

# 39

## Algoritmos de generación geométrica en la formación del arquitecto

**Andrea Carnicero, Gustavo Fornari y Sebastián González Botasi**

Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Argentina

### RESUMEN

Como docentes de la materia Elementos de Matemática en la Facultad de Arquitectura de la UNLP nos encontramos trabajando en la elaboración de estrategias que involucran la exploración de herramientas de software específicas que posibilitan el uso de código y programación como herramientas de exploración proyectual con el fin de afianzar los contenidos teóricos y completar el proceso de aprendizaje. Optamos por utilizar el software Processing ya que, al ser de código abierto, nos permite iniciarnos en la programación y jugar directamente con el código obteniendo resultados inmediatos. El programa nos brinda una hoja en blanco para comenzar a bocetar y probar ideas, modificando el código y encontrando resultados no esperados. Los alumnos, a través del aprendizaje del lenguaje de programación, desarrollarán además un proceso de comprensión de las herramientas necesarias para adentrarse en el universo de la programación aplicada al diseño. Con esto buscamos por un lado que los alumnos puedan experimentar y visualizar conceptos relacionados a la geometría, a sus movimientos, variaciones y transformaciones, y por otro ofrecer una comprensión teórica de la cultura digital y los procesos de diseño asociados para que los alumnos puedan expresar su creatividad a través de los instrumentos digitales y el lenguaje informático. Intentamos con esto, que los sistemas informáticos dejen de ser soporte para ser geometría espacial configurante.

Nos proponemos con estas actividades que en el futuro el alumno domine habilidades relacionadas a la programación facilitándoles crear sus propias herramientas digitales. Por lo tanto en estas clases de computación dentro del curso, intentamos inculcar a los alumnos un mejor conocimiento geométrico y habilidades en programas, algoritmos y manejo de datos, y como éstos se utilizan

**Andrea Carnicero**

[andrea.carnicero@gmail.com](mailto:andrea.carnicero@gmail.com),

**Gustavo Fornari**

[gustavo.fornari@gmail.com](mailto:gustavo.fornari@gmail.com)

**Sebastián González Botasi**

[sgonzalez@bionimio.com.ar](mailto:sgonzalez@bionimio.com.ar)

Laboratorio SisEdLab, FAU UNLP.  
Cátedra de matemática Creus-Carnicero,  
FAU UNLP. La Plata, Argentina.  
[www.fau.unlp.edu.ar](http://www.fau.unlp.edu.ar)

para crear nuevos procesos, formas y espacios. De esta manera, los estudiantes del curso se involucran en una serie de lecciones para desarrollar sus habilidades prácticas.

### **DESARROLLO: Un proceso creativo que incluye la matemática y la tecnología**

Somos un equipo de docentes e investigadores de la Facultad de Arquitectura de la UNLP. Desde hace algunos años nos encontramos trabajando en la elaboración de estrategias que involucran la exploración de herramientas de software específicas que posibilitan el uso de código y programación para ahondar en la exploración proyectual. Desde la intersección entre las experiencias áulicas, profesionales y la investigación buscamos afianzar los contenidos teóricos y enriquecer el proceso de aprendizaje. En este marco trabajamos en comprender cómo la tecnología está transformando el diseño y las prácticas docentes e investigamos el potencial de estas herramientas para reimaginar nuevas actividades y estrategias metodológicas en el aula.

El trabajo que presentamos en este encuentro es el que desarrollamos en el año 2018 en la cátedra de matemática Creus+Carnicero de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP para los alumnos de primer año de la carrera. Este trabajo reunió al grupo de docentes de la cátedra y a investigadores del Laboratorio de Sistemas Edilicios (SisEdLab) también de la FAU UNLP quienes nos propusimos elaborar nuevas metodologías y herramientas para acompañar al alumno en su aprendizaje.

El trabajo se desarrolló en diferentes etapas y consistió desde un comienzo en integrar conceptos matemáticos, arquitectónicos, físicos y tecnológicos. La idea primaria de explorar el concepto de la tecnología digital relacionada con la enseñanza y la producción arquitectónica (explorar metodologías mediadas por una computadora o por algún tipo de proceso de datos) como sistema complejo, paradójico, que en muchos casos no tiene unicidad, ni prolijidad en su definición, fue decantando en experimentos de diseño y estética donde se entrecruzaban conceptos artísticos, matemáticos y tecnológicos. El trabajo en su totalidad contó con una secuencia de complejidad creciente a medida que los alumnos incorporaban el conocimiento y la información necesaria pautada en cada una de las etapas del trabajo.

### **ETAPAS DEL DESARROLLO EL TRABAJO:**

- 1. Investigar** nuevas Metodologías y herramientas para acompañar al alumno en el aprendizaje. Durante esta etapa determinamos un

claro marco teórico. A partir de este marco determinamos diferentes estrategias como premisas fundamentales: el desarrollo de una serie de actividades prácticas generadas a través de espacios de aprendizaje flexible, el uso de tecnologías innovadoras y una fuerte integración de conceptos científicos y artísticos. El desafío principal en esta etapa es interpretar como se traducen estos conceptos en contenidos curriculares y de propuestas metodológicas en el contexto de la enseñanza de la matemática en alumnos de primer año en la Facultad de Arquitectura.

2. **Descubrir** las leyes primarias de generación geométrica de una determinada composición en papel hasta encontrar los principios rectores y posibilidades alternativas de la generación inicial. En esta primera etapa trabajábamos con los alumnos tirando rectas, paralelas, círculos, ángulos y aplicando transformaciones en el plano hasta descubrir las leyes primarias de generación geométrica de una determinada composición. Posteriormente analizábamos otras posibilidades alternativas de la generación inicial y, en base a esas leyes, los alumnos generaban composiciones personales. Esta primera etapa fue puramente analógica.
3. **Introducir** a procesos compositivos alternativos basados en generación de geometrías por medio de lenguaje informático.
4. **Generar** digitalmente a través de la manipulación del código figuras geométricas y aplicarles transformaciones en el plano con el fin de que cada alumno genere diferentes composiciones y analice las leyes de generación y establezca sus propios patrones geométricos. Esta etapa se basó en el aprendizaje mediante el juego y la experimentación. Generar una divertida manipulación matemática. Siempre mantuvimos presente la idea de crear, diseñar y generar. Pensamos en un proceso creativo desde una idea hasta su concreción a través de una programación sencilla y ejercicios generados a partir de unas condiciones de base y estableciendo reglas con la posibilidad de realizar ciertas manipulaciones. En esta etapa se produjo un interesante intercambio docente-alumno y alumno-alumno ya que se encontraban errores en el proceso de generación a través de código pero en conjunto se depuraban y arreglaban. Esta etapa del trabajo concluyó con una exposición de los diferentes grupos de alumnos quienes comunicaban y argumentaban lo aprendido. Algunas de las competencias que aparecieron en esta etapa fueron: perseverar frente a errores y seguir adelante, y colaborar con otros.

5. **Explorar** en particular el concepto de la tecnología digital relacionada con la enseñanza y la producción arquitectónica. En esta etapa nos adentramos específicamente a relacionar el trabajo anterior con ideas arquitectónicas que se basan en la generación a través de sistemas.
6. **Rastrear** producción arquitectónica que haya utilizado métodos de generación digital similares donde se intersecten cuestiones tecnológicas, físicas, matemáticas y arquitectónicas. En esta etapa nos procuramos generar con el equipo docente y de investigación, instancias de formación y aprendizaje referentes a la aplicación de los conceptos aplicados al trabajo en proyectos arquitectónicos en sus diferentes escalas.
7. **Indagar**, en un paso futuro pensamos desarrollar protocolos en el sistema a partir de algoritmos de optimización que utilicen herramientas matemáticas estableciendo diferentes operatorias para que el sistema comience a iterar hasta mejorar la performance (machine learning). Pensamos un trabajo en base al ingreso de ciertos inputs y a la elaboración y ejecución de sucesivas transformaciones geométricas y algoritmos matemáticos hasta arribar al output deseado. Trabajar con los alumnos en la generación y ejecución de estos algoritmos haciendo que la máquina repita constantemente una serie de procesos hasta que entienda esos procesos y descubra la mejor manera de resolverlo de una manera muy eficaz, en un muy corto tiempo y de la forma más económica y efectiva, sería el centro del trabajo entre el grupo de docentes y alumnos. Pensamos una serie de actividades basadas en la generación de imágenes producidas por iteraciones automáticas haciendo que la máquina realice millones de posibilidades en un muy corto tiempo utilizando aplicaciones digitales y generando un sinnúmero de respuestas. La generación geométrica de este tipo de imágenes es muy interesante. Se establecen inicialmente protocolos en el sistema a partir de algoritmos de generación geométrica y se desarrolla una operatoria para que el sistema comience a iterar. El programa aprende por cada iteración hasta encontrar la solución más óptima de acuerdo a las pautas iniciales preestablecidas, de la forma más económica y efectiva, a través de dichos procesos de iteración. Esto se denomina software robot ya que logra automatizar procesos y aprender por cada iteración. Son desarrollos simples de lo que se denomina Inteligencia artificial, básicamente significa hacer que la máquina repita constantemente un proceso hasta que entienda ese proceso y descubra la mejor manera de resolverlo. Pensamos que en un mundo cada vez más complejo, donde la tecnología tiene un rol cada vez más relevante, generar estrategias

DESARROLLO DEL TRABAJO PRÁCTICO						
1	2	3	4	5	6	7
DOCENTES	DOCENTES + ALUMNOS	DOCENTES + ALUMNOS	DOCENTES + ALUMNOS	DOCENTES	DOCENTES + ALUMNOS	DOCENTES
investigar	descubrir	introducir	generar	explorar	rastrear	indagar
nuevas Metodologías y herramientas para acompañar al alumno en el aprendizaje	las leyes primarias de generación geométrica de una determinada composición en papel hasta encontrar los principios rectores y posibilidades alternativas de la generación inicial	a procesos compositivos alternativos basados en generación de geometrías por medio de lenguaje informático	digitalmente a través de la manipulación del código figuras geométricas y aplicarles transformaciones geométricas con el fin de que cada alumno genere diferentes composiciones y analice las leyes de generación	en particular el concepto de la tecnología digital relacionada con la enseñanza y la producción arquitectónica	producción arquitectónica que haya utilizado métodos de generación digital similares donde se intersecten cuestiones tecnológicas, físicas, matemáticas y arquitectónicas	en un paso posterior, el desarrollo de protocolos de iteración en el sistema a partir de algoritmos de optimización que utilizan herramientas matemáticas (machine learning)

Fig 1: Diagrama de la estructura del trabajo integrador

de pensamiento que permitan resolver problemas y sistematizarlos es fundamental.

Durante las **etapas 1, 2 y 3** exploramos metodologías de indagación (aprendizaje basado en proyectos, en casos y en problemas) promoviendo la experimentación en la intersección entre arte, ciencia y tecnología. Investigamos entre los docentes y el equipo de investigación toda una generación de caminos posibles a partir de algoritmos generativos que utilizan herramientas matemáticas como las transformaciones en el plano. Al terminar de definir las estrategias entre los docentes e investigadores fuimos introduciendo a los alumnos en cómo estas metodologías permiten al diseñador crear sus propias herramientas, generando geometrías a partir de parámetros iniciales, un set de relaciones formales y su posible manipulación. La **etapa 4** correspondió a la creación de imágenes y sus relaciones utilizando herramientas matemáticas y aplicaciones digitales instancia que permitió a los alumnos crear un sinnúmero de composiciones producidas por la manipulación del código y explorar las leyes matemáticas intrínsecas a cada una de ellas. Los alumnos generaron una serie de diseños basados en variaciones geométricas a partir de algoritmos de transformaciones en el plano. Fuimos determinando a partir de los resultados cuál fue el mejor proceso para



Fig 2: Fotos en el aula de computación de los alumnos

cada composición. Esta metodología permite no sólo crear un diseño, sino una familia de diseños a partir de la alteración de la programación inicial. Jugamos con posibilidades creativas a partir de herramientas matemáticas.

### Ejemplo de composiciones generadas por los alumnos:

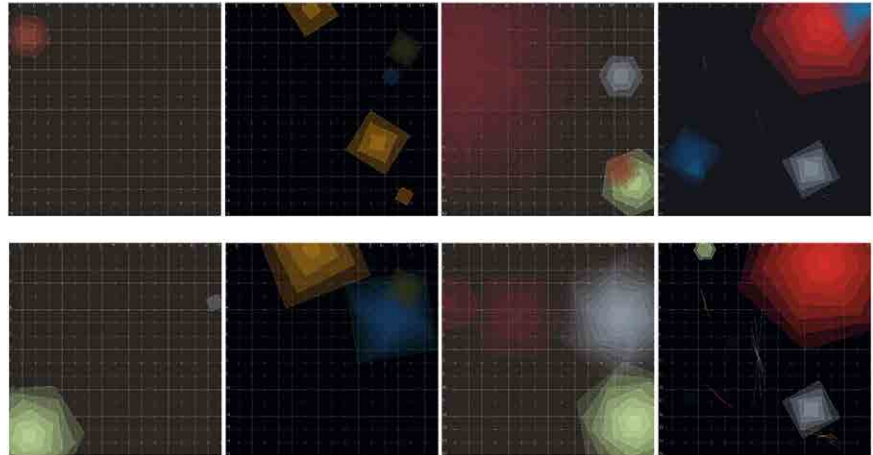


Fig 3: Ejemplo de composiciones generadas por los alumnos

La investigación de metodologías a partir del diseño computacional, permitió explorar las posibilidades de la complejidad promoviendo la experimentación en el diseño morfo-digital fomentando la exploración espacial y la investigación proyectual a partir de la intersección de herramientas de programación aplicada al diseño involucrando programas, algoritmos matemáticos, datos y cuestiones estéticas, y cómo éste conjunto de variables y herramientas se utilizan para crear nuevos procesos y formas.

Al concluir la **etapa 4** iniciamos una serie de instancias de debate entre los docentes, investigadores participantes y los alumnos. Comenzaron a surgir preguntas tales como:

- *¿Hasta qué punto los algoritmos pueden modelar los espacios y objetos proyectados por el hombre?*
- *¿Puede la injerencia de la tecnología digital significar nuevas expresiones en el mundo de los objetos, de tal modo que su utilización y manipulación genere nuevos espacios en el arte y en el diseño en general con simples modificaciones de código en dispositivos tecnológicos?*
- Por otro lado explorar lo satisfactorio en la creación de un conjunto de reglas y las bellas imágenes que brotan de ellas fue otro de los disparadores que nos permitió generar charlas y debates sobre la cuestión de si el arte en el arte generativo se refiere al código, o a los resultados del código.

Fue divertido e interesante discutir todos estos interrogantes en una compañía mixta de alumnos, docentes e investigadores. Estas preguntas nos dieron para comenzar a recorrer caminos relacionados a la exploración proyectual desde la mirada del pensamiento computacional. Cómo dichas soluciones comienzan a ser utilizadas en el diseño en general. Ejemplos como el Edificio Bloomberg en Londres del año 2017 diseñado por el estudio del arquitecto Norman Foster o la Torre Al Bahar en Abu Dhabi del año 2009-2012 del estudio de arquitectura Aedas Arquitectos, son algunos de los casos de arquitectura que utiliza intensos cálculos matemáticos y físicos y modelado computacional generativo a través del uso de procesadores de algoritmos gráficos y codificación en sus proyectos o en parte de las obras por ejemplo para generar fachadas cinéticas con el fin de mejorar el rendimiento energético y el confort térmico interior. Comenzamos a conocer cómo composiciones generadas automáticamente a través de patrones geométricos específicos se pueden materializar para dar respuestas a determinadas condicionantes específicas a partir de la generación de formas optimizadas basadas en requerimientos y funciones arquitectónicas generando sistemas adaptativos y receptivos.

### Ejemplo de piezas arquitectónicas basadas en geometrías optimizadas

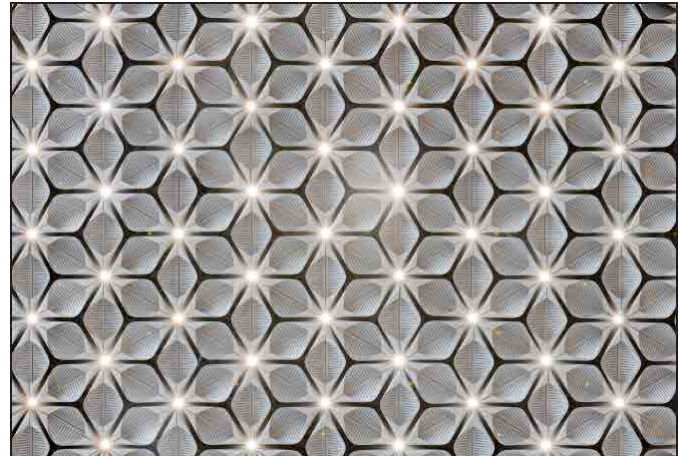
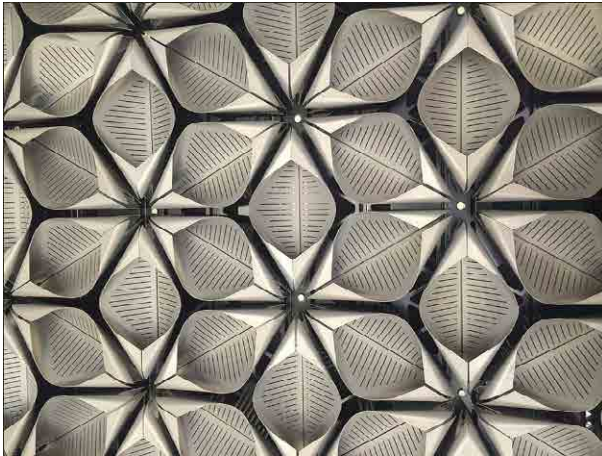


Fig 4: Pétalos del techo para optimizar el rendimiento del nuevo edificio Bloomberg, Londres diseñado por Foster + Partners



Fig 5: Piezas adaptativas para optimizar el rendimiento de la Torre Al Bahar en Abu Dhabi del año 2009-2012 diseñado por Abdulmajid Karanouh Associate Architect



Investigamos desde la geometría superficies interactivas desarrolladas como piezas sensibles que responden a los cambios causados por la lluvia, el sol, la sombra. Proyectos que introducen nuevas ideas sobre la sostenibilidad y la construcción inteligente a partir de la generación de una serie de prototipos a partir de variaciones geométricas aplicando movimiento y transformación. Desde la microescala hasta la construcción del edificio.

Abordar la investigación de los diferentes tipos de producción arquitectónica que están mediadas por una computadora o vinculadas a algún tipo de procesos de datos computacionales en donde la matemática y la física hayan tenido un papel preponderante fue el centro de las actividades de las **etapas 5 y 6**. A partir de estas obras pudimos explorar la conjugación de la tradición artística + avances tecnológicos + aportes científicos. La idea de sistema en arquitectura implica la búsqueda de racionalidad constructiva, de optimización de recursos, de reducción de costos, e involucra también los conceptos de flexibilidad y crecimiento. *“En los 50 el desarrollo de la Teoría general de sistemas, una teoría que viene de las ciencias biológicas, rápidamente influencia a todos los modos de hacer y generar conocimiento, también llega a la arquitectura. La forma arquitectónica, como forma, deja de tener valor porque no existe la idea de una forma acabada sino que el sistema, con sus leyes de generación y crecimiento son los que van a determinar una forma que en principio puede ser hasta desconocida por el proyectista”. “El sistema es una estructura lógica, con sus propios patrones de comportamiento, pueden ser sistemas abiertos o cerrados, y dentro de esa lógica existen características como son el dinamismo, la flexibilidad, el crecimiento, la mutación, incluso la idea de caducidad, caducidad entendida como caducidad tecnológica, que hacen que estos proyectos, estas obras de arquitectura, tengan de alguna manera por asimilarlo a las ciencias biológicas, tengan vida propia. El diseñador una vez que plantea las leyes de funcionamiento del sistema, el sistema de acuerdo a las demandas del entorno, dentro del cual aparece la figura del usuario de la obra de arquitectura, son los que van a determinar como la obra de arquitectura se va a desarrollar dentro de esas lógicas”.*

Un paso más adelante surgió a partir de este trabajo la idea de elaborar actividades relacionados al concepto de machine learning donde la máquina repite un determinado proceso constantemente hasta que entienda ese proceso y aprenda cuál es la mejor manera posible de resolverlo llegando a una óptima solución. El proceso trabaja con probabilidades. Hay trabajos que son mecánicos, repetitivos o basados fundamentalmente en la memoria que a los humanos no le sale muy bien y sin embargo a las máquinas le sale muy bien. La idea es desarrollar actividades donde los procesos repetitivos o de altísima complejidad le correspondan a las máquinas y lo creativo al alumno y docente.

Crear ambientes y escenarios estableciendo mecanismos, reglas y funciones que conjuguen e integren los conceptos vinculados a la currícula traduciendo todos estos conceptos, conjuntamente con los alumnos, en protocolos a través de cálculos de probabilidades con el fin de llegar a la respuesta óptima deseada inicialmente.

## CONCLUSIÓN

¿Qué hacemos con los alumnos que hoy comienzan su carrera?, ¿los estamos preparando para el mundo del futuro donde habrá otras ideas?, ¿qué competencias debería desarrollar la futura generación emergente de arquitectos y diseñadores?. Desde un primer momento nos propusimos investigar y rediseñar experiencias de aprendizaje que se sumen al proceso de competencias adyacentes fundamentales para el desarrollo de su vida profesional. Es así que nos centramos en que los alumnos construyan las llamadas competencias del siglo XXI: creatividad e innovación, pensamiento crítico y resolución de problemas complejos, comunicación y colaboración. Diseñamos estrategias para que durante todas las etapas de este trabajo las puedan poner en práctica. Por otro lado creemos que, tanto para los docentes como para esta nueva generación de estudiantes de arquitectura, es de suma importancia aprender a pensar y a resolver problemas utilizando herramientas digitales. La tecnología tiene sus propias reglas y espacios de validación. Conocerlas y explorarlas nos permitirán conectarnos con nuestro entorno abarcando toda su complejidad a la vez que nos ayudará a movernos por múltiples dimensiones. La actual era de la información demanda docentes capaces de comprender la complejidad de situaciones y gestionar e incorporar el inmenso incremento de la información en sus procesos, así como adaptarse flexible y creativamente a la velocidad del cambio y a la incertidumbre que lo acompaña. Creemos que los desarrollos metodológicos deben tener diversas posibilidades de recorrido y no deben tener un itinerario fijo rígido ni una utilización única.

En síntesis creemos haber logrado un proyecto académico de aprendizaje activo, de reflexión y producción en clave transdisciplinar. Exploramos cómo la tecnología está transformando no solo las prácticas docentes sino la arquitectura y el diseño. Indagamos su potencial para reimaginar las actividades sobre problemas y situaciones reales, a través de proyectos retadores que motivaron a los alumnos y docentes estimulando la cooperación, la búsqueda de alternativas, la proliferación de hipótesis, la gestión educativa de las emociones, el desarrollo de actitudes y habilidades conscientes e inconscientes que permitieron la actuación entusiasta y eficaz de cada participante, afrontando las dificultades y

la incertidumbre que encontrarán durante el resto de su carrera y en su vida profesional.

#### BIBLIOGRAFIA:

Zapata-Ros, M. y Pérez-Paredes, P. (2018). El pensamiento computacional, análisis de una competencia clave. Createspace Independent Publishing Platform.

Eiben, Agoston E. y Smith, Jim (2005). From evolutionary computation to the evolution of things. *Nature*, Vol. 521, 28 mayo 2015, 476–482.

Rhodes, Margaret (2015, 23 septiembre). The Bizarre, Bony-Looking Future of Algorithmic Design. *Wired*. (2016, 3 noviembre). So. Algorithms Are Designing Chairs Now. *Wired*. (2017, 25 mayo). The Lowly Folding Chair, Reimagined with Algorithms

Gilles Retsin: “Discrete: Reappraising the Digital in Architecture. *Architectural Design*

Marcelo Spina, Khourian, Sebastian: “Después de Yokohama. La explosión diagramática”. Universidad Torcuato Di Tella.

MAEDA John, *Leyes de la Simplicidad, diseño, tecnología, negocios y vida*. Gedisa Editorial. Primera edición año 2006.