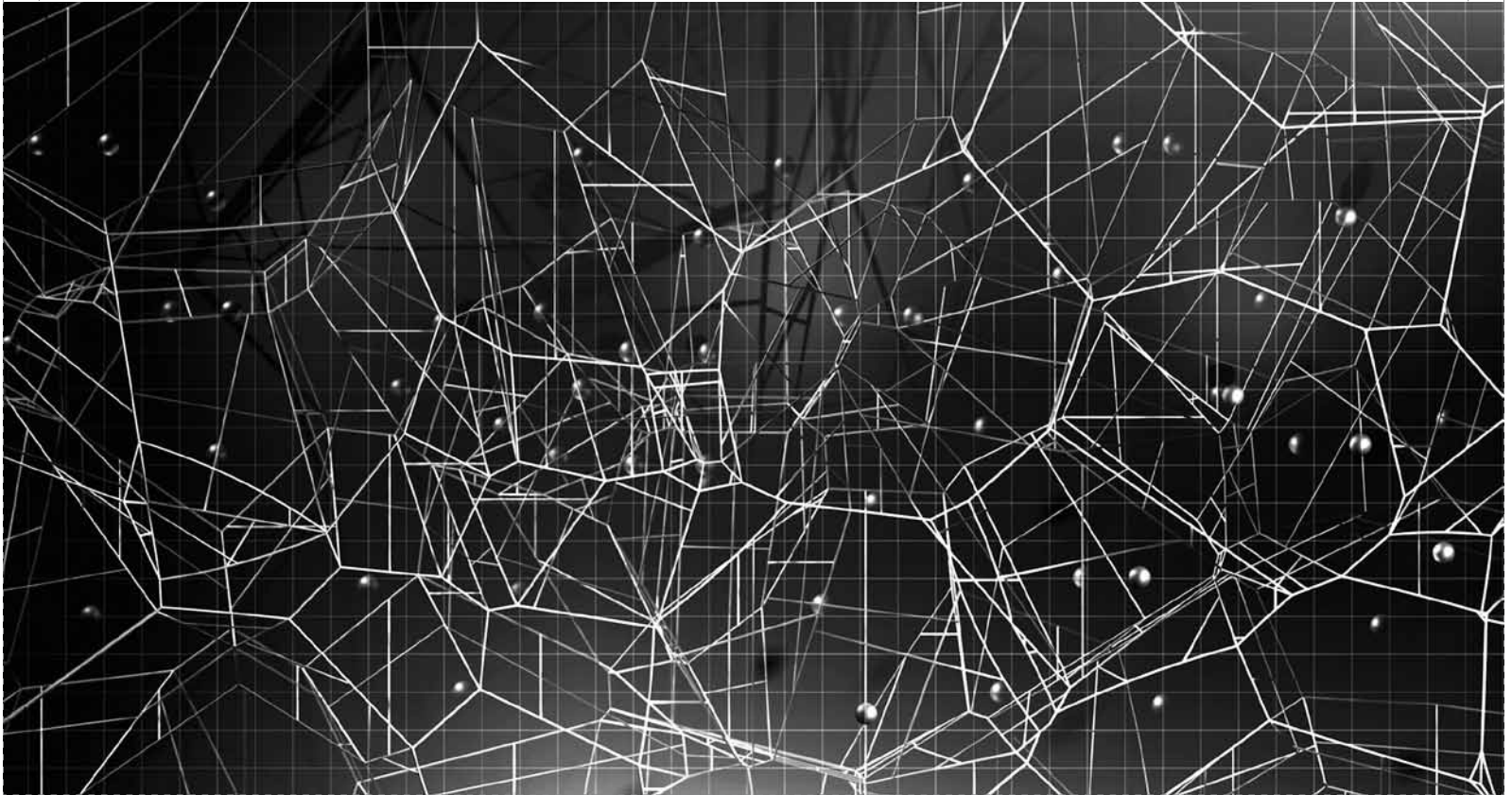
La creciente aplicación de herramientas digitales en los procesos de diseño, está abriendo nuevos territorios para la exploración en arquitectura, permitiendo no sólo el desarrollo de nuevos repertorios formales y el uso de materiales capaces de construir geometrías complejas, sino además, reformulando radicalmente la relación entre la concepción y producción de la forma.

Los procesos digitalmente dirigidos operan mediante la integración de las múltiples escalas que informan el diseño, haciendo posible la optimización de los resultados a través de su evaluación continua de acuerdo a los requerimientos primarios del encargo.

La implementación de algoritmos, por ejemplo, utilizados como medios de simulación y exploración conceptual en primera instancia –pero que actualmente han ganando terreno

* Arquitecto y académico FAU, Universidad de Chile (2002). *Master Design Research Laboratory (DRL) Architectural Association School of Architecture en Londres (2004-2006)*. Actualmente trabaja en *Zaha Hadid Architects*.

Figura 1: Representación bidimensional del sistema celular generado a través del Diagrama de Voronoi.



como herramientas de diseño— ha disipado los límites entre la arquitectura y otras disciplinas, representando, además, un cuestionamiento concreto al rol que el arquitecto debe asumir en un escenario, donde más allá de crear una forma determinada, debe articular un conjunto de operaciones para la derivación de ésta, requiriendo una especialización de conocimientos en cuanto programación y protocolos digitales.

Algoritmo como herramienta de diseño: De la representación 2d a la expresión 3d

La investigación de NET.LAB¹ se centró en la búsqueda de un algoritmo capaz de generar un espacio arquitectónico basado en los

principios de la organización P2P (Peer to Peer) con la intención de conectar distintos tipos de usuarios y patrones de organización dentro de una red de trabajo no lineal. Bajo esta premisa, el Diagrama de Voronoi² surgió como una alternativa interesante debido a su representación como estructura celular altamente diferenciada pero no obstante continua (Figura 1).

El primer paso fue entender como el algoritmo operaba, cuál era el tipo de información inicial que requería y cuáles eran las condiciones espaciales y estéticas de sus resultados. Con este fin, se realizaron experimentos aplicando la herramienta en un sentido representacional y de modelamiento básico, lo cual permitió analizar de qué forma los datos de usuarios, contexto y programa podrían transformarse en valores asimilables por el algoritmo.

Escenario 1: Voronoi como Diagrama Organizacional

El primer escenario consistió en utilizar Voronoi como herramienta representacional. Para este fin se escogió un espacio de trabajo real (ARUP London), dentro del cual se analizaron patrones de distribución y agregación de individuos y grupos. La plataforma escogida fue el *Voronoi Software*³ herramienta desarrollada en MIT, para calcular el algoritmo y generar la estructura básica a partir de un conjunto de coordenadas dadas. La primera operación fue mapear la organización interna del espacio definiendo la posición de los usuarios en (x, y, z) e ingresar la información al *software*. El resultado obtenido fue una malla poligonal que representa las áreas de influencia de cada usuario y las relaciones de dependencia entre éstos (Figura 2).

¹ NET.LAB ha sido exhibido en la *AA Projects Review 2007* y Biental Internacional de Arquitectura de Beijing 2006. Publicado en *AD Magazine* «Collective Intelligence in Design» y «Architextiles». Ganador de la *Design Merit Award Feidad 2006* en Taiwán (www.gnome-netlab.com).

² El Diagrama de Voronoi fue desarrollado por el matemático Petter-Lejeune-Dirichle en 1850 y luego por Voronoi en 1920, quien lo tradujo a un concepto dual junto a la Triangulación de Delaunay. Su uso se expandió a muchas disciplinas por su amplio rango de aplicaciones, especialmente en la descripción de superestructuras presentes en la naturaleza, tales como la agregación de los cristales y las burbujas. Más información al respecto puede ser encontrada en <http://www.voronoi.com>

³ Este *software* fue desarrollado en el Departamento de Arquitectura del Massachusetts, *Institute of Technology* (MIT) y facilitado con fines académicos al equipo *g_ome* para su testeo en un proyecto de diseño concreto.

Escenario 2: Voronoi como Volumetría

El segundo escenario consistió en testear Voronoi con el fin de obtener una expresión volumétrica simple. Se planteó un programa en metros cuadrados y número de usuarios específicos cuya relación matemática, permitió obtener las coordenadas necesarias. Lo anterior requirió además, ampliar la plataforma de trabajo e introducir el *script* arrojado por el *Voronoi Software* en programas de modelado tridimensional, en este caso *Rhinoceros* y *3dmax*. El resultado obtenido fue un volumen constituido por células de distintas dimensiones y con un interesante patrón de distribución en términos de densidad de agregación. Esta volumetría fue entendida como un punto de partida para el diseño del espacio arquitectónico.

Escenario 3: Voronoi como Volumetría en un contexto específico

El tercer escenario planteó un encargo real, con un programa, sitio y usuarios investigados acuciosamente, cuyos datos se tradujeron en una serie de capas de coordenadas. El resultado obtenido fue un sistema espacial subdividido de acuerdo a la densidad de puntos y a la cantidad de movimientos registrados por áreas de actividad (información en coordenadas). La inserción urbana del espacio estuvo basada en una red de colaboración manifiesta en la unión espacial de programas de distintos edificios sobre un área central, lo que se tradujo más bien en la creación de un espacio semipúblico interesante, pero con una expresión estética bastante homogénea y predecible (Figura 3).

Modificación de la herramienta y limitantes del proceso

Uno de los avances más importantes de esta primera fase de exploración fue entender la correlación entre los datos iniciales y los resultados formales del algoritmo en los 3 escenarios descritos, es decir, la correspondencia entre valores, cantidad y posicionamiento de coordenadas en el espacio y las características de las células generadas en cuanto tamaño y modos de agregación.

Por otra parte, fue posible observar que la impronta organizacional del algoritmo no genera conexiones espaciales o circulaciones al interior de la estructura celular, sino más

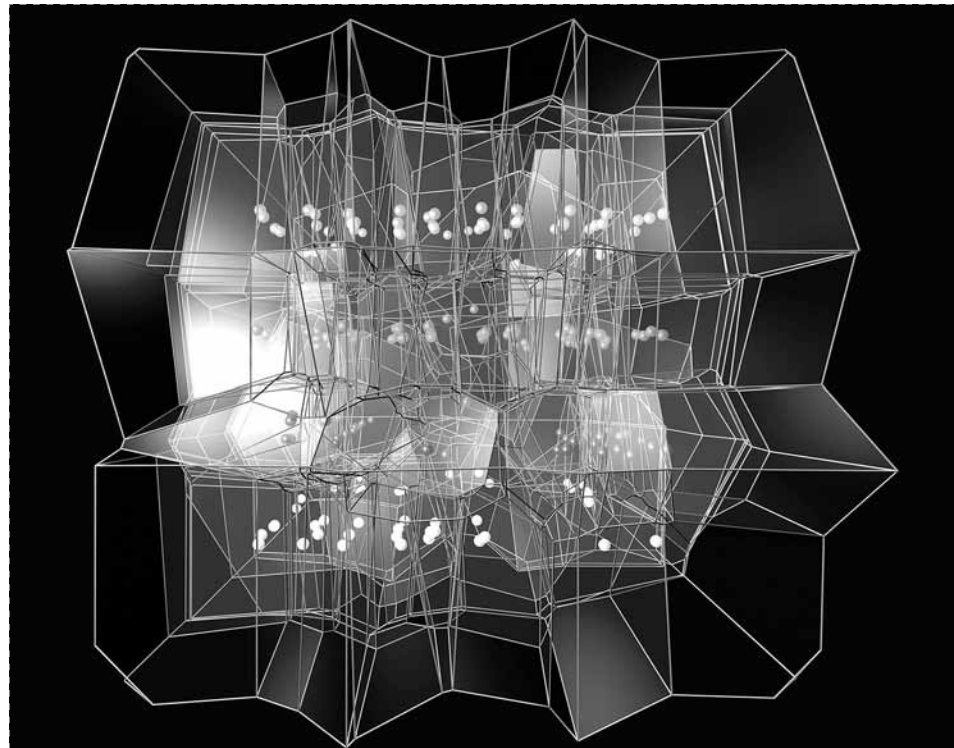


Figura 2: Fase Exploración de la herramienta. Diagrama de Voronoi como herramienta Representacional y de mapeo para un espacio de trabajo real (Oficinas ARUP, Londres).

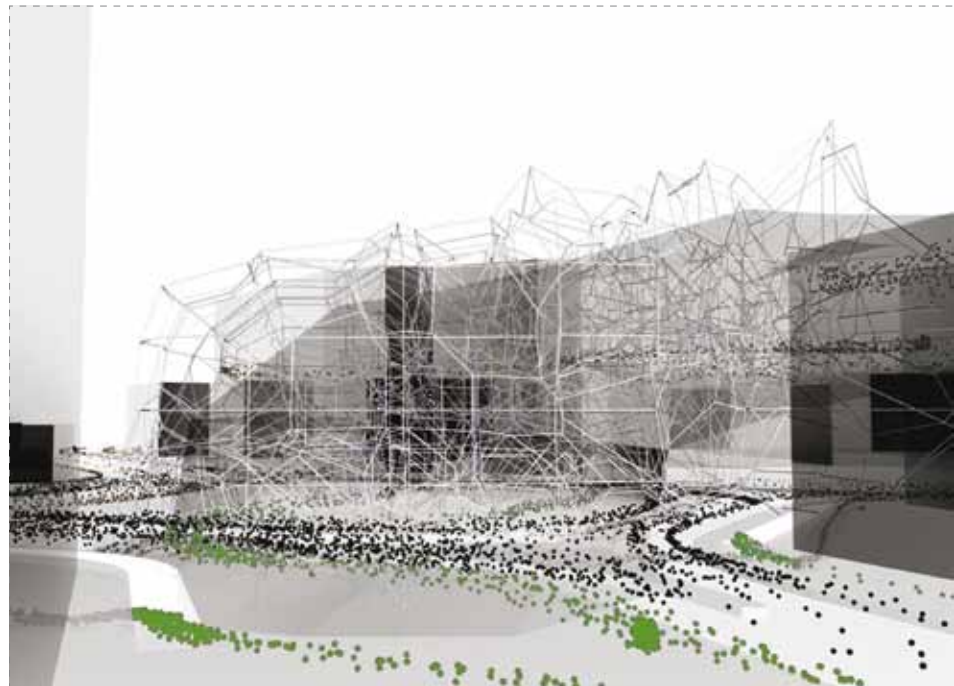


Figura 3: Fase Exploración de la herramienta. Diagrama de Voronoi como herramienta de Modelado para un contexto, usuario y programa reales (*Old Street Station*, Londres).

bien una volumetría compacta con una expresión estética bastante homogénea y predecible para los tres casos.

En consecuencia, si bien el algoritmo demostró ser una plataforma de exploración interesante, se hizo necesario llevar a cabo un proceso de diseño más avanzado. Asimilar las coordenadas a cantidad de usuarios o espacios necesarios en la configuración espacial era un idea bastante reduccionista, que lógicamente limitaba aún más nuevos descubrimientos.

La conclusión fue que estos resultados iniciales, podrían ser optimizados modificando la herramienta misma, es decir, cambiando las reglas operativas del algoritmo, para generar variaciones en la tradicional estructura de Voronoi, en cuanto escala, proporción y expresión de las células primarias. La plataforma de trabajo general continuó siendo el *Voronoi Software*, pero se decidió incluir otros conceptos asociados al algoritmo base, tales como la Triangulación de Delaunay⁴ y el modelado con Point Cloud⁵, con el fin de obtener estructuras geométricas similares a través de procedimientos más flexibles en plataformas tridimensionales, *Rhinceros*, *3dmax* y *Maya*.

Articulación de las lógicas de diseño y nuevas herramientas algorítmicas

La segunda fase de la investigación estuvo dirigida a la modificación de la herramienta y la definición de estrategias para obtener alternativas de mayor calidad espacial. Con este fin, se estableció que el resultado debía reunir cinco condiciones básicas para ser entendido como un espacio habitable. Estas condiciones se denominaron «Sistemas de Diseño» y cada una de ellas incluyó el desarrollo de una lógica específica traducida luego en una «Herramienta Algorítmica» determinada.

Los sistemas de diseño definidos fueron los siguientes: Diferenciación celular, Angularidad de superficies, Circulación y conexión espacial, Particiones interiores y Generación de superficies curvas. Todos ellos requirieron de una serie de experimentos desarrollados independientemente, lo que produjo una especialización al interior del proceso general.

⁴ Triangulación de la Delaunay es una red de triángulos que cumple la condición de que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo.

⁵ *Point Cloud* es un conjunto tridimensional de puntos que describen los contornos o las características de la envolvente.

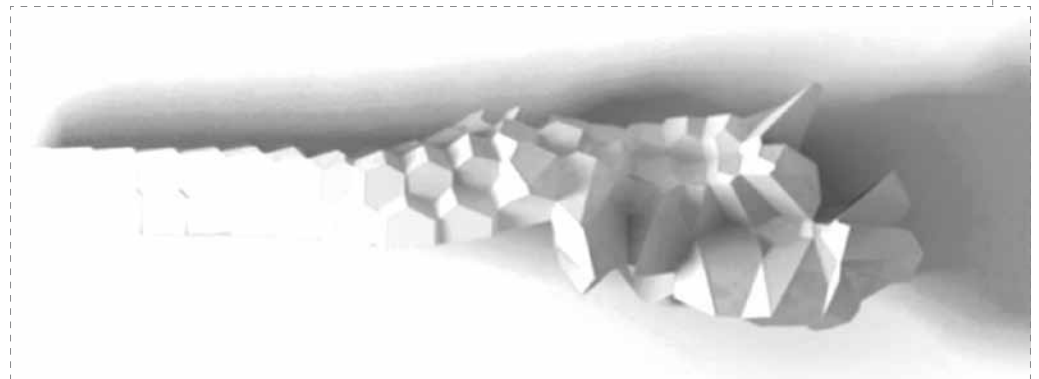


Figura 4: Fase de Modificación de la herramienta. Diferenciación Celular. Derivación de un patrón de células regulares a uno totalmente irregular.

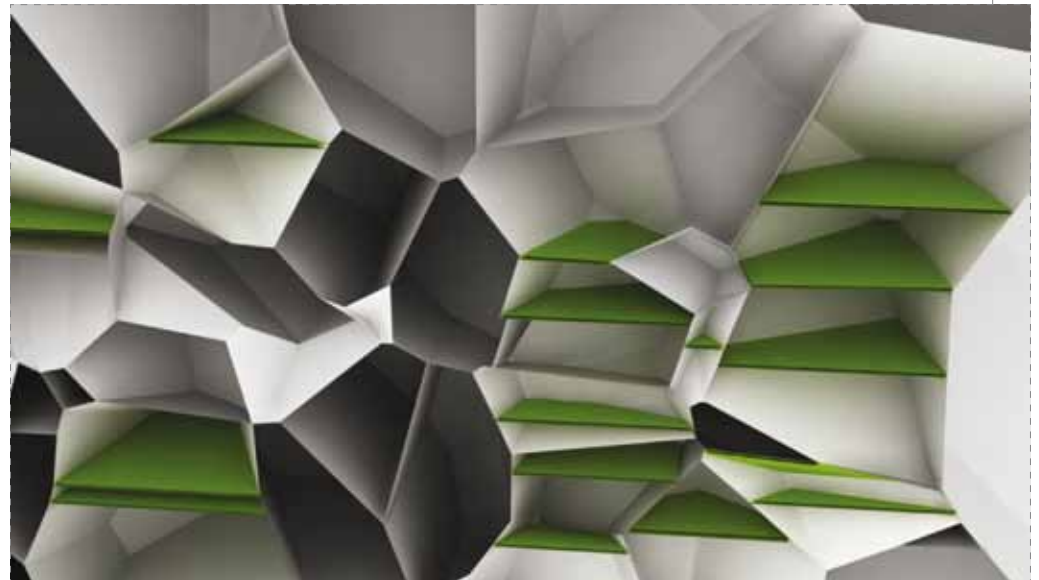


Figura 5: Fase de Modificación de la herramienta. Superficies Horizontales.

Diferenciación celular

Las células de Voronoi fueron entendidas desde el principio como la unidad básica del espacio creado, por tanto, su diferenciación y capacidad de ser aisladas de la estructura total, fue considerado un punto vital dentro de las estrategias de diseño. A través de la diversidad de tamaños y proporciones podría lograrse jerarquía y distribución del espacio de acuerdo a los requerimientos métricos del programa. Por otra parte, desde un punto de vista formal, fue posible el desarrollo de la estructura derivando su forma desde un patrón regular de formas más bien cuadradas hasta uno completamente irregular (Figura 4).

Superficies habitables

La gran variación angular presente en la tradicional estructura de Voronoi hacía muy difícil el entendimiento de ésta como un espacio habitable. Al estar directamente relacionada con la distancia y posición de las coordenadas, esta variable fue fácilmente abordada a través de la idea de la duplicación de superficies donde situar la coordenada más próxima, obteniendo de este modo el protocolo preciso para generar superficies horizontales dentro de la configuración (Figura 5).

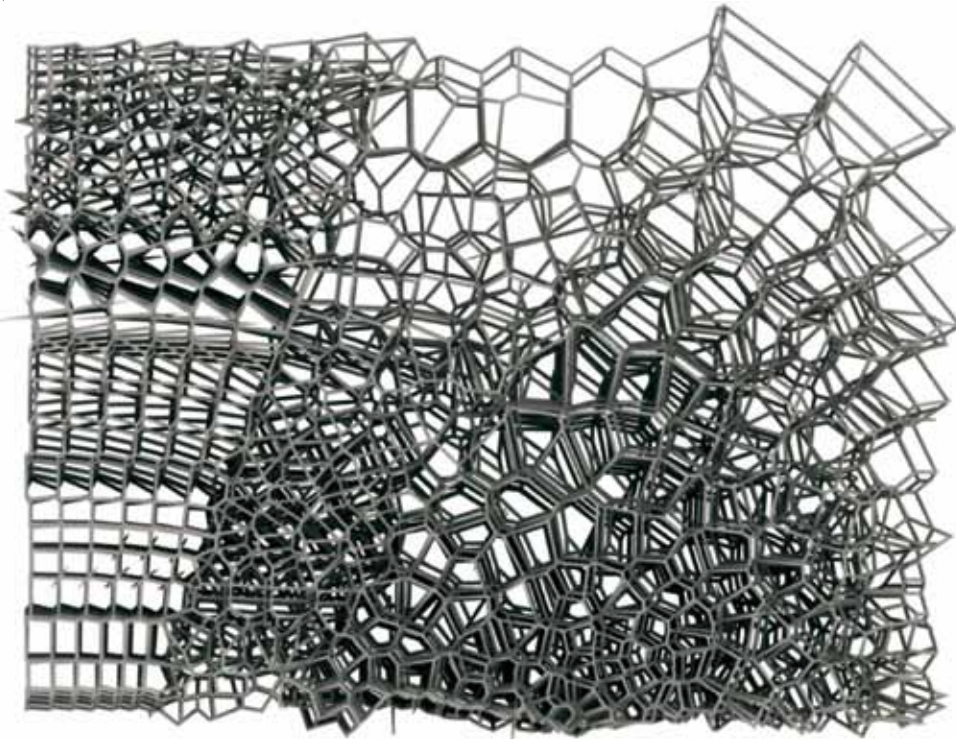


Imagen 6: Fase de Modificación de la herramienta. Sistema de Particiones Interior.

Circulaciones y conexión espacial

Al interior de la estructura de Voronoi, las células están conectadas unas con otras compartiendo superficies, por tanto no presentan ninguna alternativa de conexión o circulación entre ellas. Para abordar este tópico se plantearon 3 métodos diferentes: crear superficies paralelas a cierta línea de borde, eliminar células horadando la estructura y localizar puntos en una curva al interior de la estructura, generando una secuencia de células auxiliares posibles de eliminar.

Particiones interiores

Con la misma impronta anterior, se consideró necesario pensar en una cualificación del espacio interior, a través de la diferenciación de escala, espesores y alturas de las superficies interiores de las células obteniendo conexiones visuales y espaciales, además, de un mejor acondicionamiento ambiental, a través del paso de la luz, ventilación, etc. La estrategia utilizada fue el desarrollo de distintos patrones de puntos o coordenadas cuya densidad de agregación y ángulo de inclinación permitió a la estructura celular desarrollar nuevas propiedades de permeabilidad, porosidad, densidad y orientación con respecto a la luz (Figura 6).

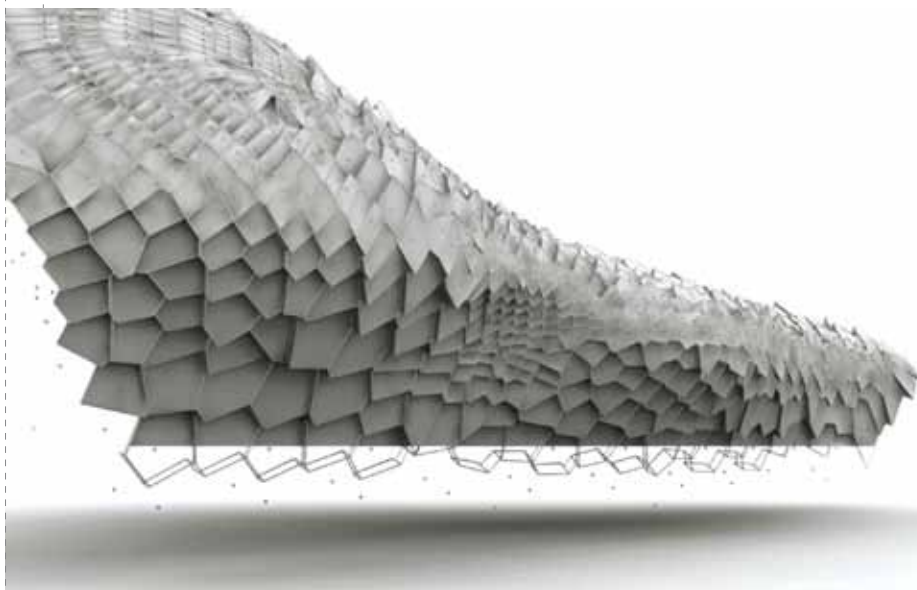


Imagen 7: Fase de Modificación de la herramienta. Generación Superficies Curvas.

Superficies curvas

Pensando en nuevas alternativas estéticas para el espacio interior, se realizó un experimento basado exclusivamente en la variable cantidad de puntos, dispuestos sobre curvas definidas en el espacio con el fin de obtener superficies más flexibles y sinuosas. Esta estrategia significó uno de los descubrimientos más interesantes, pues planteó un cambio radical en la estética observada hasta ahora, representada por una geometría angular (Figura 7).

El proceso de iteración de NET.LAB

Habiendo desarrollado una lógica operativa y nuevas herramientas de derivación formal, se planteó la generación de un espacio arquitectónico concreto, el proyecto NET.LAB como instancia final de la investigación del *MarchDRL*. Este proyecto contemplaría la aplicación integrada de todas las experiencias anteriores, en la forma de un *plug-in*⁶ desarrollado por el equipo de trabajo.

NET.LAB propuso un espacio de trabajo basado en los principios de la organización

Peer to Peer con la intención de conectar distintos tipos de usuarios, ARUP, Tyndall Centre y London Metropolitan University. El sitio elegido fue el actual terreno de la London Met University junto a la estación de metro de Tower Hill, con la cual el espacio establecía un vínculo directo (Figura 8).

Usuarios, sitio y programa fueron analizados bajo la lógica de Voronoi por medio de una serie de diagramas tridimensionales, situados en el contexto real por medio de geometrías auxiliares: planos, triángulos, esferas y curvas. La primera configuración consistió en una estructura de esferas entendidas como células de Voronoi. Luego se agregaron planos circulares cuyo punto central se relacionaba directamente con los centros de las esferas y permitían imaginar los límites o bordes de la nueva volumetría, además de las posibles localizaciones de superficies horizontales. Procesado por el algoritmo, cada plano circular fue subdividido en triángulos, los cuales aumentaron el número de puntos de la estructura, generando células interiores menores. En las zonas que el programa requería menor complejidad se mantuvieron los planos circulares para evitar la triangulación. Finalmente se introdujeron curvas en sentido vertical y horizontal, cuya secuencia de puntos creó circulaciones y vacíos interiores (Figura 9).

El objetivo de estos diagramas fue modificar la información inicial previamente al uso de las herramientas algorítmicas. Este ejercicio fue bastante útil para prever la expresión de los resultados procesados por el *plug-in*, principalmente en cuanto proporciones y relaciones con el contexto inmediato.

La serie de iteraciones obtenidas de este doble proceso de ajuste y evaluación produjo un rango de posibles espacios para NET.LAB, dentro del cual fue posible elegir la alternativa más atinente a los requerimientos del proyecto y a la voluntad estética del diseñador (Figura 10). La configuración seleccionada fue posteriormente abordada en detalle para efectos de análisis y conclusión de un proceso. Los sistemas de diseño fueron aplicados en distintas escalas obteniéndose diferenciación y cualificación del espacio para fachada, espesores de superficies, particiones interiores y proporciones de circulaciones (Figura 11).

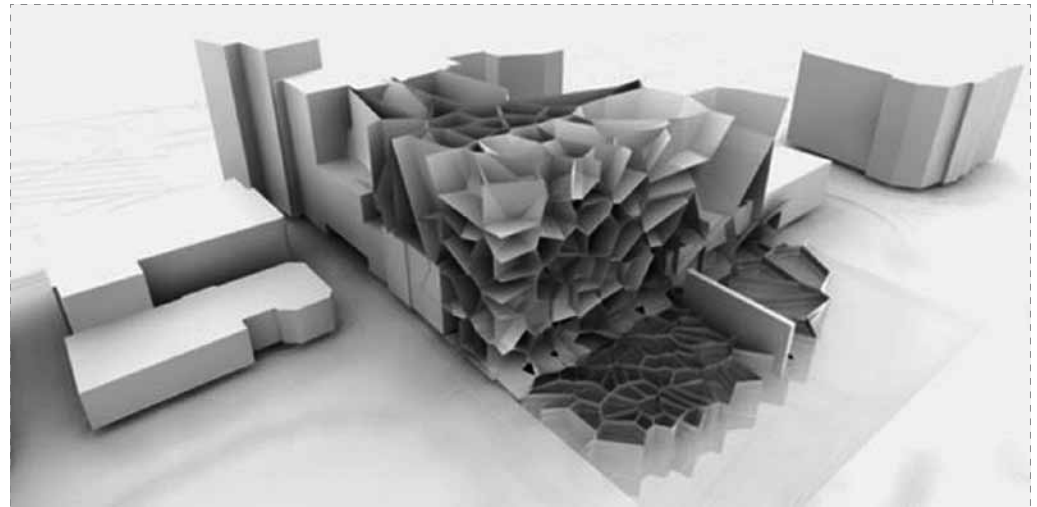


Figura 8: Interface del *plug-in* creado por el equipo de trabajo durante la investigación. Este reúne gráficamente los sistemas de diseño explorados anteriormente.

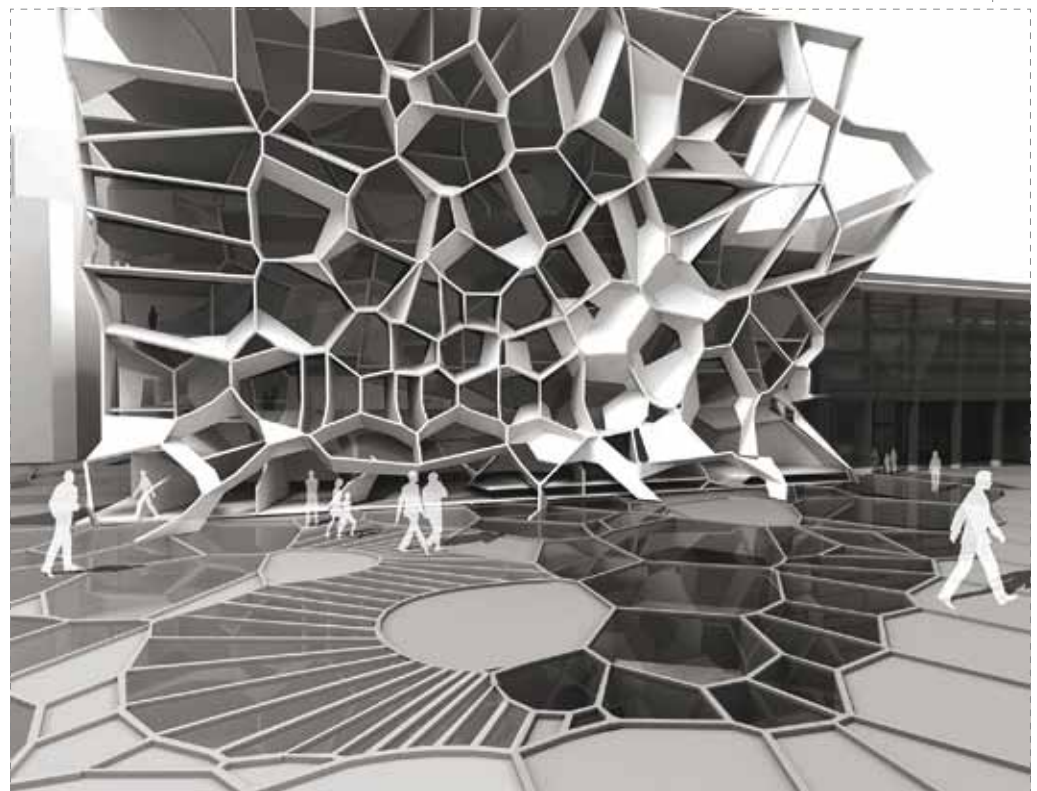


Figura 9: Proceso de Iteración de NET.LAB.

⁶ Este *plug-in* desarrollado por el equipo de trabajo durante el transcurso de esta investigación, es una herramienta aun no registrada ni testeada en otros proyectos, pero representa una interesante modificación del set de reglas iniciales del *software* desarrollado en MIT.

Figuran 10: NET.LAB propuso un espacio de trabajo para conectar distintos tipos de usuarios, ARUP, Tyndall Centre y London Metropolitan University. El sitio elegido fue el actual terreno de la LondonMet University junto a Tower Hill.

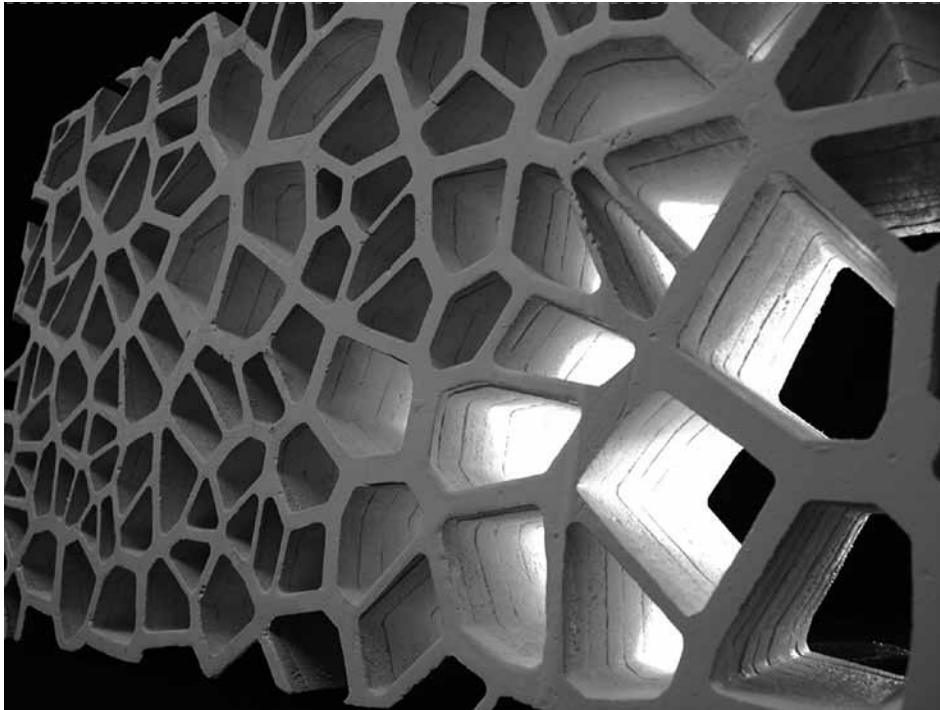
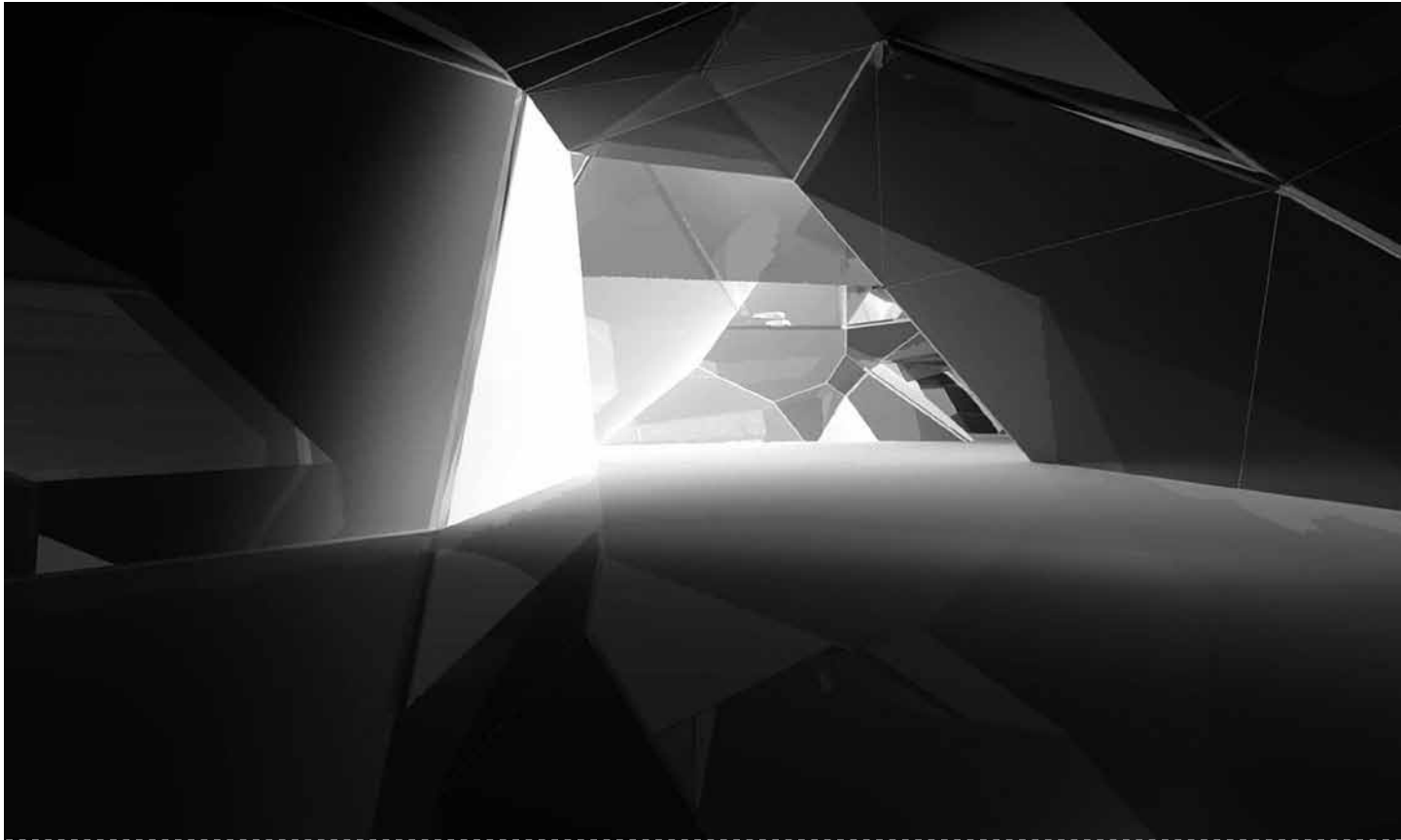


Figura 11: Modelo realizado en CNC que muestra una pieza de fachada.

Aplicaciones posteriores de la investigación

Si bien se ha mencionado que el proceso de investigación de NET.LAB consideró experimentos físicos, podría afirmarse que su desarrollo digital es bastante más extenso y variado. De hecho, este fue uno de los aspectos que más interrogantes planteó al momento de validar la generación de espacios a través de herramientas algorítmicas: ¿Cómo se materializa la continuidad y fluidez expresada en los modelos virtuales? ¿Cuáles son los principios estructurales que permiten la estabilidad de una agregación celular tal? ¿Cómo se construyen las uniones entre células?

La realización de un modelo a escala 1:1 encargado a *g_rome* como parte de la Exhibición Anual de Proyectos de la AA, fue la instancia propicia para analizar lo anterior. La propuesta consistió en construir un grupo de células a escala real, capaces de servir como bases para la muestra de modelos y libros. Las piezas fueron realizadas en madera con uniones elásticas y fijas dependiendo de la posición de la célula en el conjunto. Por medio de este simple ejercicio se pudo enfrentar

Figura 12: Vista del montaje realizado para la AA Projects Review 2007 en Londres.



condiciones críticas de la estructura, tales como las uniones entre células, la relación espesor del material-dimensiones de la célula y la utilidad de las superficies inclinadas (Figura 12).

Conclusión

El proceso de exploración y diseño desarrollado en el marco de NET.LAB permitió demostrar que es posible generar espacios a través de un proceso algorítmicamente dirigido, utilizando en este caso el Diagrama de Voronoi, a través de la organización de datos de usuario y contexto determinados, no obstante, la configuración espacial obtenida al final del proceso no debe ser entendida como un evento aislado, sino más bien como la conjugación de una serie de etapas de exploración y ajuste de las herramientas de diseño.

Desde el punto de vista digital, el proceso consiguió interesantes logros en cuanto desarrollo de nuevas lógicas a partir del algoritmo base y planteamiento de un repertorio formal distinto a la expresión convencional del Voronoi. El desarrollo de un *plug-in*, capaz de reproducir la estructura geométrica del algoritmo a partir de conceptos asociados como la triangulación de Delanuy y Point Clouds, abre un escenario nuevo, menos abstracto y más adecuado al lenguaje tridimensional que la arquitectura requiere.

Desde el punto de vista físico, sin embargo, aún es necesario investigar una relación más directa entre la forma generada y el como construirla. Es fundamental estudiar cuáles son los parámetros que sería posible programar para obtener una estructura coherente a distintas escalas sin perder la fluidez de la configuración general.

Finalmente, el uso de este tipo de herramientas, si bien abre una instancia de exploración formal interesante, genera al mismo tiempo un campo de resultados limitado por las reglas que las constituyen. En este sentido, puede afirmarse que NET.LAB constituyó en su etapa final, un ejercicio de hibridación entre la manipulación tridimensional de datos y la variación algorítmica de éstos, es decir, se incluyeron etapas de pre y postproducción de la forma no guiadas por las reglas del algoritmo, con el fin considerar variables sociales, culturales y estéticas que el protocolo digital no considera.