

Organicismo digital y bioaprendizaje: de la generación algorítmica a la materialización de patrones islámicos mediante inteligencia artificial y fabricación gigital

Maruan Halabi⁽¹⁾

Facultad de Artes, Universidad Zayed (Emiratos Árabes Unidos)
iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture and Genetics)
Universitat Internacional de Catalunya

Resumen: Este capítulo investiga el concepto de organicismo digital como marco teórico y operativo para comprender los procesos contemporáneos de diseño generativo, aprendizaje proyectual y producción material mediados por inteligencia artificial (IA). A partir del estudio de patrones geométricos islámicos generados algorítmicamente, se analiza cómo los sistemas computacionales pueden comportarse como estructuras dinámicas capaces de aprender, adaptarse y evolucionar mediante ciclos iterativos de retroalimentación entre datos, reglas geométricas y restricciones materiales. La investigación propone el concepto de bioaprendizaje para describir un proceso de aprendizaje no lineal en el que el diseño se ajusta progresivamente a partir de errores productivos, decisiones curatoriales humanas y respuestas físicas del material. El trabajo se apoya en una metodología experimental que integra generación algorítmica asistida por IA, modelado paramétrico y procesos de fabricación digital, incluyendo impresión 3D, producción de moldes y colado con compuestos minerales. El tránsito del algoritmo al artefacto físico revela una paradoja productiva: tecnologías digitales de alta precisión son empleadas deliberadamente para producir objetos que evocan irregularidad, desgaste y pátina material asociados a la artesanía tradicional. Esta tensión se plantea como un mecanismo de aprendizaje orgánico, donde el conocimiento proyectual emerge del diálogo entre automatización y control humano. Desde una perspectiva crítica, el capítulo argumenta que la IA no sustituye el conocimiento artesanal ni el pensamiento proyectual, sino que los rearticula en un contexto contemporáneo, permitiendo nuevas formas de aprendizaje, experimentación y reinterpretación del patrimonio cultural. El estudio contribuye a los debates actuales sobre diseño computacional, educación en diseño y cultura material, posicionando el organicismo digital como una herramienta conceptual para comprender procesos híbridos entre tecnología, materialidad y tradición. El capítulo sostiene que la reducción crítica de complejidad, y no su maximización, constituye una condición clave para activar procesos de aprendizaje material y reinterpretación cultural en el diseño generativo contemporáneo.

Palabras clave: Organicismo digital - Bioaprendizaje - Inteligencia artificial - Diseño generativo - Patrones islámicos - Fabricación digital - Cultura material - Aprendizaje proyectual

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 106-108]

⁽¹⁾ Ver CV en pág. 108

1. Introducción

En las últimas décadas, la incorporación de herramientas computacionales avanzadas ha transformado profundamente los modos de concebir, desarrollar y materializar el diseño en disciplinas como la arquitectura, el arte y el diseño industrial. La emergencia de la inteligencia artificial (IA) como agente generativo ha intensificado este cambio, desplazando progresivamente el rol del diseñador desde la creación directa de formas hacia la definición, supervisión y ajuste de sistemas, reglas y procesos capaces de producir múltiples resultados (Carpo, 2017; Kim y Cho, 2021). En este contexto, el diseño deja de entenderse como un objeto final y pasa a concebirse como un proceso dinámico, iterativo y abierto.

Este desplazamiento ha ampliado de manera significativa el campo de lo posible en términos formales, pero también ha introducido nuevas tensiones. En numerosos entornos de diseño generativo, la complejidad algorítmica y el incremento de resolución geométrica se interpretan como indicadores de innovación y sofisticación técnica. Sin embargo, cuando estos modelos se enfrentan a procesos de fabricación digital, ensamblaje o lectura perceptiva a escala humana, el exceso de información geométrica tiende a comprometer la claridad formal, la coherencia material y la viabilidad constructiva del diseño (Austern *et al.*, 2018; Shea *et al.*, 2005). Esta condición pone de manifiesto la necesidad de repensar críticamente la relación entre complejidad computacional, materialidad y calidad proyectual. Paralelamente, el interés por el patrimonio cultural y las tradiciones artesanales ha adquirido una renovada relevancia en el discurso contemporáneo del diseño. Lejos de una aproximación nostálgica o meramente conservacionista, estas tradiciones son revisitadas como sistemas complejos de conocimiento acumulado, donde la geometría, el material y la técnica constituyen formas históricas de aprendizaje proyectual. Los patrones geométricos islámicos, en particular, representan un ejemplo paradigmático de esta convergencia entre lógica matemática, expresión estética y práctica constructiva, al articular reglas proporcionales que permiten una variación extensa dentro de marcos coherentes y legibles (Broug, 2008).

Este capítulo propone articular ambos campos –la inteligencia artificial y el patrimonio geométrico islámico– a través del concepto de organicismo digital. Se plantea que los sistemas generativos basados en IA pueden entenderse como estructuras orgánicas en tanto aprenden, mutan y se adaptan a condiciones variables, de manera análoga a procesos biológicos. En este marco, el diseño se concibe como un sistema en evolución más que como una forma cerrada.

Asimismo, se introduce el término bioaprendizaje para describir el aprendizaje proyectual que emerge del diálogo entre sistemas algorítmicos, intervención humana y materialidad física. El objetivo principal del capítulo es analizar cómo la generación algorítmica de patrones geométricos islámicos y su posterior materialización mediante procesos de fabricación digital permiten construir un modelo de aprendizaje no lineal, en el que el error, la imperfección y la retroalimentación material se convierten en agentes activos del proceso de diseño, contribuyendo a una comprensión más crítica y situada de la práctica proyectual contemporánea.

A partir de este marco, el capítulo se pregunta cómo los sistemas generativos basados en inteligencia artificial pueden ser reconfigurados para producir conocimiento proyectual situado, evitando la acumulación acrítica de complejidad y favoreciendo procesos de aprendizaje material. Esta condición convierte a los patrones geométricos islámicos no solo en objetos de estudio, sino en herramientas operativas para repensar la relación entre regla, variación y materialidad en procesos de diseño asistidos por inteligencia artificial.

2. Marco teórico: organicismo digital, bioaprendizaje y experimentación proyectual

2.1. El Organicismo como paradigma contemporáneo del diseño computacional

El organicismo ha sido históricamente entendido como una aproximación sistémica al conocimiento, en la cual las partes adquieren sentido únicamente en relación con el todo. En el ámbito de la arquitectura y el diseño, esta noción se asoció tradicionalmente a la observación de procesos naturales, tales como el crecimiento, la adaptación y la coherencia interna de las formas, así como a la relación entre estructura, función y entorno. En este contexto, el organicismo fue frecuentemente interpretado a través de analogías formales con la naturaleza y de modelos derivados de condiciones materiales específicas.

Sin embargo, en el contexto contemporáneo del diseño computacional, el organicismo deja de operar como una referencia morfológica o estilística para convertirse en un modelo operativo basado en procesos, comportamiento e interacción. El énfasis ya no se sitúa en la apariencia orgánica de las formas, sino en la lógica sistémica que gobierna su generación. Algoritmos generativos, modelos paramétricos y sistemas de inteligencia artificial producen configuraciones formales emergentes a partir de reglas iniciales, conjuntos de datos y parámetros ajustables, generando resultados que no son completamente predecibles ni previamente determinados.

El concepto de organicismo digital se utiliza aquí para describir esta condición específica del diseño computacional contemporáneo, en la cual la lógica del crecimiento, la variación y la adaptación se traslada desde el ámbito biológico al ámbito algorítmico. A diferencia de aproximaciones biomórficas superficiales, el organicismo digital no persigue la imitación visual de la naturaleza, sino la incorporación de sus principios sistémicos fundamentales: iteración, retroalimentación y transformación progresiva (Oxman, 2017; Davis, 2019).

Esta perspectiva implica un desplazamiento significativo en la concepción del diseño. El foco deja de situarse en el objeto final para centrarse en el sistema que lo genera. En este marco, la calidad proyectual ya no se evalúa únicamente por la forma resultante, sino por la coherencia interna, la adaptabilidad y la legibilidad del proceso generativo, así como por su capacidad de integrarse de manera efectiva con procesos de fabricación, ensamblaje y uso. Esta condición resulta especialmente relevante en el diseño generativo asistido por inteligencia artificial, donde el diseñador no controla directamente cada decisión formal. En su lugar, define un marco de operación –reglas, parámetros y criterios de selección– dentro del cual el sistema produce múltiples resultados posibles. La forma final emerge como consecuencia de este proceso y no como un objetivo predefinido, consolidando una concepción del diseño como sistema abierto, evolutivo y relacional.

2.2. Bioaprendizaje como modelo epistemológico del proceso proyectual

El concepto de bioaprendizaje se propone en este capítulo como una extensión operativa del organicismo digital aplicada al proceso de diseño. Lejos de entenderse como un enfoque pedagógico o didáctico, el bioaprendizaje se plantea como un modelo epistemológico que describe cómo se genera conocimiento proyectual a través de la interacción continua entre sistemas digitales, intervención humana y materialidad física.

En los modelos tradicionales de diseño, el proceso suele estructurarse de manera lineal –análisis, concepción, desarrollo y producción–, estableciendo una separación clara entre las etapas de ideación y materialización. En contraste, el bioaprendizaje describe un proceso no lineal, iterativo y abierto, en el que cada fase retroalimenta a las demás. En este marco, el error, la variación y la contingencia dejan de ser problemas a corregir para convertirse en fuentes activas de información y ajuste, en consonancia con enfoques que entienden el diseño como una ciencia de lo artificial (Simon, 1996).

Este enfoque resulta particularmente pertinente en procesos de diseño que integran inteligencia artificial y fabricación digital. En estos contextos, los resultados generados algorítmicamente se enfrentan a restricciones materiales reales durante la fabricación, revelando limitaciones técnicas, comportamientos imprevistos y oportunidades de refinamiento. La incorporación de variables como tolerancias, escalas, propiedades del material y lógicas de ensamblaje reconfigura el sistema generativo, redistribuyendo la complejidad entre lo computacional y lo constructivo (Austern *et al.*, 2018; Liu y Lim, 2022).

Desde esta perspectiva, la materialización no actúa como una etapa final de validación, sino como una instancia cognitiva que transforma el proceso proyectual. Cada iteración del ciclo digital–material produce nuevo conocimiento que modifica tanto el sistema algorítmico como las decisiones del diseñador. El diseño se entiende, así como un proceso vivo, en el que el objeto, el sistema de reglas y el marco de operación evolucionan de manera conjunta.

El bioaprendizaje se manifiesta, por tanto, como una forma de aprendizaje situado, específico y dependiente del contexto material y cultural. A diferencia del conocimiento abstracto o completamente transferible, este tipo de conocimiento se construye a partir de la experiencia directa con el objeto, el material y el proceso productivo. En este sentido, la fa-

bricación digital no se concibe como una fase posterior al diseño, sino como una extensión integral del proceso cognitivo y proyectual. Este marco permite leer los resultados experimentales no como validaciones formales, sino como evidencias de aprendizaje emergente.

2.3. Inteligencia artificial, control humano y curaduría crítica

Si bien la inteligencia artificial permite automatizar procesos complejos y generar una amplia diversidad de resultados formales, el papel del diseñador sigue siendo central en los procesos de diseño generativo. En los casos analizados en esta investigación, la IA no opera como un sistema autónomo, sino como una estructura guiada por decisiones humanas, particularmente a través de la selección de datos, la formulación de parámetros o prompts, o instrucciones, y la evaluación crítica de los resultados obtenidos.

La generación algorítmica de patrones geométricos se desarrolla mediante procesos iterativos de ajuste y refinamiento, en los que cada modificación responde a criterios geométricos, culturales y materiales. Este procedimiento pone de manifiesto que la creatividad algorítmica no es independiente del juicio humano, sino que se construye en diálogo continuo con él. En este contexto, la curaduría se consolida como una forma activa de diseño: el valor proyectual no reside únicamente en la capacidad de generar formas, sino en la selección, interpretación, jerarquización y transformación de los resultados producidos por el sistema algorítmico (Zhang *et al.*, 2023).

Esta relación entre generación algorítmica y control humano refuerza la noción de autoría distribuida, uno de los ejes conceptuales del organicismo digital. El objeto final no puede atribuirse exclusivamente al diseñador ni a la máquina, sino al sistema híbrido que ambos conforman junto con el comportamiento del material y las restricciones del proceso productivo. La autoría se entiende, así como una condición relacional y emergente, más que como una acción individual y centralizada (Lee *et al.*, 2023).

Este modelo de autoría distribuida adquiere especial relevancia en contextos de diseño generativo de alta complejidad, donde la expansión de la capacidad computacional incrementa simultáneamente la carga de información y la dificultad de control. En estos escenarios, la curaduría crítica se convierte en una herramienta fundamental para gestionar la complejidad, garantizar la legibilidad del resultado y mantener una relación equilibrada entre exploración algorítmica, intención proyectual y materialidad (Peckham *et al.*, 2025; Hasan, 2025).

3. Patrones geométricos islámicos como sistemas de conocimiento

Los patrones geométricos islámicos constituyen uno de los sistemas ornamentales más complejos y coherentes desarrollados históricamente. Basados en principios de simetría, repetición, proporción y teselación, estos patrones no solo cumplen una función estética, sino que expresan una concepción estructurada del orden, la infinitud y la relación entre unidad y multiplicidad. Su coherencia interna permite una variación extensa sin perder

identidad formal, lo que los convierte en sistemas abiertos y altamente adaptables (Broug, 2008).

Desde una perspectiva contemporánea, estos patrones pueden ser entendidos como algoritmos analógicos, contruidos a partir de reglas geométricas precisas, reproducibles y combinatorias. Lejos de ser meros elementos decorativos, funcionan como sistemas de conocimiento en los que se integran matemáticas, estética y práctica constructiva. Su riqueza visual no proviene del exceso de detalle, sino de la interacción controlada entre elementos geométricos simples, organizados mediante reglas claras y jerarquías bien definidas. Esta condición los convierte en un marco especialmente adecuado para estudiar procesos de generación formal, racionalización geométrica y traducción material en el diseño computacional contemporáneo. Esta condición sistémica convierte a los patrones geométricos islámicos en un campo especialmente fértil para su exploración mediante inteligencia artificial y procesos iterativos de fabricación digital (*Ver Figura 1*).

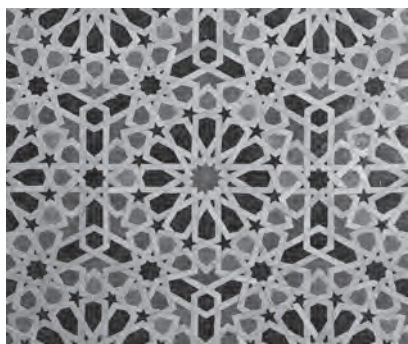


Figura 1. Patrón geométrico islámico histórico tipo zellige utilizado como referencia geométrica y cultural (Fuente: Medersa al-Attarine, Fez, Marruecos).

La reinterpretación de los patrones geométricos islámicos mediante herramientas digitales e inteligencia artificial plantea desafíos específicos. Por un lado, existe la necesidad de preservar la coherencia geométrica y la lógica proporcional que caracteriza a estos sistemas; por otro, resulta fundamental evitar resultados meramente decorativos o arbitrarios que desvinculen la forma de su estructura conceptual y cultural. En este contexto, la intervención humana adquiere un rol central como instancia crítica y curatorial, capaz de orientar la generación algorítmica y evaluar la pertinencia formal, cultural y material de los resultados.

La combinación entre patrones geométricos islámicos y sistemas generativos contemporáneos permite, así, establecer un diálogo productivo entre conocimiento histórico y experimentación proyectual. Este cruce no busca reproducir formas tradicionales, sino

activar sus principios operativos como herramientas para repensar la relación entre regla, variación y materialidad en procesos de diseño asistidos por inteligencia artificial.

4. Metodología

La metodología adoptada en esta investigación responde a un enfoque teórico-experimental, en el que la producción material no se entiende como una validación posterior del diseño, sino como un componente activo del proceso de conocimiento. El trabajo se estructura como un sistema iterativo que articula generación algorítmica, modelado paramétrico, fabricación digital y análisis crítico de resultados. En lugar de perseguir la maximización de la complejidad formal, el objetivo principal es evaluar de manera sistemática el impacto de la resolución geométrica sobre la forma, la percepción y la viabilidad constructiva del diseño.

Este enfoque metodológico se organiza en un proceso secuencial compuesto por tres fases principales: generación algorítmica, análisis crítico y racionalización geométrica, y traducción digital-material. Cada fase retroalimenta a las demás, conformando un ciclo no lineal que permite ajustar tanto el sistema generativo como las decisiones proyectuales a partir de la experiencia material. De este modo, la metodología se inscribe en marcos teóricos que conciben la racionalización no como una reducción simplificadora, sino como una estrategia de integración entre diseño y producción (Shea *et al.*, 2005; Dritsas, 2012).

4.1. Generación algorítmica mediante inteligencia artificial

En la primera fase del proceso metodológico se generan patrones geométricos islámicos mediante sistemas de inteligencia artificial capaces de producir altos niveles de detalle y variación. Para ello, se emplearon modelos entrenados con conjuntos de datos provenientes de referencias históricas y estudios geométricos, lo que permitió identificar relaciones estructurales fundamentales como simetría, repetición, teselación y proporción. Estos principios operaron como base lógica para la generación de configuraciones formales coherentes y culturalmente situadas.

La generación algorítmica se orientó deliberadamente hacia configuraciones de alta resolución como punto de partida. Esta estrategia permitió observar de manera crítica los efectos del exceso geométrico sobre la estructura del patrón, así como identificar zonas de redundancia, sobre-detallado y pérdida de jerarquía formal. A través de la formulación de prompts y parámetros específicos, el sistema fue guiado hacia la exploración de composiciones no convencionales, ampliando el campo de posibilidades más allá de soluciones estandarizadas (Kim y Cho, 2021).

En este contexto, la intervención humana resultó central para evaluar la coherencia geométrica, cultural y proyectual de los resultados obtenidos. La curaduría crítica permitió descartar soluciones meramente ornamentales o arbitrarias y seleccionar aquellas configuraciones que ofrecían mayor potencial experimental para las fases posteriores de

análisis, racionalización y materialización. De este modo, la generación algorítmica no se concibió como un proceso autónomo, sino como una instancia inicial dentro de un sistema iterativo de exploración y aprendizaje (*Ver Figura 2*).

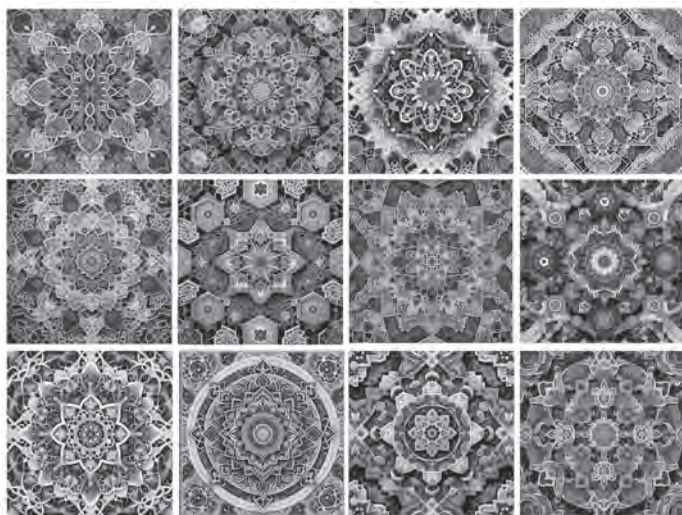


Figura 2. Patrón geométrico islámico generado mediante inteligencia artificial a partir de simetría radial y reglas de teselación (Fuente propia).

4.2. Traducción paramétrica y desarrollo tridimensional

Los patrones bidimensionales generados algorítmicamente fueron traducidos a modelos tridimensionales mediante herramientas de modelado paramétrico. Esta etapa permitió transformar estructuras planas en configuraciones volumétricas, introduciendo profundidad, jerarquías formales y gradientes de relieve sin alterar la lógica geométrica subyacente del patrón.

El uso de modelado paramétrico facilitó un control preciso sobre variables clave del sistema, tales como espesores, resoluciones locales, densidad geométrica y escalas generales. Esta capacidad de ajuste permitió evaluar distintas configuraciones formales en función de criterios técnicos, perceptivos y materiales, manteniendo la coherencia estructural del patrón original. Cada modificación del modelo generó nuevas posibilidades formales, reforzando la condición orgánica del proceso proyectual, en la que el diseño evoluciona a través de iteraciones sucesivas y relaciones paramétricas.

La traducción tridimensional también permitió identificar zonas de sobre-detalle y redundancia geométrica que, si bien podían resultar viables en el entorno digital, presentaban limitaciones al ser proyectadas hacia procesos de fabricación. Esta observación resultó clave para las fases posteriores de racionalización y materialización (*Ver Figura 3*).

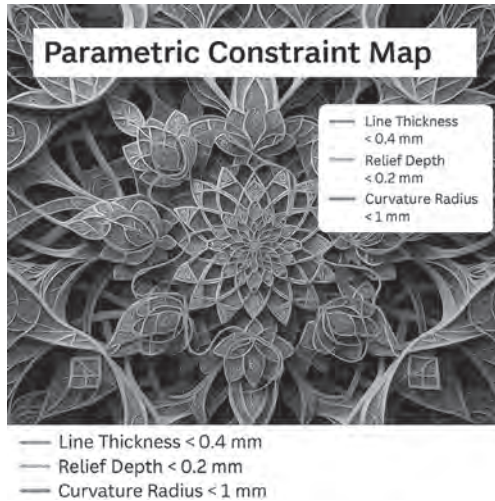


Figura 3. Traducción del patrón generado algorítmicamente a un relieve tridimensional mediante modelado paramétrico (Fuente propia).

4.3. Fabricación digital como instancia de aprendizaje material

La fabricación digital, principalmente mediante impresión 3D, fue concebida como una fase de experimentación y aprendizaje. Los modelos fabricados sirvieron como prototipos para la producción de moldes y el posterior colado con compuestos minerales, introdu-



Figura 4. Flujo digital-material: modelo paramétrico y simulador de impresión 3D (Fuente propia).

ciendo una dimensión material que desafía la precisión digital (*Ver Figura 4*). Las imperfecciones surgidas durante la fabricación –variaciones superficiales, deformaciones leves o acumulaciones de material– fueron analizadas no como defectos, sino como información relevante para iteraciones posteriores. Este diálogo entre precisión algorítmica y contingencia material constituye uno de los ejes centrales del bioaprendizaje propuesto.

4.4. Análisis crítico y retroalimentación

El análisis de resultados se realizó desde una perspectiva cualitativa, considerando coherencia geométrica, comportamiento material y percepción estética. La retroalimentación obtenida en esta etapa fue incorporada al sistema generativo, cerrando el ciclo de aprendizaje experimental.

5. Resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la generación algorítmica asistida por inteligencia artificial es capaz de producir patrones geométricos con altos niveles de complejidad y coherencia formal, siempre que el proceso esté acompañado por una curaduría humana activa. La intervención crítica del diseñador resultó determinante para orientar el sistema generativo, seleccionar configuraciones relevantes y descartar soluciones que, pese a su complejidad visual, carecían de legibilidad geométrica o viabilidad material.

El análisis comparativo entre versiones de alta resolución y versiones racionalizadas demuestra que la reducción controlada de complejidad mejora significativamente la claridad formal y la coherencia estructural del patrón. A escalas mayores, las geometrías excesivamente detalladas tienden a perder jerarquía visual y continuidad, mientras que las versiones racionalizadas permiten que el patrón sea percibido como un sistema legible, organizado y reconocible en su totalidad.

La fabricación digital introdujo una dimensión material que transformó de manera sustancial la percepción del diseño. La aparición de imperfecciones, texturas y variaciones no previstas durante la materialización reveló comportamientos del material que no eran evidentes en el entorno digital. Estas condiciones, lejos de entenderse como fallos, aportaron información relevante para el ajuste del sistema, reforzando la noción de bioaprendizaje como un proceso en el que el conocimiento emerge del diálogo entre el sistema algorítmico

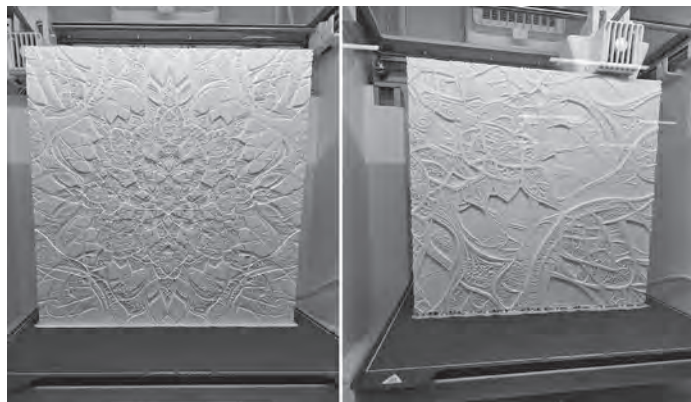


Figura 5.
Comparación
entre versiones
de alta resolución
y versiones
racionalizadas del
patrón geométrico
materializado
(Fuente propia).

co, la intervención humana y la materia (Ver Figura 5).

La integración entre generación algorítmica, racionalización geométrica y fabricación digital permitió construir un proceso de diseño más coherente, legible y materialmente informado. En conjunto, los resultados confirman que la calidad proyectual no depende de la maximización de la complejidad computacional, sino de su modulación crítica en función de la materialidad, la escala y la percepción, volviendo el diseño más legible, viable y cognitivamente productivo.

6. Discusión: autenticidad, imperfección y paradoja digital

La discusión de los resultados permite situar esta investigación dentro de debates contemporáneos más amplios en torno a la autenticidad, la autoría y la materialidad en el contexto del diseño computacional y la fabricación digital. El uso de inteligencia artificial para generar patrones geométricos islámicos, combinado con procesos de materialización que evocan prácticas artesanales históricas, introduce una paradoja central: el empleo de tecnologías digitales de alta precisión para producir objetos que incorporan irregularidad, imperfección y huellas materiales.

Esta paradoja no debe interpretarse como una contradicción técnica, sino como una estrategia proyectual consciente. Lejos de perseguir una noción de perfección asociada tradicionalmente a la fabricación digital, el proceso integra el error, la variación y la contingencia como componentes constitutivos del diseño. Las irregularidades superficiales, las micro variaciones entre piezas producidas a partir de un mismo sistema y las diferencias inducidas por el comportamiento del material no se consideran fallos, sino indicadores de un proceso vivo, temporal y abierto.

En este marco, la autenticidad deja de depender del origen manual del objeto para anclarse

en la coherencia del proceso que lo genera. La autenticidad se desplaza desde la ejecución hacia la lógica del sistema, entendida como la consistencia entre reglas geométricas, decisiones algorítmicas, intervención humana y materialización física. Esta condición remite a lógicas propias de la artesanía, donde cada objeto pertenece a una familia formal reconocible, pero mantiene una identidad singular.

Este desplazamiento tiene implicaciones directas sobre la noción de autoría. El diseñador ya no actúa como único creador del objeto, sino como articulador de un sistema que integra algoritmos, herramientas digitales, materiales y contingencias físicas. La autoría se distribuye entre estos agentes, configurando un modelo híbrido que desafía las categorías tradicionales del diseño y redefine la práctica proyectual como un proceso relacional y emergente.

Asimismo, la fabricación digital se revela como una instancia crítica de aprendizaje y no como una etapa neutra de producción. La confrontación entre el modelo digital y la realidad material actúa como un filtro que limita, corrige y reinterpreta las posibilidades formales generadas algorítmicamente. Esta confrontación produce conocimiento situado, específico y no completamente transferible, reforzando la dimensión experimental del bioaprendizaje.

Desde una perspectiva cultural, esta aproximación permite reinterpretar el patrimonio geométrico islámico sin reducirlo a una lógica de réplica o simulación superficial. La geometría se mantiene como estructura subyacente y sistema de reglas, pero se reconfigura mediante procesos contemporáneos que introducen nuevas lecturas materiales y conceptuales. La imperfección inducida por el proceso no degrada el valor cultural del objeto, sino que lo reinscribe en una tradición histórica de variación y reinterpretación continua. La paradoja digital que emerge de este trabajo revela, en última instancia, que cuanto más precisa se vuelve la tecnología, más eficaz resulta para producir la apariencia de imperfección. Esta condición invita a repensar la relación entre tecnología y cultura material, y a cuestionar las jerarquías establecidas entre lo manual y lo digital en la producción contemporánea. En este sentido, el organicismo digital no se manifiesta en la forma final, sino en el proceso mismo, entendido como un sistema vivo, abierto y en constante transformación.

7. Caso experimental: del patrón algorítmico al artefacto material

7.1. Selección del patrón y lógica geométrica

El caso experimental desarrollado se centra en la selección de un patrón geométrico islámico generado mediante inteligencia artificial a partir de una estructura de simetría radial. La elección respondió a criterios tanto geométricos como materiales: coherencia formal, potencial tridimensional y viabilidad de fabricación. El patrón seleccionado presentaba una organización basada en estrellas y polígonos entrelazados, permitiendo una lectura clara de la lógica subyacente aun tras su transformación volumétrica.

7.2. Traducción tridimensional y preparación para fabricación

La conversión del patrón bidimensional en un relieve tridimensional se realizó mediante modelado paramétrico, introduciendo variaciones controladas de profundidad y espesor. Esta etapa fue decisiva para transformar un sistema gráfico en un objeto susceptible de interacción material. La parametrización permitió ajustar rápidamente el modelo frente a problemas detectados durante la fabricación, como fragilidad estructural o pérdida de definición en zonas de alta complejidad.

7.3. Fabricación, colado y comportamiento material

Las siguientes imágenes documentan una instancia material específica del proceso expe-



Figura 6. Molde de silicona obtenido a partir del relieve impreso en 3D, destinado a la producción de piezas y posteriores tratamientos superficiales (Fuente propia).

rimental (*Ver Figura 6*).

El modelo tridimensional fue fabricado mediante impresión 3D y posteriormente utilizado para la producción de moldes flexibles. El colado con compuestos minerales introdujo una dimensión material que alteró la percepción del patrón, enfatizando sombras, texturas y discontinuidades superficiales. Estas cualidades, ausentes en el entorno digital, emergie-



Figura 7. Artefacto final con compuesto mineral y tratamiento superficial para simular pátina envejecida (Fuente propia).

ron como resultado directo del proceso físico (Ver Figura 7).

Durante esta fase se observaron variaciones entre piezas producidas a partir del mismo molde, evidenciando cómo la materialidad introduce una lógica de no repetición incluso dentro de sistemas altamente controlados. Este comportamiento refuerza la noción de bioaprendizaje, donde cada iteración material aporta información que reconfigura el proceso proyectual.

7.4. Evaluación crítica del caso

El análisis del artefacto final pone de manifiesto que el valor experimental del proceso no reside únicamente en el objeto producido, sino en el conjunto de decisiones, ajustes y reinterpretaciones que lo hacen posible. El caso demuestra que la fabricación digital puede funcionar como un mediador crítico entre tradición geométrica y tecnología contemporánea, produciendo objetos que no son copias del pasado, sino reinterpretaciones activas.

8. Conclusiones

Este capítulo ha desarrollado el concepto de *organicismo digital* como una condición operativa del diseño contemporáneo, en la que los sistemas computacionales dejan de ser herramientas instrumentales para convertirse en estructuras dinámicas de generación, aprendizaje y transformación. A partir de la reinterpretación de patrones geométricos islámicos mediante inteligencia artificial y fabricación digital, se ha demostrado que el diseño puede entenderse como un proceso vivo, caracterizado por la iteración, la adaptación y la emergencia formal.

El marco conceptual del *bioaprendizaje* ha permitido comprender cómo el conocimiento proyectual se construye de manera no lineal, a través del diálogo continuo entre algoritmos, intervención humana y materialidad física. En este modelo, el diseño no se despliega como una secuencia cerrada de concepción y ejecución, sino como un sistema abierto en el que cada iteración reconfigura tanto el proceso como sus resultados. Esta condición resulta especialmente relevante en contextos donde la inteligencia artificial amplía el campo de lo posible y la fabricación digital introduce restricciones y comportamientos imprevistos.

Desde esta perspectiva, la investigación confirma que la inteligencia artificial no actúa como un agente autónomo de creación, sino como un sistema guiado por decisiones humanas conscientes. La autoría se redefine como una condición distribuida, en la que el diseñador articula reglas, criterios y procesos, mientras que algoritmos y materiales participan activamente en la configuración del resultado final.

En el ámbito del patrimonio cultural, el trabajo demuestra que es posible reinterpretar sistemas ornamentales históricos sin reducirlos a una lógica de copia o simulación. La geometría islámica, entendida como un sistema de conocimiento basado en reglas y proporciones, mantiene su coherencia estructural cuando es mediada por tecnologías contemporáneas, permitiendo establecer un puente productivo entre tradición y experimentación.

En conjunto, el organicismo digital y el bioaprendizaje se proponen aquí no como estilos formales ni como metodologías cerradas, sino como marcos conceptuales capaces de articular diseño generativo, inteligencia artificial y cultura material. Su aplicación permite comprender el diseño como un proceso expandido, en el que aprender, generar y materializar forman parte de un mismo sistema dinámico. De este modo, el capítulo contribuye a los debates actuales sobre diseño computacional y patrimonio cultural, ofreciendo una lectura crítica sobre el papel de la inteligencia artificial en la producción contemporánea de forma, significado y materia.

Este marco abre futuras líneas de investigación en torno a la integración de inteligencia artificial, fabricación digital y patrimonio cultural como sistemas de conocimiento activo en contextos educativos y profesionales.

Referencias bibliográficas

- Ahmed, S., & Hanna, S. (2022). Computational generation of Islamic geometric patterns. *Journal of Architectural Computing*, 20(3), 345–362.
- Austern, G., Capeluto, I. G., & Grobman, J. S. (2018). Rationalization methods in computer-aided fabrication: A critical review. *Automation in Construction*, 90, 281–293. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.013>
- Balu, A., Verma, S., & Singh, R. (2021). Artificial intelligence in generative design: A review. *Design Studies*, 74, 101–132.
- Broug, E. (2008). *Islamic geometric patterns*. Thames & Hudson.
- Carmo, M. (2017). *The second digital turn: Design beyond intelligence*. MIT Press. <https://doi.org/>

- org/10.7551/mitpress/10833.001.0001
- Davis, D. (2019). Computational craft: Generative design between autonomy and control. *International Journal of Architectural Computing*, 17(2), 108–124. <https://doi.org/10.1177/1478077119842550>
- Dritsas, S. (2012). Design-built rationalization: Geometry and fabrication logic in digital construction. *International Journal of Architectural Computing*, 10(4), 407–420. <https://doi.org/10.1260/1478-0771.10.4.407>
- Elhabian, S., et al. (2019). AI-driven creativity in computational aesthetics. *Computers & Graphics*, 85, 25–38.
- Halabi, M., & Eid, B. M. (2024). Harmonizing tradition and innovation: Exploring unconventional Islamic pattern combinations through AI-driven design and digital fabrication. In *Proceedings of SIGraDi 2024*.
- Hasan, S. R. (2025). Complexity redistribution and cognitive displacement in scalable AI systems. SSRN. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5287538>
- Kim, M. J., & Cho, Y. (2021). AI-driven generative design and user prompting in architectural visualization. *Design Studies*, 72, 45–60. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2021.10.003>
- Leach, N. (2020). Intelligence by design: The new digital ethics. *Architectural Design*, 90(1), 22–29. <https://doi.org/10.1002/ad.2500>
- Lee, J., Kang, M., & Park, S. (2023). Generative–rationalization workflows for free-form structures. *Buildings*, 13(5), 1250. <https://doi.org/10.3390/buildings13051250>
- Lee, J., & Wang, H. (2024). Authenticity and materiality in digital heritage fabrication. *Digital Heritage*, 8(1), 55–72.
- Liu, Y., & Lim, K. M. (2022). Integrating fabrication constraints into topology optimization: A review and new perspectives. *Automation in Construction*, 138, 104222. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104222>
- Oxman, R. (2017). Thinking difference: Theories and models of parametric design thinking. *Design Studies*, 52, 4–39. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2017.06.001>
- Peckham, O., Dunn, S., & Harris, J. (2025). AI in generative design: Expanding complexity and managing computational load. *Designs*, 9(4), 79. <https://doi.org/10.3390/designs9040079>
- Shea, K., Aish, R., & Glover, J. (2005). Design rationalization: A framework for design and production integration. *Automation in Construction*, 14(2), 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.07.013>
- Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial* (3rd ed.). MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/4737.001.0001>
- Zhang, C., Li, X., & Wang, T. (2023). Human–AI co-creation in architectural design: Exploring collaboration and authorship. *Frontiers of Architectural Research*, 12(4), 512–526. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2023.04.006>

Abstract: This chapter investigates the concept of *digital organicism* as a theoretical and operative framework for understanding contemporary processes of generative design, design learning, and material production mediated by artificial intelligence (AI). Through

the study of algorithmically generated Islamic geometric patterns, it analyses how computational systems can behave as dynamic structures capable of learning, adapting, and evolving through iterative feedback cycles between data, geometric rules, and material constraints.

The research proposes the concept of *biolearning* to describe a non-linear learning process in which design progressively adjusts through productive errors, human curatorial decisions, and the physical responses of materials. The work is grounded in an experimental methodology that integrates AI-assisted algorithmic generation, parametric modelling, and digital fabrication processes, including 3D printing, mould production, and casting with mineral-based compounds.

The transition from algorithm to physical artefact reveals a productive paradox: high-precision digital technologies are deliberately employed to produce objects that evoke irregularity, wear, and material patina associated with traditional craftsmanship. This tension is framed as a mechanism of organic learning, in which design knowledge emerges from the interplay between automation and human control.

From a critical perspective, the chapter argues that AI does not replace craft knowledge or design thinking, but rather rearticulates them within a contemporary context, enabling new forms of learning, experimentation, and reinterpretation of cultural heritage. The study contributes to current debates on computational design, design education, and material culture, positioning digital organicism as a conceptual tool for understanding hybrid processes between technology, materiality, and tradition.

The chapter further contends that the critical reduction of complexity, rather than its maximisation, constitutes a key condition for activating processes of material learning and cultural reinterpretation in contemporary generative design.

Keywords: Digital organicism - Biolearning - Artificial intelligence - Generative design - Islamic patterns - Digital fabrication - Material culture - Design learning

Resumo: Este capítulo investiga o conceito de *organicismo digital* como um quadro teórico e operativo para compreender os processos contemporâneos de design generativo, aprendizagem projetual e produção material mediados por inteligência artificial (IA). A partir do estudo de padrões geométricos islâmicos gerados algoritmicamente, analisa-se como sistemas computacionais podem comportar-se como estruturas dinâmicas capazes de aprender, adaptar-se e evoluir por meio de ciclos iterativos de retroalimentação entre dados, regras geométricas e restrições materiais.

A pesquisa propõe o conceito de *bioaprendizagem* para descrever um processo de aprendizagem não linear no qual o design se ajusta progressivamente a partir de erros produtivos, decisões curatoriais humanas e respostas físicas dos materiais. O trabalho baseia-se em uma metodologia experimental que integra geração algorítmica assistida por IA, modelagem paramétrica e processos de fabricação digital, incluindo impressão 3D, produção de moldes e fundição com compostos minerais.

A transição do algoritmo ao artefato físico revela um paradoxo produtivo: tecnologias digitais de alta precisão são deliberadamente empregadas para produzir objetos que evocam

irregularidade, desgaste e pátina material associados ao artesanato tradicional. Essa tensão é compreendida como um mecanismo de aprendizagem orgânica, no qual o conhecimento projetual emerge do diálogo entre automação e controle humano.

Sob uma perspectiva crítica, o capítulo argumenta que a IA não substitui o conhecimento artesanal nem o pensamento projetual, mas os rearticula em um contexto contemporâneo, permitindo novas formas de aprendizagem, experimentação e reinterpretação do patrimônio cultural. O estudo contribui para os debates atuais sobre design computacional, educação em design e cultura material, posicionando o organicismo digital como uma ferramenta conceitual para compreender processos híbridos entre tecnologia, materialidade e tradição.

O capítulo sustenta ainda que a redução crítica da complexidade, e não sua maximização, constitui uma condição fundamental para ativar processos de aprendizagem material e reinterpretação cultural no design generativo contemporâneo.

Palavras-chave: Organicismo digital - Bioaprendizagem - Inteligência artificial - Design generativo - Padrões islâmicos - Fabricação digital - Cultura material - Aprendizagem projetual

Maruan Halabi es Profesor Asociado de Arquitectura y Vicedecano de la Facultad de Artes en la Universidad Zayed (Emiratos Árabes Unidos), cargo que ocupa desde 2021. Obtuvo el título de Doctor en Arquitectura y Tecnología en 2008 por la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, con una tesis doctoral centrada en los inicios de la tecnología CAM en la arquitectura, desarrollada a partir del caso de la Sagrada Familia. Su trayectoria académica y de investigación se ha enfocado en el diseño computacional avanzado, la fabricación digital y, más recientemente, en la integración de la inteligencia artificial en procesos de diseño, modelado tridimensional y programación aplicada a la arquitectura y el diseño. Su trabajo explora la relación entre sistemas generativos, materialidad y procesos de racionalización, con especial atención a la traducción entre entornos digitales y fabricación física. Ha publicado y presentado su investigación en revistas académicas y congresos internacionales especializados en diseño avanzado y fabricación digital, y participa regularmente como revisor y miembro de comités científicos en conferencias internacionales del área. Su experiencia académica se complementa con una sólida práctica profesional, habiendo colaborado como consultor en proyectos de relevancia internacional como la Sagrada Familia en Barcelona y el Pabellón H2O en Zaragoza. A lo largo de más de veinte años de trayectoria profesional y académica, ha desarrollado actividades docentes, investigadoras y de gestión universitaria en España, Francia, Líbano y los Emiratos Árabes Unidos. Actualmente, además de sus funciones académicas, se desempeña como consultor académico para programas de arquitectura y es responsable del departamento de fabricación digital en Sequence Contracting, en Abu Dhabi.