

Fecha de recepción: febrero 2026  
Fecha de aprobación: abril 2026

# El hongo que se comió la arquitectura de Le Corbusier: Algoritmos bioinspirados y morfogénesis digital para una arquitectura adaptativa

Marcelo Fraile Narváez<sup>(1)</sup>

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada, Universidad Rey Juan Carlos  
iBAG-UIC Barcelona (Institute for Biodigital Architecture and Genetics)  
Universitat Internacional de Catalunya

---

**Resumen:** Durante gran parte del siglo XX y hasta nuestros días, la caja ha sido sinónimo de racionalidad arquitectónica: geometría pura, función calculada y control ambiental mecánico. Pero ese paradigma está en descomposición. Frente al cambio climático, la crisis energética y la pérdida de biodiversidad, emerge una nueva matriz proyectual inspirada en los procesos de crecimiento de los organismos vivos. Este trabajo propone un método de crítica morfológica que somete cuatro invariantes del paradigma corbusierano –la caja apoyada, la caja elevada sobre pilotis, la caja estratificada y la caja densa multinivel– a un proceso de colonización algorítmica basado en el comportamiento del moho mucilaginoso *Physarum polycephalum*. El resultado no es una tecnología de fachada con rendimiento verificado, sino un atlas de variaciones morfológicas y topológicas que permite identificar qué operaciones espaciales quedaban excluidas por el paradigma moderno. La caja moderna se convierte así en sustrato para configuraciones impensadas desde sus premisas originales: densidades variables, redundancias conectivas, gradientes continuos que redefinen la relación entre racionalidad geométrica y adaptabilidad sistémica.

**Palabras clave:** Bioinspiración - Morfogénesis digital - *Physarum polycephalum* - Diseño paramétrico - Arquitectura adaptativa - Le Corbusier

[Resúmenes en inglés y en portugués en las páginas 88-89]

<sup>(1)</sup> Ver CV en pág. 89

---

## Introducción

Basta recorrer cualquier periferia metropolitana contemporánea –Madrid, São Paulo, Shanghái, Buenos Aires– para constatar que la arquitectura del siglo XXI sigue siendo, en su inmensa mayoría, una arquitectura de cajas. Paralelepípedos de hormigón y vidrio se apilan en promociones de vivienda, se alinean en polígonos industriales, se elevan como

torres de oficinas idénticas entre sí. El repertorio formal inaugurado por Le Corbusier hace ya un siglo –volumen prismático, planta libre, fachada neutra, cubierta plana– no solo pervive, sino que se ha convertido en la forma-por-defecto del capitalismo inmobiliario global. La caja no necesita justificación: es lo que se construye cuando no se piensa en otra cosa, cuando la eficiencia del metro cuadrado prevalece sobre cualquier otra consideración.

Esta hegemonía de la caja no es inocente. El paralelepípedo moderno encarna una concepción del mundo donde la naturaleza es lo exterior, hostil, que es necesario climatizar; donde el edificio es máquina autónoma alimentada por energía barata; donde la repetición industrial garantiza economía y la geometría ortogonal facilita el cálculo. “La casa es una máquina para vivir”, proclamaba Le Corbusier en 1923, y esa máquina adoptó invariablemente la forma del prisma rectangular. Un siglo después, seguimos fabricando las mismas máquinas, aunque el mundo para el que se concibieron ya no existe. El petróleo barato se agota, el clima se desestabiliza, la biodiversidad colapsa, y sin embargo las grúas siguen levantando cajas idénticas a las de 1925, como si nada hubiera cambiado.

El presente trabajo propone una operación de sabotaje conceptual: someter la caja moderna a un proceso de colonización algorítmica inspirado en el crecimiento fúngico. No se trata de demoler el legado moderno ni de revestirlo con paneles verdes, sino de infiltrarlo, parasitarlo, transformarlo desde dentro mediante una lógica radicalmente diferente. El algoritmo que simula el crecimiento de *Physarum polycephalum* no respeta la estructura de la caja, no alinea sus ramificaciones con pilares ni juntas, no optimiza nada según criterios de eficiencia ingenieril. Simplemente crece donde las condiciones se lo permiten, conecta puntos mediante redes redundantes, ocupa intersticios que la racionalidad moderna había declarado residuales.

La imagen resultante –una caja blanca colonizada por una masa orgánica que trepa asimétricamente por sus fachadas– funciona como metáfora de lo que la crisis ecológica ya está haciendo con el paradigma arquitectónico moderno: corroyéndolo lentamente, revelando su obsolescencia, abriendo grietas por donde pueden infiltrarse otras formas de habitar.

El título de este artículo –“El hongo que se comió la arquitectura de Le Corbusier”– no debe entenderse como boutade provocadora sino como diagnóstico literal. Los edificios modernos, diseñados para durar eternamente en un clima estable, están siendo efectivamente devorados: por hongos reales que prosperan en sus condensaciones y filtraciones, por vegetación espontánea que coloniza sus grietas, por la entropía acelerada de materiales que no fueron pensados para las temperaturas extremas actuales. Pero también están siendo devorados conceptualmente: sus premisas de control ambiental mecánico resultan insostenibles cuando el aire acondicionado consume el 20% de la electricidad mundial; su neutralidad formal se revela como imposición colonial cuando se exporta sin modificaciones de Finlandia a Nigeria; su eficiencia funcional produce alienación cuando reduce el habitar a metros cuadrados optimizados.

Frente a la crisis terminal de la caja, proponemos el giro fúngico no como estética orgánica –no se trata de hacer edificios “con forma de hongo”– sino como cambio de lógica operativa. El hongo no impone geometrías: las cultiva. No controla el ambiente: se adapta a él. No optimiza una solución única: mantiene redundancias que garantizan resiliencia. No distingue entre estructura y ornamento, entre soporte y relleno, entre interior y exterior: todo es gradiente, todo es transición, todo está en proceso de transformación (Werner,

2019). Pensar la arquitectura desde el hongo implica abandonar la obsesión moderna por el objeto terminado y abrazar la incompletitud constitutiva de los sistemas vivos.

## Marco teórico

La caja moderna no fue simplemente una elección formal entre otras posibles. Fue el dispositivo espacial de un proyecto civilizatorio que prometía racionalizar la existencia humana mediante la técnica. Los cinco puntos de Le Corbusier –pilotis, planta libre, fachada libre, ventana corrida, terraza jardín– constituían un sistema coherente para liberar al edificio de las servidumbres de la construcción tradicional: muros portantes, distribuciones fijas, huecos condicionados por la estructura. El hormigón armado permitía separar soporte y cerramiento, y esa separación inauguraba un nuevo régimen de libertad formal. Pero esa libertad se ejerció paradójicamente para producir un único tipo: el prisma rectangular de fachadas neutras y plantas flexibles, replicable desde Chandigarh hasta Brasilia, desde las Unités d’Habitation hasta los polígonos de vivienda social que todavía hoy se construyen en cualquier extrarradio del planeta.

La globalización de la caja no respondió solo a imperativos técnicos o económicos, sino a una ideología del control que encontraba en la geometría ortogonal su expresión más pura. El ángulo recto, como señalaba el propio Le Corbusier, era “el instrumento necesario para actuar”, garantía de orden frente al caos de lo orgánico. Esta voluntad de dominio se extendía del edificio al territorio: los planes de París, Argel, Río de Janeiro, Buenos Aires proponían arrasar tejidos urbanos existentes para imponer retículas de torres cruciformes flotando sobre autopistas y zonas verdes. El fracaso de estos planes –parcialmente ejecutados solo en Chandigarh y Brasilia– no impidió que su lógica subyacente se generalizara por otras vías: la urbanización difusa contemporánea, aunque no adopte la forma de torres en el parque, comparte con ella la premisa de que el territorio es superficie neutral disponible para la implantación de objetos autónomos.

La crisis de este modelo se manifiesta hoy en múltiples registros simultáneos. En el registro ambiental, los edificios consumen el 40% de la energía global y generan un tercio de las emisiones de gases de efecto invernadero; la climatización mecánica que permite habitar cajas de vidrio en climas extremos es directamente responsable del calentamiento que hace esos climas aún más extremos. En el registro material, las fachadas ligeras y los sistemas constructivos industrializados que hicieron posible la replicación infinita de la caja tienen ciclos de vida cortos y generan residuos difícilmente reciclables. En el registro social, la neutralidad funcional que prometía flexibilidad produce en realidad monotonía e intercambiabilidad: todos los espacios son iguales porque ninguno tiene cualidades específicas, y esa igualdad abstracta dificulta la apropiación y el arraigo. En el registro económico, la especulación inmobiliaria encuentra en la caja su aliado perfecto: geometría que maximiza metros cuadrados vendibles, construcción rápida que acelera el retorno de inversión, materiales económicos que incrementan márgenes de beneficio. La caja no solo es fácil de calcular estructuralmente; es fácil de calcular financieramente, y esa doble previsibilidad explica su persistencia más allá de cualquier consideración arquitectónica.

Frente a esta crisis múltiple, diversas líneas de investigación han explorado alternativas al paradigma de la caja. La arquitectura bioclimática propone recuperar estrategias pasivas de acondicionamiento –orientación, masa térmica, ventilación cruzada– que la modernidad había declarado obsoletas. La biomímesis, sistematizada por Janine Benyus (1997), sugiere aprender de las soluciones que la evolución ha refinado durante millones de años para problemas de regulación térmica, estructural, hidráulica. La morfogénesis digital, desarrollada por investigadores como Michael Hensel y Achim Menges (2008), utiliza algoritmos evolutivos para generar formas que emergen de restricciones ambientales y estructurales en lugar de ser impuestas a priori. La arquitectura biodigital, impulsada desde el año 2000 por Alberto T. Estévez en Barcelona, propone la fusión de técnicas biológicas y digitales para crear una arquitectura que no imite la naturaleza, sino que opere según sus principios.

El presente trabajo se inscribe en esta constelación de aproximaciones, pero con un énfasis específico en la figura del hongo como modelo operativo. No se trata de celebrar lo orgánico frente a lo geométrico –oposición que reproduce la dicotomía naturaleza/cultura que pretendemos superar– sino de identificar en ciertos organismos principios de organización espacial radicalmente diferentes de los que rigen la caja moderna. El moho mucilaginoso *Physarum polycephalum* resulta particularmente relevante porque su comportamiento ha sido extensamente estudiado como modelo de computación distribuida y optimización de redes, demostrando capacidades que desafían las concepciones convencionales sobre inteligencia y planificación.

Los experimentos seminales de Toshiyuki Nakagaki y colaboradores, publicados en *Nature* en los años 2000 y 2001, demostraron que *Physarum* podía encontrar la ruta más corta a través de un laberinto conectando dos fuentes de alimento, sin poseer sistema nervioso central ni capacidad de planificación consciente. Investigaciones posteriores de Atsushi Tero y su equipo, publicadas en *Science* en 2010, llevaron este principio al diseño de infraestructuras: colocando copos de avena en posiciones correspondientes a las ciudades de la región de Tokio, el organismo desarrolló una red de tubos protoplasmáticos sorprendentemente similar al sistema ferroviario real. El moho mucilaginoso había “resuelto” un problema de optimización multiobjetivo –minimizar longitud total, maximizar eficiencia de transporte, garantizar robustez ante fallos– sin plano director, sin ingenieros. Su inteligencia era distribuida, emergente, material.

El puente metodológico entre biología y diseño arquitectónico fue establecido explícitamente por Kay *et al.* (2022) en *Scientific Reports*, donde se propone el crecimiento escalonado del moho mucilaginoso como “plantilla para el diseño urbano”. Este precedente legitima la traducción que proponemos: no simulamos el organismo biológico con fidelidad, sino que extraemos sus principios operativos –estigmergia, retroalimentación, redundancia– para aplicarlos como generadores de configuraciones espaciales. Jeff Jones, investigador de la Universidad del Oeste de Inglaterra, desarrolló modelos computacionales que capturan estos principios mediante sistemas de agentes múltiples, permitiendo simular el crecimiento del organismo en entornos virtuales tridimensionales (Adamatzky & Jones, 2010).

La distinción es crucial. No proponemos edificios “con forma de hongo” –gesto formalista que reproduciría la lógica moderna de imposición de geometrías, solo que con geome-

trías curvas en lugar de ortogonales—. Proponemos edificios que crezcan como hongos: respondiendo a condiciones locales, conectando puntos mediante redes redundantes, variando su densidad según gradientes ambientales, manteniendo capacidad de adaptación y regeneración. El hongo no tiene forma definitiva porque está siempre en proceso de transformación; del mismo modo, la arquitectura fúngica no sería objeto terminado sino sistema en evolución continua.

Esta aproximación resuena con el pensamiento de Donna Haraway sobre la disolución de fronteras entre categorías supuestamente opuestas. En su célebre “Manifiesto Cyborg” (1985), Haraway propone que ninguna arquitectura constrictiva determina necesariamente lo que puede existir: los objetos, espacios y cuerpos no son sagrados en sí mismos, cualquier componente puede a través de una interfaz conectarse con cualquier otro si se construye el código apropiado. La arquitectura fúngica que proponemos opera precisamente en ese territorio de hibridación: no es puramente natural ni completamente artificial, no imita la biología ni la domina técnicamente, sino que actualiza principios biológicos en el medio digital para generar configuraciones que no existían previamente ni en la naturaleza ni en el repertorio de la arquitectura.

## Metodología

El experimento que fundamenta este trabajo consiste en someter una serie de volúmenes prismáticos a un proceso de colonización mediante un modelo algorítmico de crecimiento tipo *Physarum*. No se trata de una simulación biológica del organismo real, sino de una apropiación proyectual de sus principios operativos para producir un atlas de variaciones morfológicas sobre el arquetipo de la caja. El modelo utilizado deriva de las investigaciones de Jones sobre sistemas de agentes estigmérgicos (2015), implementado mediante el plugin Physarealm en el entorno Rhinoceros/Grasshopper, basado en los algoritmos desarrollados por Ma (2017).

En lugar de trabajar sobre una caja genérica indiferenciada, el experimento define cuatro modelos morfológicos que sintetizan las invariantes del paradigma corbusierano. Estos modelos derivan de los cinco puntos reducidos a operaciones sobre el prisma y funcionan como sustratos experimentales diferenciados:

El primer modelo, la *caja elemental apoyada en el suelo*, representa el volumen prismático ortogonal directamente en contacto con el terreno. No hay mediación espacial entre suelo y arquitectura: la base es cerrada, continua, masiva. Es la traducción más directa del principio de la vivienda como objeto autónomo, heredero tanto de la tradición racionalista como de la abstracción platónica que subyace al pensamiento temprano de Le Corbusier. Morfológicamente, la caja es compacta, con perforaciones mínimas y controladas. Este modelo funciona como estado basal: una geometría cerrada, sin zonas de ambigüedad, que permite observar cómo el sistema fúngico coloniza una masa sin discontinuidades espaciales previas.

El segundo modelo, la *caja elevada sobre pilotis*, introduce una operación clave del pensamiento corbusierano: la separación entre caja y suelo. La volumetría principal permanece

prácticamente idéntica al modelo anterior, pero se produce una disociación conceptual fundamental: el edificio deja de “apoyarse” y pasa a “flotar”. Los pilotis no alteran la caja; la subrayan al aislarla del contexto físico inmediato. Aparece un espacio intermedio, un vacío activo bajo el volumen que no es interior ni exterior en sentido clásico. En términos experimentales, este modelo introduce una doble superficie de interacción: la envolvente del volumen y el plano inferior expuesto, lo que permite observar comportamientos diferenciados del crecimiento algorítmico en zonas tradicionalmente “inexistentes” en la caja apoyada.

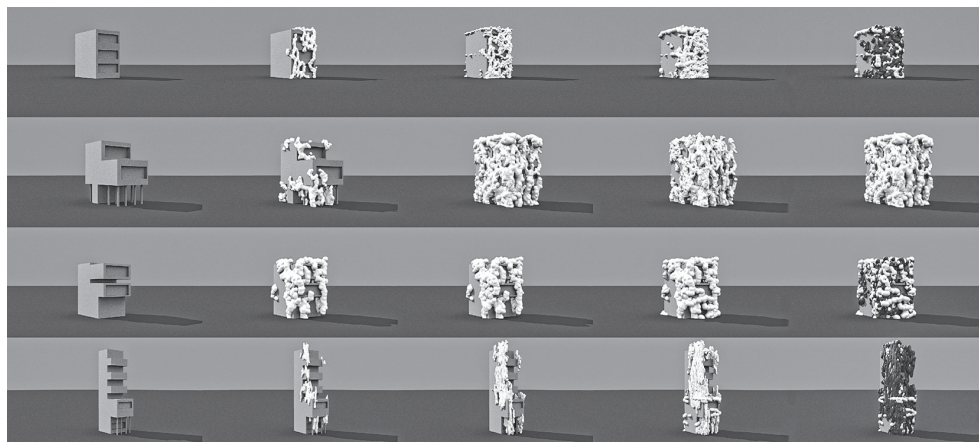
El tercer modelo, la *caja elevada con estratificación horizontal*, complejiza la lógica anterior sin abandonarla. La caja sigue siendo dominante, pero aparece una estratificación horizontal clara: bandas de fachada, retranqueos, capas superpuestas que fragmentan visual y conceptualmente la unidad monolítica. No se trata aún de una disolución formal, sino de una caja compuesta, donde el volumen sigue siendo legible como prisma, pero manifiesta tensiones internas entre estructura, cerramiento y uso. Esta condición responde a una evolución del pensamiento de Le Corbusier hacia sistemas más densos y repetibles. Para el experimento, este modelo es especialmente relevante porque introduce zonas de fricción morfológica: aristas, encuentros, sombras profundas, discontinuidades que actúan como potenciales catalizadores del crecimiento algorítmico.

El cuarto modelo, la *caja densa y elevada de múltiples niveles*, representa la máxima intensificación de la caja sin su colapso formal. Se trata de un volumen alto, compacto, elevado, con fuerte presencia de repetición modular en fachada. La caja ya no es doméstica en sentido tradicional sino casi infraestructural. La abstracción alcanza una escala colectiva: la forma sigue siendo un prisma regular, pero su densidad programática y su altura introducen una nueva relación con el entorno. Este modelo funciona como escenario límite: máxima superficie, máxima repetición, máxima continuidad formal. Es el soporte ideal para observar cómo un sistema de crecimiento adaptativo desafía una lógica arquitectónica llevada a su extremo racional.

El proceso de colonización se configura mediante la definición de puntos de origen del crecimiento (equivalentes a las esporas del organismo real) y puntos de atracción (equivalentes a las fuentes de alimento). Para cada modelo se ejecutan variantes combinando tres configuraciones de origen (base, cubierta, aristas) con cuatro configuraciones de atractores (base, cubierta, esquina, distribuidos), totalizando doce variantes por modelo. Cada variante se ejecuta durante 500 iteraciones. El algoritmo opera mediante una población de partículas virtuales que se desplazan en el espacio depositando sustancias quimioattractoras y orientándose según los gradientes de concentración resultantes. Las trayectorias de mayor tránsito se refuerzan mediante retroalimentación positiva; las menos utilizadas decaen por evaporación de la señal química.

Este mecanismo produce espontáneamente estructuras reticulares que conectan los puntos de atracción mediante redes de alta redundancia y robustez ante fallos locales. La forma no se diseña, sino que emerge del proceso; el diseñador no dibuja geometrías, sino que establece condiciones iniciales y observa resultados. Las configuraciones resultantes se traducen a geometría arquitectónica mediante operaciones de post-procesamiento que asignan espesores a las trayectorias y generan mallas poligonales exportables. Los radios de los tubos varían en función de la intensidad de uso de cada segmento durante la simu-

lación, introduciendo jerarquía estructural análoga a la de los sistemas vasculares biológicos. Se seleccionan para el atlas aquellas configuraciones que presentan legibilidad como sistema estructural potencial, muestran variación de densidades interpretable en términos de envolvente, y mantienen relación reconocible con el sustrato original. El resultado es una estructura tridimensional que coloniza el volumen de la caja original, superponiéndose a ella, penetrándola, transformándola en soporte para un organismo arquitectónico parásito (Ver Figura 1).



**Figura 1.** Atlas de variaciones morfológicas resultantes de la colonización algorítmica tipo *Physarum* sobre cuatro configuraciones canónicas de la caja moderna (Fuente propia).

## Desarrollo

Los resultados del experimento varían significativamente según el modelo de caja colonizado. La caja elemental apoyada, sin discontinuidades previas, ofrece máxima resistencia conceptual a la colonización. El algoritmo tiende a envolver el volumen desde el exterior, generando estructuras epidérmicas que se adhieren a las caras sin penetrar en el interior. Las configuraciones con atractores en la cubierta producen crecimientos ascendentes que recuerdan vegetación trepadora; las configuraciones con atractores en base generan acumulaciones en la zona de contacto con el suelo. La operación dominante es la superposición de capas: el algoritmo añade materia sobre la caja sin modificar su lógica interna. Las imágenes resultantes del experimento muestran una caja blanca, prístina, casi corbusierana, colonizada asimétricamente por una masa orgánica de color rojo/anaranjado que

trepas por sus fachadas y penetra en su interior. La geometría fúngica no respeta la lógica de la caja: no alinea sus ramificaciones con pilares virtuales, no sigue las juntas de una retícula estructural, no “optimiza” nada según criterios ingenieriles convencionales. Simplemente se adhiere donde las condiciones del sustrato y los gradientes de atracción se lo permiten, generando acumulaciones densas en ciertas zonas y dejando vacíos intersticiales en otras. La introducción del vacío bajo la caja en el segundo modelo transforma radicalmente el comportamiento del algoritmo. El espacio entre pilotis actúa como zona de baja resistencia que el crecimiento ocupa preferentemente, generando redes que conectan los apoyos puntuales y densifican el plano inferior. Las configuraciones más interesantes producen una inversión de la lógica corbusierana: donde Le Corbusier proponía liberación del suelo, el algoritmo genera ocupación; donde había vacío, aparece una malla estructural secundaria. Simultáneamente, el crecimiento asciende por los pilotis hacia el volumen superior, utilizando los elementos verticales como vías de colonización. El resultado es un sistema continuo que conecta suelo, estructura intermedia y envolvente.

La estratificación horizontal del tercer modelo introduce discontinuidades que el algoritmo aprovecha como nichos de crecimiento. Los retranqueos entre bandas de fachada, las líneas de sombra, los encuentros entre planos de diferente profundidad funcionan como atractores emergentes no programados explícitamente: el sistema deposita más material en estas zonas de fricción morfológica. El resultado es una acentuación de la estratificación original mediante densificación diferencial. Las bandas horizontales de Le Corbusier, pensadas como expresión de repetición modular, se convierten en franjas de espesor variable donde el crecimiento algorítmico ha sedimentado capas sucesivas.

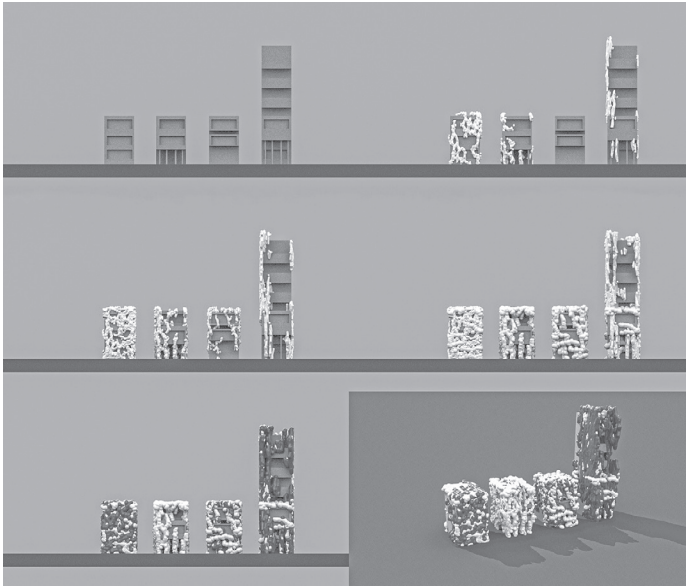
El modelo de caja densa multinivel produce los resultados más diversos. La abundancia de superficie disponible permite al algoritmo desarrollar redes extensas con múltiples jerarquías. Las configuraciones con atractores distribuidos generan sistemas de alta conectividad que envuelven el volumen en una malla tridimensional continua; las configuraciones con atractores concentrados producen gradientes pronunciados entre zonas densamente colonizadas y zonas apenas tocadas. La operación más significativa en este modelo es la diferenciación por orientación: cuando los atractores se ubican asimétricamente, el crecimiento responde con densidades diferentes según la fachada. Esta diferenciación, que el paradigma moderno rechazaba en favor de la homogeneidad, emerge aquí como respuesta adaptativa a condiciones asimétricas.

La colonización algorítmica cuestiona frontalmente la obsesión moderna por la estructura “legible” y la forma “honestá”. La tradición moderna exigía que el edificio expresara su sistema portante, que la fachada revelara la lógica constructiva, que ornamento y estructura coincidieran o que el ornamento simplemente desapareciera. El crecimiento fúngico ignora estas prescripciones: no tiene nada que ver con la transferencia de cargas al suelo, no expresa ninguna verdad constructiva, no distingue entre lo necesario y lo superfluo. Y sin embargo, la estructura que genera es perfectamente funcional en sus propios términos: una red de distribución capaz de repararse ante daños locales, adaptable a cambios en la ubicación de las fuentes de alimento.

La densidad variable del crecimiento sugiere estrategias de envolvente radicalmente diferentes de la fachada moderna homogénea. Donde el muro cortina impone una permeabilidad uniforme –todo vidrio o todo panel opaco, repetido módulo tras módulo–, la piel

fúngica presenta gradientes continuos de porosidad. Hay zonas densas que ofrecerían protección solar y privacidad, zonas de densidad media que filtrarían luz y vistas, zonas casi vacías que permitirían ventilación franca. Esta variabilidad no responde a un diseño deliberado de fachada, sino que emerge de las dinámicas del crecimiento. Es importante enfatizar que estas lecturas no derivan de optimizaciones calculadas sino de interpretaciones proyectuales de resultados emergentes. El algoritmo no fue programado para producir “fachadas bioclimáticas”; genera redes según principios de crecimiento fúngico, y corresponde al arquitecto identificar las potencialidades arquitectónicas de esas redes.

Topológicamente, el algoritmo crea puentes, cortocircuitos, atajos que la racionalidad moderna nunca habría proyectado. Los recorridos funcionales del edificio moderno son trazas limpias sobre planta: pasillos rectilíneos, escaleras ubicadas según código, ascensores en núcleos centralizados. La red fúngica conecta puntos mediante múltiples rutas alternativas, ninguna de las cuales es necesariamente “óptima” según un único criterio. Esta redundancia, que el ingeniero moderno consideraría desperdicio, garantiza robustez sistémica: si un camino se interrumpe, existen otros disponibles (*Ver Figura 2*).

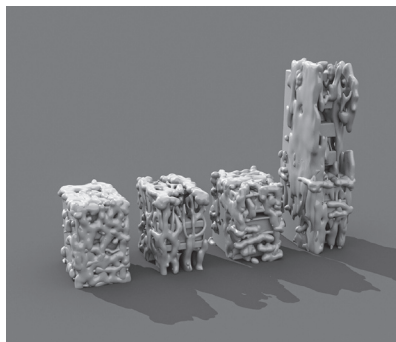


**Figura 2.**  
Colonización  
algorítmica  
progresiva de la  
caja moderna:  
la repetición  
tipológica se disuelve  
en gradientes  
de densidad y  
conectividad  
emergente (Fuente  
propia).

## Resultados

El experimento produce un atlas de 48 variantes (4 modelos×12 configuraciones), de las cuales 31 cumplen los criterios de selección. Independientemente del modelo colonizado, el atlas revela patrones recurrentes que caracterizan la lógica del crecimiento algorítmico frente a la lógica moderna: heterogeneidad de densidades donde la caja imponía homogeneidad; conectividad redundante donde la caja optimizaba recorridos mínimos; gradientes continuos donde la caja establecía límites netos; jerarquía emergente donde la caja diseñaba jerarquías a priori.

La colonización no destruye la caja, sino que la transforma en otra cosa. El paralelepípedo original permanece reconocible como sustrato, pero su significado ha cambiado: ya no es forma definitiva sino soporte provisional, no es expresión de racionalidad sino residuo de un paradigma superado. La imagen resultante –caja moderna colonizada por organismo algorítmico– funciona como alegoría de la situación contemporánea de la arquitectura: el legado moderno no puede simplemente descartarse (constituye el grueso del parque edilicio existente) pero tampoco puede seguir reproduciéndose sin modificaciones (su lógica es incompatible con la crisis ecológica). La única opción viable es metabolizarlo, transformarlo, hacerlo disponible como material para configuraciones impensadas desde sus premisas originales (*Ver Figuras 3 y 4*).



3

**Figuras 3 y 4.**  
Fusión morfológica progresiva: la caja pierde su legibilidad tipológica y se integra en un sistema continuo de crecimiento algorítmico (Fuente propia).



4

## Hacia un marco conceptual: cinco rasgos de una arquitectura post-caja

La rehabilitación del parque edilicio existente será necesariamente uno de los campos principales de trabajo arquitectónico en las próximas décadas. La construcción de obra nueva consume recursos y genera emisiones que el planeta ya no puede absorber; el grueso de los edificios de 2050 ya está construido hoy. Pero las estrategias de rehabilitación disponibles –mejora de aislamientos, sustitución de carpinterías, instalación de sistemas de climatización más eficientes– mantienen intacta la lógica de la caja, solo la hacen menos derrochadora. ¿Qué sucedería si tomáramos el inmenso stock de cajas modernas que inunda nuestras ciudades y, en lugar de perfeccionarlo, lo sometiéramos a una lógica fúngica de colonización?

Las estructuras parásitas que el algoritmo genera podrían materializarse como segundas pieles que modifican radicalmente el comportamiento ambiental del edificio original sin requerir su demolición. A diferencia de las dobles fachadas convencionales –superficies planas paralelas a las existentes– las pieles fúngicas serían tridimensionales, de espesor variable, habitables en algunos puntos y reducidas a filamentos en otros. Crearían espacios intermedios entre interior y exterior, zonas de gradiente térmico y lumínico que la caja moderna no contemplaba.

Estos espacios de gradiente tienen potencial bioclimático significativo. Las cámaras de aire contenidas en la estructura fúngica funcionarían como colchón térmico, reduciendo las transferencias de calor entre interior y exterior. Las zonas porosas permitirían ventilación selectiva, activable según condiciones climáticas. Las acumulaciones densas ofrecerían sombreado en orientaciones que lo requieren. Y todo esto sin sistemas mecánicos adicionales, sin sensores ni actuadores, sin consumo energético: la regulación emergería de la propia configuración geométrica.

La fabricación de estas estructuras complejas plantea desafíos técnicos que los métodos constructivos convencionales no pueden resolver; pero los avances en fabricación digital –impresión 3D de gran escala, robótica aplicada a la construcción, conformado de materiales composites– abren posibilidades sin precedentes.

El análisis sistemático del atlas permite identificar cinco operaciones recurrentes que caracterizan la lógica fúngica de colonización. Estas operaciones no emergen de una taxonomía a priori sino de la observación reiterada de patrones en las simulaciones. No describen la forma del crecimiento –que varía según cada configuración– sino su lógica arquitectónica subyacente. Son operadores teóricos que permiten releer la caja moderna por contraste y, simultáneamente, imaginar configuraciones espaciales que el paradigma moderno no podía concebir desde sus propias premisas.

- **Infiltración.** Frente a la implantación moderna –el edificio como objeto autónomo depositado sobre el terreno, indiferente a preexistencias–, la infiltración propone una relación de continuidad y parasitismo con lo existente. El crecimiento algorítmico no se adhiere a la caja como una fachada verde ni la envuelve como una doble piel añadida a posteriori: la penetra, ocupa sus fisuras conceptuales, coloniza los intersticios que la racionalidad moderna había declarado residuales. Esta ocupación progresiva de zonas de menor resistencia niega la intervención heroica del arquitecto –el “acto proyectual” como imposición de

forma sobre materia– y la sustituye por un proceso continuo que trabaja sobre lo dado. La arquitectura no empieza de cero, sino que crece desde dentro de sistemas existentes, aprovecha estructuras disponibles, transforma sin demoler, metaboliza sin destruir.

- **Porosidad variable.** Frente a la homogeneidad moderna –mismo tratamiento de fachada en todas las orientaciones, misma modulación estructural en toda la planta–, la porosidad variable propone envolventes diferenciadas que responden a condiciones locales. El muro cortina impone una permeabilidad uniforme: todo vidrio o todo panel opaco, repetido módulo tras módulo. El crecimiento fúngico introduce gradientes donde había homogeneidad: zonas densas que ofrecen protección, opacidad, masa térmica; zonas de densidad media que filtran luz y vistas; zonas casi vacías que permiten ventilación cruzada. No hay un límite claro entre interior y exterior –ese límite que la arquitectura moderna trazaba con precisión obsesiva– sino una membrana de espesor variable con comportamiento diferenciado. Una fachada sur desarrolla mayor densidad; una fachada norte permanece más abierta; las esquinas se convierten en zonas de transición. Y estas configuraciones no son diseñadas deliberadamente, sino que emergen de las dinámicas del crecimiento algorítmico.

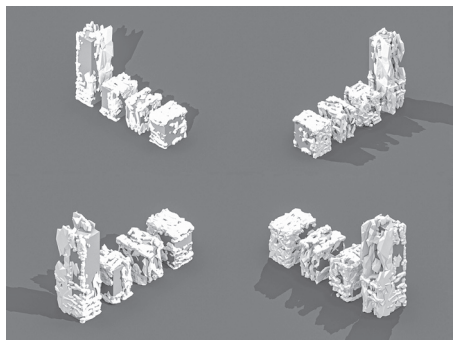
- **Autorregulación morfológica.** Frente al formalismo –tanto el moderno que buscaba la expresión de la función como el contemporáneo que busca la firma icónica del autor–, la autorregulación morfológica propone formas que emergen de procesos sin ser diseñadas por una voluntad centralizadora. La forma del crecimiento fúngico no responde a una intención estética previa ni a un óptimo geométrico calculado: emerge de un equilibrio dinámico entre estímulos, recursos y restricciones que se resuelve localmente en cada punto del sistema. La arquitectura moderna “representaba una idea”: el edificio era materialización de un concepto previo que existía completo en la mente del autor. La arquitectura fúngica no representa nada: se comporta como sistema. Esto no significa renunciar al proyecto ni declarar obsoleto al arquitecto: significa desplazar su rol de autor omnisciente a curador de condiciones iniciales, observador de emergencias, intérprete de resultados.

- **Redundancia conectiva.** Frente a la eficiencia moderna –optimización de recorridos, minimización de circulaciones, jerarquía entre espacios servidos y servidores–, la redundancia conectiva propone sistemas con múltiples caminos alternativos. El micelio de *Physarum* no diseña trayectorias limpias ni busca el camino mínimo; genera redes con solapamientos, bucles, conexiones aparentemente innecesarias. Los recorridos del edificio moderno son trazas limpias: pasillos rectilíneos, escaleras según código, ascensores en núcleos centralizados. La red fúngica conecta puntos mediante múltiples rutas, ninguna “óptima” según el único criterio. Desde la lógica moderna esto es desperdicio, metros cuadrados perdidos. Desde la lógica de sistemas complejos es resiliencia: si un camino se interrumpe existen otros; el sistema puede perder partes sin colapsar. Esta aparente ineficiencia es una forma diferente de eficiencia: no la del sistema perfectamente ajustado que colapsa ante perturbaciones, sino la del sistema robusto que acepta pérdidas locales para garantizar supervivencia global.

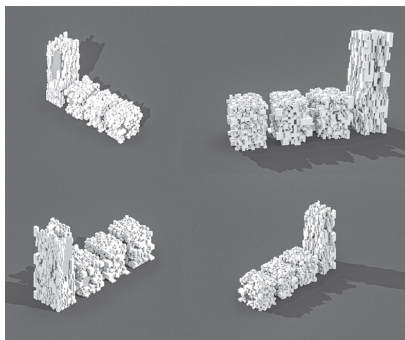
- **Desobediencia geométrica.** Frente al orden geométrico moderno –retícula estructural, módulo compositivo, simetría axial, ángulo recto como principio universal–, la desobediencia geométrica no propone un desorden alternativo ni un caos expresivo, sino una indiferencia radical hacia las prescripciones del paradigma dominante. El crecimiento fúngico no

respetar ejes, ortogonalidad ni jerarquías espaciales del sustrato que coloniza. No dialoga con el orden moderno –no lo subvierte deliberadamente, no lo transgrede como gesto expresivo–: simplemente lo ignora. Sus ramificaciones no se alinean con pilares virtuales ni siguen modulaciones constructivas. Esto no es caos sino una lógica alternativa que no reconoce la autoridad geométrica del cubo. La “estructura” fúngica tiene que ver con el transporte de nutrientes, no con cargas gravitatorias; su “forma” es resultado provisional de un proceso continuo, no expresión permanente de una idea. Esta indiferencia revela que la geometría moderna –presentada durante un siglo como condición universal de la racionalidad– no es más que una convención histórica, una elección contingente que puede deshacerse.

Consideradas en conjunto, las cinco operaciones constituyen los rasgos de lo que podríamos llamar una arquitectura fúngica post-caja: no un estilo reconocible ni un método replicable, sino un vocabulario conceptual para pensar la arquitectura de otro modo. Infiltración, porosidad variable, autorregulación morfológica, redundancia conectiva y desobediencia geométrica no son prescripciones proyectuales –“haz esto, evita aquello”– sino categorías analíticas que permiten identificar lo que el paradigma moderno excluía como impensable y, simultáneamente, imaginar configuraciones que ese paradigma no podía concebir (*Ver Figuras 5 y 6; 7 y 8*).



5



7



6



8

**Figuras 5 y 6.** Regularización del crecimiento algorítmico: el hongo se estabiliza en paneles, traduciendo la lógica orgánica en sistema constructivo (Fuente propia). **Figura 7 y 8.** Voxelización del crecimiento algorítmico: la lógica fúngica se discretiza sin recuperar la tipología de la caja (Fuente propia).

## Conclusiones

Este trabajo ha propuesto un método de crítica morfológica sobre el arquetipo moderno de la caja mediante algoritmos de crecimiento inspirados en *Physarum polycephalum*. La definición de cuatro modelos de caja como sustratos experimentales –caja apoyada, caja sobre pilotis, caja estratificada, caja densa multinivel– permite sistematizar las variantes del paradigma corbusierano y observar respuestas diferenciadas del algoritmo a cada una. La fundamentación del modelo en literatura científica rigurosa –Nakagaki (2000), Tero

*et al.* (2010), Kay *et al.* (2022)– legitima la traducción metodológica sin exigir fidelidad biológica ni prometer rendimiento ambiental verificado.

El atlas de perturbaciones resultante demuestra que es posible generar configuraciones espaciales que desafían las premisas de la arquitectura moderna –homogeneidad, conectividad mínima, zonificación neta, geometría ortogonal– mediante procesos algorítmicos. Los cinco rasgos identificados –infiltración, porosidad variable, autorregulación morfológica, redundancia conectiva, desobediencia geométrica– constituyen un vocabulario conceptual para pensar arquitecturas que operen según lógicas diferentes a las del paradigma de la caja. El valor del método no reside en las morfologías específicas producidas –que requerirían desarrollo técnico adicional para convertirse en arquitectura construible– sino en su capacidad de revelar exclusiones y ampliar posibilidades. La caja moderna, que durante un siglo pareció la única forma racional de organizar el espacio, se revela como una opción entre otras, una convención histórica que puede deshacerse. El legado moderno –el inmenso stock de cajas que puebla nuestras ciudades– se convierte en sustrato disponible para transformaciones impensadas desde sus premisas originales. No se trata de volver a empezar desde cero sino de aprender a cultivar formas sobre las ruinas del paradigma agotado. Las implicaciones para la práctica arquitectónica son profundas. El arquitecto formado en el paradigma moderno concebía su tarea como diseño de objetos terminados: formas definitivas que responden a programas funcionales mediante geometrías calculadas. El arquitecto fúngico concibe su tarea de otro modo: establece condiciones iniciales, calibra parámetros, observa emergencias, interpreta resultados, traduce a sistemas constructivos. No es autor omnisciente sino curador de procesos; no impone soluciones sino cultiva posibilidades. El futuro de la arquitectura no pasa por perfeccionar la caja sino por aprender a cultivar organismos espaciales que operen según lógicas radicalmente diferentes, híbridos de algoritmos computacionales, materiales sintéticos y procesos naturales que compartan con los seres vivos características que la arquitectura moderna había expulsado: capacidad de adaptación, tolerancia a la incertidumbre, apertura a la transformación, integración con sistemas ecológicos más amplios.

## Referencias bibliográficas

- Adamatzky, A. (Ed.). (2019). *Slime mould in arts and architecture*. River Publishers.
- Adamatzky, A., & Jones, J. (2010). Road planning with slime mould: If Physarum built motorways it would route M6/M74 through Newcastle. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 20(10), 3065-3084. <https://doi.org/10.1142/S0218127410027568>
- Benyus, J. M. (1997). *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. William Morrow.
- Estévez, A. T. (2009). *Biodigital architecture*. En Proceedings of the 27th eCAADe Conference: Computation – The new realm of architectural design (pp. 681–686). eCAADe. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2009.681>
- Estévez, A. T. (2022). *Biodigital architecture & genetics: Writings 2*. ESARQ-UIC Barcelona.
- Haraway, D. J. (1985). A Cyborg Manifesto: Science, Technology, and Socialist-Feminism in the Late Twentieth Century. *Socialist Review*, 80, 65-108.

- Hensel, M., & Menges, A. (2008). *Morpho-ecologies*. AA Publications.
- Jones, J. (2015). From pattern formation to material computation: Multi-agent modelling of *Physarum polycephalum*. En A. Adamatzky (Ed.), *Advances in Physarum machines*. Springer.
- Jones, J. (2016). Applications of multi-agent slime mould computing. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 31(5), 420-449. <https://doi.org/10.1080/17445760.2015.1085535>
- Kay, R., Mattacchione, A., Katrycz, C., & Hatton, B. D. (2022). Stepwise slime mould growth as a template for urban design. *Scientific Reports*, 12, 1322. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05439-w>
- Le Corbusier. (1923). *Hacia una arquitectura*. Barcelona. Ediciones Apóstrofe.
- Ma, Y. (2017). Physarealm: A bio-inspired stigmergic algorithm tool for form-finding. En P. Janssen et al. (Eds.), *Protocols, flows and glitches: Proceedings of the 22nd CAADRIA conference* (pp. 499-509). CAADRIA.
- Nakagaki, T., Yamada, H., & Tóth, Á. (2000). Maze-solving by an amoeboid organism. *Nature*, 407(6803), 470. <https://doi.org/10.1038/35035159>
- Nakagaki, T., Yamada, H., & Tóth, Á. (2001). Path finding by tube morphogenesis in an amoeboid organism. *Biophysical Chemistry*, 92(1-2), 47-52. [https://doi.org/10.1016/S0301-4622\(01\)00179-X](https://doi.org/10.1016/S0301-4622(01)00179-X)
- Tero, A., Takagi, S., Saigusa, T., Ito, K., Bebbler, D. P., Fricker, M. D., Yumiki, K., Kobayashi, R., & Nakagaki, T. (2010). Rules for biologically inspired adaptive network design. *Science*, 327(5964), 439-442. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1177894>
- Werner, L. C. (2019). Disruptive material intelligence of *Physarum*: Liquid architecture of a biological geometry computer. En A. Adamatzky (Ed.), *Slime mould in arts and architecture* (pp. 227-247). River Publishers. <https://depositonce.tu-berlin.de/items/0549e896-8bd8-4c86-8bff-12671ad84526>

---

**Abstract:** Throughout much of the twentieth century and continuing into the present, the box has functioned as the dominant embodiment of architectural rationality: pure geometry, functional determinism, and mechanically controlled environments. That paradigm, however, is now unraveling. In the context of climate change, energy instability, and accelerating biodiversity loss, a different design framework is emerging –one grounded in the growth logics of living systems. This paper advances a method of morphological critique by subjecting four canonical invariants of the Corbusian paradigm– the grounded box, the box elevated on pilotis, the stratified box, and the dense multi-level box –to an algorithmic colonization process derived from the behavior of the slime mould *Physarum polycephalum*. Rather than producing a performance-driven façade technology, the study generates an atlas of morphological and topological transformations that exposes the spatial operations systematically excluded by modern architectural thought. The modern box is thus redefined as a substrate for configurations that its original premises could not accommodate: variable densities, connective redundancy, and continuous gradients that destabilize the conventional opposition between geometric rationality and systemic adaptability.

**Keywords:** Bioinspiration - Digital morphogenesis - *Physarum polycephalum* - Parametric design - Adaptive architecture - Le Corbusier

**Resumo:** Durante grande parte do século XX e até os dias atuais, a caixa foi sinônimo de racionalidade arquitetônica: geometria pura, função calculada e controle ambiental mecânico. No entanto, esse paradigma encontra-se em processo de decomposição. Diante das mudanças climáticas, da crise energética e da perda de biodiversidade, emerge uma nova matriz projetual inspirada nos processos de crescimento dos organismos vivos. Este trabalho propõe um método de crítica morfológica que submete quatro invariantes do paradigma corbusiano –a caixa apoiada, a caixa elevada sobre pilotis, a caixa estratificada e a caixa densa multinível– a um processo de colonização algorítmica baseado no comportamento do mofo mucilaginoso *Physarum polycephalum*.

O resultado não consiste em uma tecnologia de fachada com desempenho verificado, mas em um atlas de variações morfológicas e topológicas que permite identificar quais operações espaciais eram excluídas pelo paradigma moderno. A caixa moderna converte-se, assim, em substrato para configurações impensáveis a partir de suas premissas originais: densidades variáveis, redundâncias conectivas e gradientes contínuos que redefinem a relação entre racionalidade geométrica e adaptabilidade sistêmica.

**Palavras-chave:** Bioinspiração - Morfogênese digital - *Physarum polycephalum* - Design paramétrico - Arquitetura adaptativa - Le Corbusier

---

**Marcelo Fraille Narváez** Arquitecto (Universidad Nacional de Tucumán, Argentina). Doctor en arquitectura (Universidad de Buenos Aires, UBA). Especialista en diseño digital (UBA), Máster en Conservación y Rehabilitación del Patrimonio Arquitectónico (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina). Ha impartido cursos de grado y posgrado en diferentes instituciones entre las que se destacan la Universidad de Costa Rica, la Universitat Internacional de Catalunya y la Universidad de Oviedo. Fue Director Académico del Máster Universitario de Espacios Inteligentes, Coordinador Académico del Máster Universitario en Diseño y Producción Multimedia (Universidad Internacional de La Rioja, España) y Coordinador del proyecto Biomímesis (MediaLab Prado, Madrid). Becado por la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad de Buenos Aires en diversas oportunidades para desarrollar investigaciones relacionadas con el diseño biodigital y la prefabricación digital. Ha sido funcionario del Ministerio de Cultura del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires desde el 2007 al 2015. Autor de numerosos artículos relacionados con la crítica arquitectónica, la historia de la arquitectura y el diseño biodigital. Director de la revista y del colectivo de diseño TRP21. Actualmente es Coordinador del Grado en Fundamentos de la Arquitectura, de la Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada, de la Universidad Rey Juan Carlos, y miembro del iBAG-UIC Barcelona (Institute for Bio-digital Architecture & Genetics-Universitat Internacional de Catalunya).