



## Diseño Arquitectónico mediante Modelos Topológicos Adaptativos con Aprendizaje Artificial: Interrelaciones generativas de proyecto asistidas por IA durante el proceso de diseño /

### *Architectural Design Using Adaptive Topological Models with Machine Learning: Generative project interrelationships assisted by AI during the design process*

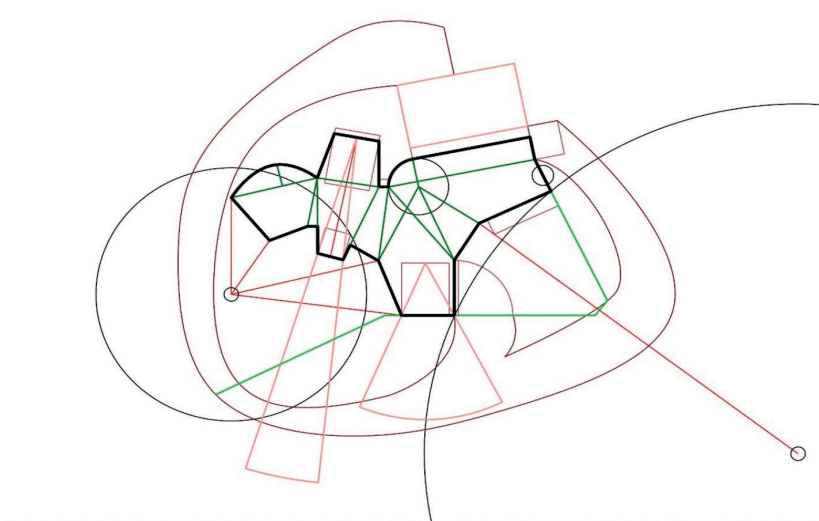
Este artículo propone una arquitectura postcapitalista  
Este artículo propone un marco conceptual y metodológico para el desarrollo de sistemas proyectuales arquitectónicos adaptativos, basados en modelos topológicos informacionales (TIM) integrados con algoritmos de aprendizaje artificial. A diferencia de los modelos convencionales que categorizan el proyecto según elementos constructivos discretos, este enfoque formaliza las relaciones internas y contextuales del proyecto como un sistema relacional. Dicho sistema es capaz de adquirir comportamiento mediante exposición a datos variables del entorno, reaccionar ante cambios contextuales y sugerir transformaciones sin comprometer la integridad relacional del proyecto. El modelo se valida mediante simulaciones de escenarios críticos, revelando su capacidad de mantener la lógica proyectual esencial mientras adapta su configuración morfológica, funcional o estructural.

**Palabras clave:** Modelo Topológico Informacional / Diseño arquitectónico adaptativo / Inteligencia artificial / Diseño generativo / Coordinación multidisciplinar / Sistemas proyectuales relacionales



*This article proposes a conceptual and methodological framework for the development of adaptive architectural design systems based on Topological Informational Models (TIM) integrated with artificial learning algorithms. Unlike conventional models that categorize the project according to discrete constructive elements, this approach formalizes the internal and contextual relationships of the project as a relational system. Such a system is capable of acquiring behavior through exposure to variable environmental data, reacting to contextual changes, and suggesting transformations without compromising the project's relational integrity. The model is validated through simulations of critical scenarios, demonstrating its capacity to maintain the essential design logic while adapting its morphological, functional, or structural configuration.*

**Keywords:** Topological Informational Model / Adaptive Architectural Design / Artificial Intelligence in Architecture / Generative Design / Multidisciplinary Coordination / Relational Design Systems



**Fig 1.** "Gizmo" (Dispositivo gráfico programado) de las relaciones proyectuales esenciales establecidas sobre el proyecto Kolonihaven de E.Miralles (1996).  
Autoría propia.

## 01. Introducción

El diseño arquitectónico asistido por computación ha evolucionado desde la automatización geométrica hacia estructuras más complejas de información enriquecida y vínculos. Sin embargo, los modelos de diseño digital siguen siendo, en su mayoría, estructuras descriptivas orientadas a la producción y gestión documental, más que a la comprensión profunda del proyecto como resultado del despliegue del sistema de pensamiento que lo lleva a ser como es. Frente a ello, se plantea aquí una hipótesis: si un modelo arquitectónico se define como una red topológica de relaciones (en varias dimensiones) —más que como un conjunto de objetos— y si esa red puede ser sometida a aprendizaje artificial, entonces es posible construir un sistema proyectual que no solo represente, sino que también reaccione, aprenda y proponga, conservando la intención y coherencia estructurante que lo generó.

## 02. Marco Teórico

La propuesta se sitúa en la confluencia entre tres campos: (1) el diseño programado paramétrico-topológico, que entiende la arquitectura como red de relaciones interdependientes, (2) la teoría de sistemas complejos adaptativos, donde el comportamiento emerge de las interacciones internas y con el entorno, y (3) el aprendizaje automático, que permite extraer patrones y modificar comportamientos a partir de datos (fig.1)

Desde esta perspectiva, el proyecto arquitectónico se modela como un sistema abierto, cuyo comportamiento no está predefinido, sino que se ajusta a través de retroalimentación, preservando o poniendo en crisis las relaciones que lo constituyen.

Estas relaciones —estructurales, funcionales, espaciales, jerárquicas— son codificadas en un modelo topológico que no responde a objetos fijos, sino a reglas de dependencia y organización que definen el carácter del proyecto.

Autores como Alymani et al. (2023) han demostrado cómo los modelos topológicos tridimensionales pueden ser utilizados para la clasificación en el aprendizaje automático, destacando la importancia de las relaciones espaciales en la interpretación de datos arquitectónicos. Asimismo, Ayeola (2025) propone un marco para analizar y optimizar procesos de aprendizaje en espacios de datos topológicamente estructurados, lo que refuerza la aplicabilidad de enfoques topológicos en el aprendizaje profundo.

Las actuales herramientas generativas de proyecto de arquitectura se basan en diseño paramétrico tanto determinista (formulación programada procedimental o “procedural”) como estocástico (rutinas de final no prefijado, formuladas mediante ciclos o estados, iteraciones o recursiones). El primero, el diseño procedural es el más extendido, expresado extensamente mediante las plataformas de creación de objetos BIM, objetos tridimensionales con cierto comportamiento procedural y con metadatos asociados (enriqueciendo la mera geometría), más pertinente en la gestión y representación del proyecto que en la propia generación. Más avanzadas son las herramientas basadas en diseño generativo paramétrico como los editores de programación visual, capaces de generar procedimientos complejos y automatización de procesos.

En los últimos años, el uso de plataformas BIM se ha consolidado como el estándar operativo para el desarrollo y la gestión de proyectos arquitectónicos, especialmente en contextos donde la colaboración entre múltiples disciplinas es esencial. Sin embargo, esta consolidación ha puesto de manifiesto ciertas limitaciones estructurales del modelo BIM convencional: su dependencia de una categorización tipológica rígida basada en elementos constructivos, su escasa capacidad para representar relaciones proyectuales emergentes, y su orientación hacia la documentación más que hacia la generación de diseño.

Frente a este panorama, el campo del diseño computacional topológico, impulsado por herramientas de programación visual y scripting, ha propuesto modelos alternativos donde la arquitectura se define no por la acumulación de objetos, sino por la relacionalidad contextual entre componentes. Esta aproximación ha demostrado una enorme potencia para representar lógicas proyectuales complejas, adaptativas y abiertas a múltiples variables. No obstante, la transferencia de estas estructuras al entorno BIM sigue siendo limitada, fragmentada y carente de una sistematización metodológica sólida.

La literatura actual en diseño generativo, programación paramétrica y modelado BIM ha comenzado a señalar la necesidad de modelos intermedios que articulen lógicas topológicas y plataformas de coordinación digital, pero aún son escasos los enfoques que propongan estructuras reutilizables, interoperables y con vocación de convertirse en una nueva gramática operativa para el proyecto multidisciplinar.

Por tanto, la motivación central de este proyecto surge de una laguna crítica en el estado del arte: la falta de un modelo teórico y operativo que integre de forma estructurada las capacidades exploratorias del diseño computacional con los flujos de trabajo colaborativos del BIM. El desarrollo de Modelos Topológicos Informativos (TIM) representa una respuesta directa a esta necesidad, al proponer una formalización digital basada en relaciones y comportamientos, más que en objetos y categorías fijas.

Además, esta investigación aborda una dimensión pedagógica relevante: la necesidad de explicitar las lógicas del diseño en entornos digitales no solo como herramienta de producción, sino como herramienta de comprensión, crítica y enseñanza. La posibilidad de construir diagramas digitales proyectuales que operen como soporte didáctico y que al mismo tiempo alimenten los entornos BIM, abre un campo fértil para repensar tanto la práctica profesional como los procesos formativos en arquitectura.

En este panorama contemporáneo del diseño computacional aplicado a la arquitectura, se ha producido una proliferación de herramientas que buscan automatizar o asistir la disposición espacial y programática de los proyectos mediante algoritmos. Estas herramientas, si bien diversas en su enfoque y profundidad, comparten un objetivo común: estructurar digitalmente la organización del espacio arquitectónico a través de diferentes lógicas relacionales.

Entre las metodologías más representativas se encuentran aquellas basadas en relaciones físicas entre elementos, como las exploraciones tempranas del Architecture Machine Group del MIT, centradas en la búsqueda de forma mediante colisiones, fuerzas y uniones espaciales. En un plano más abstracto, sistemas como los que abordan los Space Allocation Problems (SAP), o propuestas como Evolving Floor Plans de Joel Simon, emplean diagramas y algoritmos de adyacencia para definir configuraciones de planta.

Otras herramientas operan mediante subrutinas condicionales que determinan la colocación de elementos en función de reglas de comportamiento, como en Finch 3D, mientras que enfoques más recientes incorporan técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático, como AI + Architecture de Stanislas Chaillou o HouseGAN++ de Nelson Navata, que utilizan datasets arquitectónicos para aprender patrones de adyacencia y organización funcional.

### 03. Metodología

El presente proyecto propone una metodología de investigación basada en el desarrollo y validación de modelos digitales programados que integren estructuras topológicas informacionales dentro de entornos BIM. La metodología combina herramientas de diseño computacional, técnicas de inteligencia artificial y simulaciones aplicadas, con el objetivo de generar una base operativa y comparativa para entender, coordinar y optimizar la práctica proyectual multidisciplinar.

La metodología se basa esencialmente en la creación de lo que en adelante llamaremos TIM (Modelo Topológico Informacional), a modo de grafo dinámico operacional sobre el cual verter los algoritmos de comportamiento del prototipo.

De este modo definimos TIM: Es un Dispositivo Gráfico que representa relaciones programadas entre elementos que opera como soporte de una intención de diseño del proyecto.

La investigación sigue un enfoque teórico-experimental compuesto por cinco etapas:

#### 3.1 Formalización relacional del proyecto

Se modelan arquitectónicamente las relaciones esenciales que definen el proyecto, tales como conexiones espaciales, dependencias estructurales, vínculos programáticos y correspondencias funcionales. Estas relaciones se representan mediante una estructura topológica tridimensional.

#### 3.2 Inicialización proyectual

El modelo establece un conjunto de condiciones iniciales: requerimientos funcionales, restricciones normativas, condiciones contextuales y jerarquías internas. Estas condiciones actúan como anclajes del comportamiento proyectual localizado sobre partes estratégicas del modelo.

#### 3.3 Exposición contextual y entrenamiento

Se expone el modelo a un conjunto de datos variables representativos de su contexto (climático, urbano, social, programático) y se emplean mecanismos de aprendizaje artificial para detectar patrones de transformación, correlaciones entre variables y respuestas funcionales.

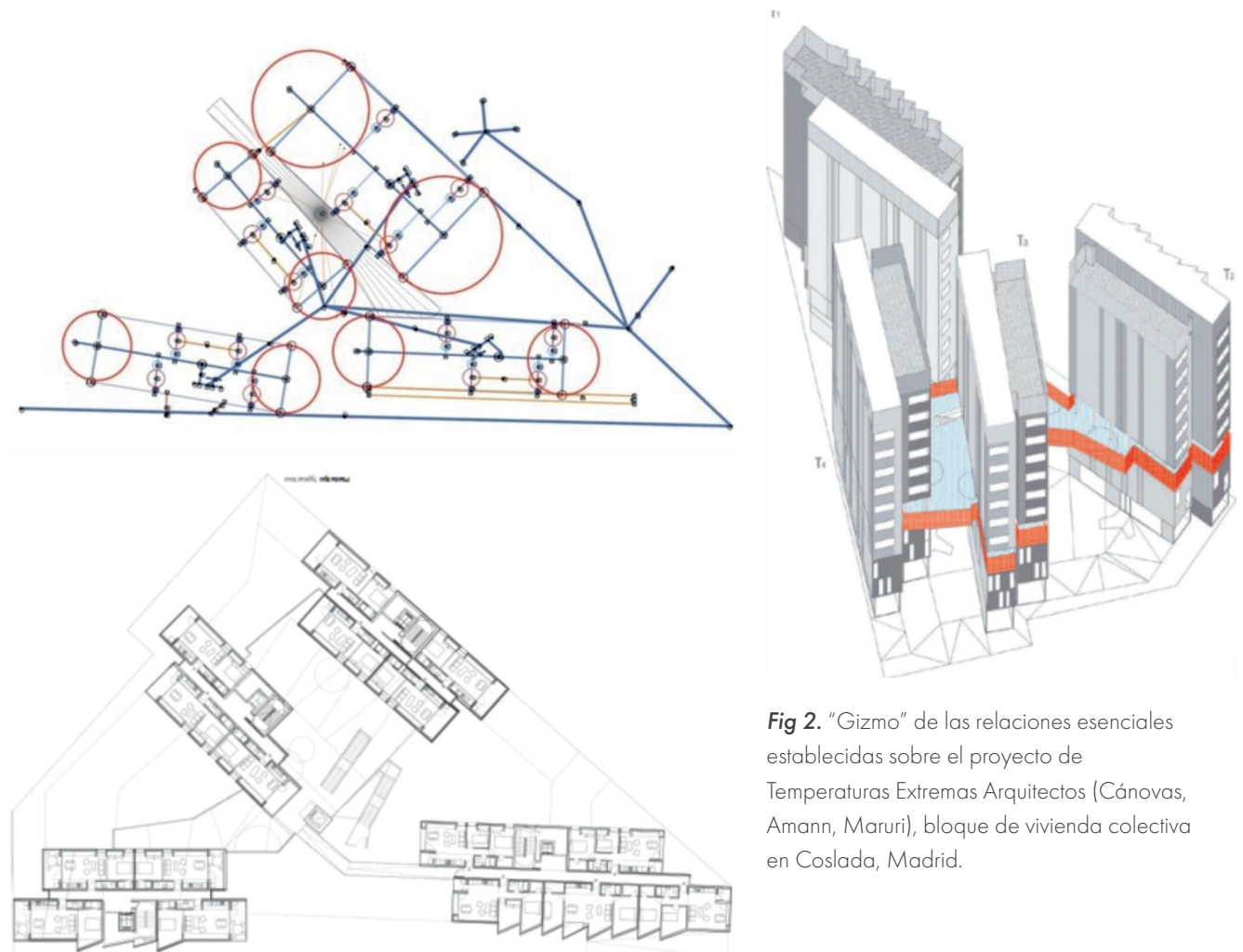
### 3.4 Generación de propuestas adaptativas

El sistema, mediante su comportamiento aprendido, genera sugerencias de transformación del modelo en respuesta a nuevas condiciones, bajo la premisa de conservar su coherencia topológica. Estas transformaciones pueden ser geométricas, estructurales, organizativas o materiales.

### 3.5 Evaluación de consistencia relacional

Cada propuesta generada es evaluada según su capacidad de mantener las relaciones esenciales que definen al proyecto. Solo aquellas configuraciones que no comprometan su integridad relacional original son aceptadas como variaciones del proyecto dentro del sistema.

### 3.6 Caso de Estudio A: Vivienda Colectiva como Modelo Topológico Informacional dinámico (Viviendas en Coslada, Temperaturas Extremas Arquitectos)



**Fig 2.** "Gizmo" de las relaciones esenciales establecidas sobre el proyecto de Temperaturas Extremas Arquitectos (Cánovas, Amann, Maruri), bloque de vivienda colectiva en Coslada, Madrid.

Como validación experimental de la metodología propuesta, se ha elaborado un modelo topológico informacional dinámico (TIM) a partir del proyecto construido de vivienda colectiva en Coslada, obra de Temperaturas Extremas Arquitectos. Este caso ha sido seleccionado por su complejidad morfo-tipológica y por la presencia de interdependencias proyectuales estructurantes, susceptibles de ser representadas relacionamente (Fig.2).

El modelo topológico desarrollado no representa la geometría per se, sino que codifica un conjunto de relaciones fundamentales que estructuran el proyecto, operando como una red de nodos (entidades proyectuales) y aristas (dependencias jerárquicas, espaciales o normativas) que lo definen como sistema arquitectónico.

## **Relaciones modeladas**

El TIM del caso Coslada representa cinco relaciones esenciales:

### **Tipología de vivienda < > Ancho de crujía**

Cada unidad residencial se modela como un nodo cuya tipología está condicionada directamente por el ancho estructural (crujía) disponible. Esta relación incide en la organización funcional en franjas polivalentes (Habraken et al) y en la ventilación natural cruzada de las viviendas.

### **Tipología < > Liberación del espacio comunitario central**

La disposición en planta libera un espacio colectivo entre bloques. Este vacío estructural no es residual, sino que emerge como consecuencia de la combinación de las tipologías residenciales y las condiciones urbanas. Este espacio central pujante es tratado como un nodo relacional que media entre vivienda, suelo urbano y cielo libre, y liberación visual transversal.

### **Espacio comunitario < > Altura máxima de los bloques**

La liberación del plano inferior exige una redistribución de la edificabilidad en altura. Por tanto, la altura de cada torre no es arbitraria ni homogénea, sino que depende de una lógica de compensación espacial.

### **Altura < > Transferencia de edificabilidad entre bloques**

Las torres funcionan como elementos interdependientes donde la edificabilidad puede ser redistribuida. Esta transferencia se modela como una relación vectorial entre nodos de volumen, que mantiene el total normativo, pero permite variabilidad formal, con lo que se vincula con los huecos que permite la disposición masiva del proyecto.

## **Transferencia de edificabilidad < > Capacidad porosa de conexión urbana**

La geometría resultante de esta redistribución se asocia a una mayor o menor porosidad del sistema, entendida como capacidad del conjunto para conectar calles internas con el tejido urbano exterior. Se modela aquí una relación inversa entre compactación volumétrica y conectividad urbana.

## **Variables y pesos en el modelo**

Cada nodo y cada arista se estructura mediante atributos variables y pesos relacionales, tales como:

- En nodos: superficie útil, orientación solar, nivel de ocupación, tipo de uso, condición estructural.
- En aristas: jerarquía (primaria/secundaria), rigidez normativa, grado de flexibilidad proyectual, impacto climático, transferencia de flujo peatonal o visual.

El conjunto forma un sistema sensible a variables externas (densidad poblacional, cambios normativos, clima urbano), capaz de reconfigurarse sin perder las relaciones esenciales previamente descritas.

## **Interpretación**

Este modelo no busca optimizar geométricamente el diseño, sino comprender y representar el conjunto de condiciones interrelacionadas que dan lugar a proyecto con su resultado construido final. A través de su formalización topológica, el proyecto deja de ser interpretado como una suma de piezas, y pasa a entenderse como una red proyectual crítica, donde cada parte deriva sentido del conjunto y de sus vínculos con el contexto y puede aprender mediante aprendizaje automático de sus relaciones con el contexto desde las relaciones esenciales originales de partida.

## **Integración del Aprendizaje por Inteligencia Artificial en el TIM del Proyecto Caso de Estudio**

### **a. Definir qué debe aprender el sistema**

El aprendizaje no es genérico: debe orientarse a patrones relevantes dentro del modelo. En este caso, la IA puede aprender:

- Patrones de ocupación y uso de espacios en función de orientación, crujía y altura.
- Relaciones entre configuraciones topológicas y niveles de porosidad urbana.
- Impacto de la transferencia de edificabilidad sobre el confort térmico o la eficiencia del espacio común.
- Adaptaciones históricas o simuladas ante cambios normativos o climáticos (por ejemplo, ¿qué pasa si cambia el coeficiente de edificabilidad?).

## b. Vincular aprendizaje a los nodos y aristas del TIM

Cada nodo o arista puede asociarse a una función de evaluación y a un conjunto de datos de entrenamiento. Algunos ejemplos:

| Elemento del TIM                            | Variable observada          | Lo que aprende la IA                             |
|---------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|
| Nodos Uso: vivienda                         | Temperatura interior, uso   | Relación entre tipología y confort               |
| Aristas Relación vivienda–<br>espacio común | Flujo peatonal, uso horario | Conectividad real y su valor<br>comunitario      |
| Nodos Densidad                              | Relación altura–volumen     | Cuándo es aceptable transferir<br>edificabilidad |
| Aristas Relación calle interna–<br>externa  | Permeabilidad urbana        | Cómo afecta la masa edificada<br>a la porosidad  |

Estos datos pueden venir de simulaciones, históricos de casos similares o evaluaciones multiobjetivo.

## c. Incorporar un modelo de aprendizaje supervisado o por refuerzo

Dependiendo del tipo de problema, se puede usar:

- Aprendizaje supervisado: para identificar relaciones entre variables (por ejemplo, una red neuronal que aprende cómo influye el ancho de crujía en la ventilación natural).
- Aprendizaje por refuerzo: para generar sugerencias de configuración óptima del conjunto bajo múltiples objetivos (espacio, porosidad, cumplimiento normativo, confort térmico), preservando las relaciones clave del TIM.

## d. Generar comportamiento adaptativo

Con IA integrada, el TIM no solo representa, sino que simula y propone. Por ejemplo:

- Ante una subida estudiada de temperaturas, el sistema propone redistribuir la edificabilidad, abriendo más el espacio central o reorganizando alturas.
- Si se cambia el uso de ciertas plantas bajas, el sistema evalúa el impacto en la conectividad peatonal y sugiere una nueva articulación de las torres.

Estos comportamientos no son aleatorios: derivan del aprendizaje de patrones previos, manteniendo las relaciones estructurantes del proyecto como condiciones inviolables, por mantener un anclaje referencial para el modelo de IA.

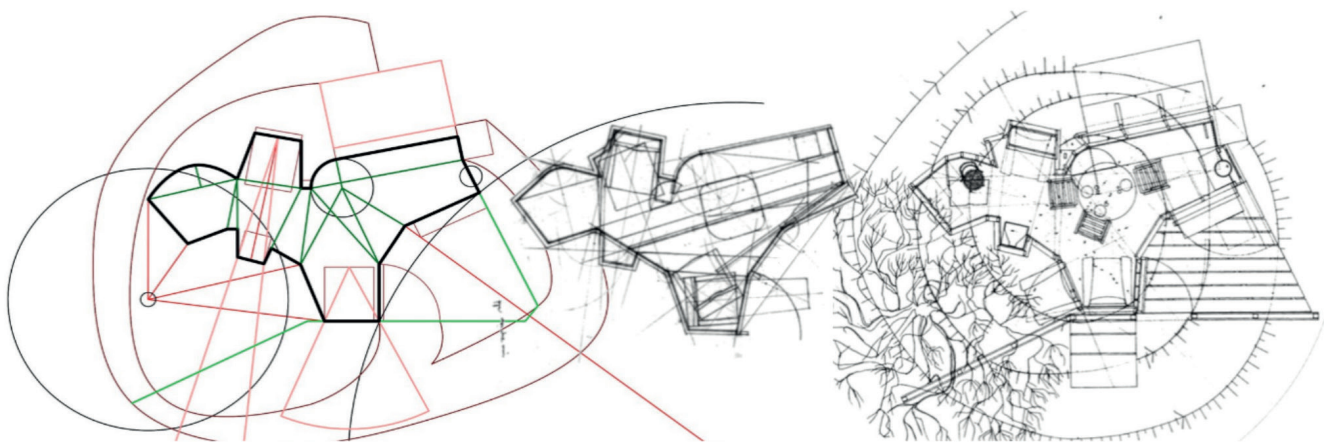
#### e. Resultados posibles parciales

- Sugerencias de rediseño estructurado, que mantienen el código generativo esencial del proyecto.
- Detección de tensiones proyectuales emergentes al cambiar variables contextuales.
- Propuestas múltiples evaluadas comparativamente en términos de rendimiento ambiental, social y morfológico.

### 3.7 Caso de estudio B: Kolonihaven como Modelo Topológico Informacional Dinámico (Pabellón Enric Miralles, Copenhague)

Como validación experimental de la metodología propuesta, se ha elaborado también un modelo topológico informacional dinámico (TIM) a partir del proyecto Kolonihaven, diseñado por Enric Miralles y Benedetta Tagliabue. Este caso ha sido seleccionado por su valor conceptual y proyectual en torno a las nociones de escala, infancia, tiempo y naturaleza, que se expresan mediante estructuras espaciales y relacionales complejas susceptibles de ser modeladas informacionalmente. (fig.3)

El modelo topológico desarrollado no representa la geometría per se, sino que codifica un conjunto de relaciones fundamentales que estructuran el proyecto, operando como una red de nodos (entidades proyectuales) y aristas (dependencias jerárquicas, simbólicas o funcionales) que lo definen como sistema arquitectónico en permanente transición.



**Fig 3.** Proceso de elaboración del Dispositivo gráfico programado de las relaciones proyectuales esenciales establecidas sobre el proyecto Kolonihaven de E. Miralles (1996). Autoría propia.

## Relaciones modeladas

El TIM del caso Kolonihaven representa cinco relaciones esenciales:

### **Movimiento infantil <> Configuración espacial de la planta**

El recorrido libre y aleatorio de la hija de Miralles, trazado al jugar con una silla, da origen a la planta del pabellón. Esta relación transforma la actividad corporal en generatriz de la forma arquitectónica.

### **Altura interior <> Secuencia vital**

Los tres volúmenes del pabellón se escalonan en altura, representando una transición de la niñez a la adultez. Esta secuencia se traduce en una relación topológica donde el espacio es simultáneamente físico y simbólico.

### **Puertas diferenciadas <> Autonomía relacional**

El acceso separado para padres e hija establece una lógica de relaciones proyectuales diferenciadas, generando trayectorias paralelas que se cruzan dentro del sistema de uso.

### **Estructura <> Árbol central <> Espacio intermedio**

La integración del árbol existente en el diseño crea un espacio interior/exterior que modula sombra, escala y límites. El pabellón se modela como una estructura porosa, reflejo y resonancia de la copa del árbol.

### **Tiempo <> Materialidad <> Entorno**

El uso de madera en listones flexibles y la incorporación de crecimiento vegetal vinculan el paso del tiempo, la modificación material y la evolución del entorno como relaciones esenciales del proyecto.

## Variables y pesos en el modelo

Cada nodo y cada arista se estructura mediante atributos variables y pesos relacionales, lo que facilita al modelo de IA a reestructurar los espacios latentes y la toma de decisiones/sugerencias, tales como:

- **En nodos:** escala relativa, función simbólica, momento vital representado, conexión con el entorno, tipo de percepción sensorial (visual, táctil, térmica).
- **En aristas:** grado de permeabilidad, direccionalidad simbólica, intensidad afectiva, relación con el tiempo, capacidad de transformación.

El conjunto forma un sistema sensible a variables contextuales como edad del usuario, estacionalidad, condiciones lumínicas y cambios de uso, capaz de reconfigurarse en simulación sin perder sus relaciones esenciales.

## Interpretación

Este modelo no busca reproducir el pabellón como forma construida, sino formalizar las relaciones que le dan sentido, y cómo estas relaciones responden a variables de uso, crecimiento, pertenencia y afectividad. El proyecto deja de ser una "casita" para convertirse en un sistema de relaciones vitales, un diagrama topológico de la vida familiar y del tiempo compartido.

A través de su formalización, el TIM permite no solo documentar estas relaciones, sino también activarlas como base generativa para futuras variantes, manteniendo la lógica del ciclo vital, la interacción familiar y la integración con lo natural.

## Integración del Aprendizaje por Inteligencia Artificial en el TIM del Proyecto Kolonihaven

### a. Definir qué debe aprender el sistema

La IA puede aprender de este proyecto:

- Patrones de interacción infantil en relación con escala y geometría.
- Transformaciones simbólicas vinculadas a la altura, orientación y percepción sensorial.
- Impacto de elementos naturales (árbol) en la estructuración del espacio.
- Secuencia de uso diario y ciclo de vida como transformadores del espacio.

### b. Vincular aprendizaje a los nodos y aristas del TIM

| Elemento del TIM                 | Variable observada                    | Lo que aprende la IA                                             |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Nodos (volúmenes escalonados)    | Edad del usuario, percepción espacial | Cómo varía el uso del espacio según etapa vital                  |
| Aristas (puertas < > recorridos) | Trayectorias de entrada/salida        | Relación entre autonomía del usuario y secuencia espacial        |
| Nodo árbol                       | Estacionalidad, sombra                | Influencia del entorno vegetal en el uso del espacio intermedio  |
| Arista estructura < > entorno    | Luz, clima, degradación material      | Cómo la materialidad responde al paso del tiempo y la intemperie |

#### **c. Incorporar un modelo de aprendizaje supervisado o por refuerzo**

- Aprendizaje supervisado: permite relacionar variables como edad del usuario con elección de trayectos o zonas preferidas.
- Aprendizaje por refuerzo: puede explorar alternativas de organización espacial que mantengan el esquema original, pero se adapten a nuevas necesidades (por ejemplo, crecimiento de la familia o cambio de estación).

#### **d. Generar comportamiento adaptativo**

- Reconfiguración de accesos si se detecta cambio de movilidad en los usuarios.
- Ajuste de relaciones entre espacios si se modifica el uso del entorno natural.
- Sugerencia de ampliaciones o retracciones del volumen para mantener la secuencia simbólica de crecimiento vital.

#### **e. Resultados posibles parciales**

- Modelos de ocupación adaptativos basados en ciclo vital familiar.
- Rediseño del pabellón con la misma lógica relacional en otros contextos climáticos.
- Evaluación simbólica-computacional de la secuencia proyectual como diagrama afectivo.

### **04. Resultados Globales**

Los modelos desarrollados en esta investigación fueron sometidos a simulaciones de escenarios críticos, como cambios abruptos de densidad programática, condiciones climáticas extremas, o nuevas restricciones normativas. Los resultados muestran:

- Capacidad del sistema de identificar automáticamente qué relaciones deben preservarse y cuáles pueden ser modificadas.
- Generación de propuestas proyectuales alternativas, manteniendo el carácter del proyecto, pero adaptando su configuración a nuevas condiciones.
- Flexibilidad adaptativa sin pérdida de identidad proyectual: el modelo es capaz de cambiar sin dejar de ser el mismo.
- Emergencia de comportamientos no pre-programados, derivados de la interacción entre relaciones internas y datos contextuales.

## 05. Discusión

Este enfoque introduce una nueva lógica proyectual en la era digital: el proyecto como sistema capaz de aprender, no solo como resultado de decisiones externas, sino como un agente que se transforma preservando su estructura. Se supera así la dicotomía entre representación y optimización, proponiendo un tercer espacio: el del comportamiento proyectual aprendido.

El valor de este sistema reside en su capacidad de equilibrar dos polos hasta ahora enfrentados: la estabilidad estructurante del proyecto (su lógica interna, su identidad) y su capacidad de transformación adaptativa frente a variables emergentes.

Exploramos un diseño arquitectónico en el que podríamos elaborar TIM contextual para poder aprender de sus relaciones topológicas como Estrategia Proyectual y cómo variaría (IA sugiriendo variaciones) si efectuamos un cambio topológico:

**Estructura de relaciones generativa inicial:** En la Casa da Música de Rem Koolhaas, podríamos establecer la siguiente coreografía de relaciones: (1) El auditorio central, con geometría poliédrica y volumen autónomo, se sitúa como núcleo estructural y programático suspendido dentro del edificio; (1–2) esta pieza genera la deformación intencional de la envolvente de hormigón blanco, cuyas caras inclinadas y cortes oblicuos permiten (2) aperturas visuales y conexiones diagonales con el tejido urbano circundante, estableciendo un diálogo activo entre interior y ciudad; (2–3) dicha envolvente se pliega hacia el nivel del suelo mediante rampas continuas que extienden la plaza exterior dentro del edificio, configurando (3) un sistema de circulación pública que atraviesa transversalmente el volumen e introduce espacio urbano como parte del programa arquitectónico; (3–4) a lo largo de estas secuencias, el tratamiento material —mármol en zonas institucionales, corcho en salas de ensayo, madera en zonas intermedias— articula (4) una narrativa espacial diferenciada que refuerza la identidad funcional de cada recinto a partir de la lógica de su relación con el recorrido generado por el edificio.

**Variación por IA aprendiendo de las relaciones:** El TIM, conducido por IA, elabora una variación proyectual del modelo de la Casa da Música, modificando por ejemplo la primera variable geométrica (1) —el volumen del auditorio— y proyectando sus consecuencias encadenadas en los conceptos 2, 3 y 4, de forma coherente y cuantificada:

(1) Si el auditorio central se transforma en un volumen anular abierto —una especie de anillo acústico elíptico (dimensiones: eje mayor 45 m, eje menor 25 m, altura 14–16 m) con un vacío central utilizable y accesible—, el núcleo del edificio deja de ser un bloque denso y se convierte en un dispositivo espacial permeable que convoca usos múltiples en su interior (performance circular, espacio expositivo, foro público);

(1–2) esta nueva disposición topológica genera una envolvente no ya de contención, sino de doble circulación envolvente y radial: las fachadas se abren en 360° con cortes controlados (aperturas horizontales de hasta 20 m, altura 4 m) y se pliegan suavemente siguiendo la geometría curva del auditorio (ángulos de incidencia controlados entre 15°–30°), lo que incrementa la conectividad visual y urbana desde múltiples puntos de la ciudad;

(2–3) el acceso público se redefine: una red de plataformas circulares y rampas helicoidales (pendientes del 4% al 8%, recorridos superpuestos en niveles) actúan como sistema de transición entre espacio urbano y recinto cultural, permitiendo una experiencia de ascenso panorámico continuo, con múltiples grados de exposición o privacidad;

(3–4) esta progresión espacial se complementa con un tratamiento material secuencial enriquecido: concreto pigmentado en zonas exteriores (alto contraste solar), madera laminada en transiciones intermedias (coeficiente acústico medio), y un mosaico de materiales absorbentes (textiles acústicos, corcho microperforado, paneles de vidrio tratados con serigrafía artística) que expresan la variabilidad programática y la adaptabilidad funcional del edificio, mientras construyen una experiencia narrativa coherente desde el acceso urbano hasta el evento central.

## 05. Conclusiones

Este trabajo plantea la posibilidad de proyectar arquitectónicamente no solo formas, sino relaciones capaces de aprender (A), y de reconfigurarse como relaciones (B), y de aprender del establecimiento de relaciones (C) tras un análisis contextual de situaciones similares pertinentes. Al integrar modelos topológicos informacionales con aprendizaje artificial, se construyen sistemas capaces de evaluar su propio comportamiento y modificarlo sin perder su esencia. Esta línea de investigación abre un nuevo paradigma de diseño computacional: uno en el que los modelos no solo describen, sino que actúan, piensan y evolucionan junto con su contexto.

**(A) "Relaciones capaces de aprender"** Se emplean modelos de aprendizaje supervisado mediante redes neuronales artificiales (ANN) o modelos de árbol de decisión (Decision Trees) entrenados sobre datasets arquitectónicos que codifiquen relaciones espaciales, funcionales o jerárquicas. Para habilitar relaciones que aprenden, se utilizan modelos de aprendizaje supervisado que extraen correlaciones entre variables proyectuales (tipología, escala, orientación) y sus efectos en configuraciones espaciales precedentes, permitiendo predecir nuevas relaciones a partir de datos conocidos

**(B) "Relaciones que se reconfiguran como relaciones"** Aquí se aplica aprendizaje por refuerzo (Reinforcement Learning), donde las relaciones se consideran agentes que modifican su estado en respuesta a condiciones contextuales (como temperatura, densidad, uso), dentro de un entorno simulado que proporciona retroalimentación. Para permitir que las relaciones se reconfiguren dinámicamente, se implementan algoritmos de aprendizaje por refuerzo que maximizan una función de recompensa basada en coherencia topológica, eficiencia funcional y adaptabilidad contextual, evaluando múltiples iteraciones de red de dependencias relacionales

**(C) "Aprender del establecimiento de relaciones tras un análisis contextual de situaciones similares pertinentes"** Este proceso requiere aprendizaje basado en casos (Case-Based Reasoning) y técnicas de machine learning no supervisado, como clustering con K-means o DBSCAN, para identificar patrones comunes en proyectos análogos y extraer relaciones tipológicas o estructurales aplicables al nuevo contexto. El aprendizaje contextual se implementa mediante algoritmos no supervisados que agrupan proyectos históricos por similitud relacional, y mediante razonamiento basado en casos que transfiere configuraciones exitosas identificadas en situaciones arquitectónicas análogas, generando recomendaciones adaptadas al nuevo entorno

Además, se subraya la importancia de interpretar el proyecto de arquitectura como una cascada de relaciones jerárquicas, donde cada decisión —ya sea espacial, funcional, estructural o material— activa y transforma el sistema. Estas jerarquías no son fijas, sino sujetas a revisión constante en el transcurso de la ideación, iteración y ejecución del proyecto (reestructuración dinámica del espacio latente).

La reestructuración dinámica del espacio latente en un Modelo Topológico Informativo (TIM) se implementa mediante una arquitectura híbrida de aprendizaje automático basada en Graph Neural Networks (GNNs) con capas de attention-based message passing sobre un grafo dirigido dinámico, donde cada nodo codifica embeddings multidimensionales entrenados a partir de datos paramétricos y cada arista representa tensores de dependencia relacional; al introducir una perturbación en una variable (estado nodo/arista), el modelo activa una fase de inferencia latente mediante backpropagation estructurada, propagando señales a través del grafo con función de activación no lineal (ReLU/ELU), seguida por una fase de optimización a través de reinforcement learning contextualizado con políticas adaptativas (p. ej., Proximal Policy Optimization), que evalúa configuraciones resultantes en un espacio proyectual multiobjetivo definido por constraints semánticos, físicos y funcionales, generando como output un nuevo embedding global del grafo que mantiene invariantes estructurantes mientras reconfigura los pesos y conexiones relacionales del sistema topológico.

El enfoque topológico-informacional, potenciado por inteligencia artificial, permite precisamente rastrear, poner en tensión y recomponer estas relaciones, promoviendo una arquitectura entendida no como objeto estático, sino como proceso en evolución y constante reinformación.

Pensar el proyecto como proceso —y no como producto final cerrado— implica asumir una postura más abierta, experimental y crítica. Supone aceptar que las condiciones iniciales pueden mutar, que las relaciones internas pueden reorganizarse, y que el resultado es, en última instancia, una forma de conocimiento en acción, reactiva y contextual.

Por resumir, esta investigación desarrolla un marco proyectual basado en Modelos Topológicos Informacionales (TIM), entendidos como estructuras relacionales que codifican el comportamiento del proyecto arquitectónico no desde sus componentes o sistemas constructivos por separado, sino desde las relaciones que articulan la lógica interna del proyecto, su posición en el contexto y su capacidad de transformación.

El proyecto arquitectónico deja de ser interpretado como un objeto representado (modelo BIM) o como una geometría parametrizada (diseño generativo), para convertirse en un sistema abierto de relaciones jerárquicas, capaz de modificarse, adaptarse y evolucionar sin perder su coherencia estructurante.

En este marco, la inteligencia artificial se incorpora no como una herramienta de automatización, sino como un agente de aprendizaje contextual, capaz de observar variaciones externas (clima, normativas, densidad, uso) y proponer reconfiguraciones que respetan las relaciones críticas del modelo. Es decir, no cambia el proyecto: lo reinterpreta desde sus propias reglas internas.

Este enfoque plantea, por tanto, una nueva forma de entender el proyecto de arquitectura: no como una forma que se ajusta al contexto, sino como una red de relaciones que se transforma desde sí misma cuando el contexto cambia. Es ideación de arquitectura que aprende, guiada y guiando.

## Figuras

**Fig 1.** “Gizmo” (Dispositivo gráfico programado) de las relaciones proyectuales esenciales establecidas sobre el proyecto Kolonihaven de E.Miralles (1996). Autoría propia.

**Fig 2.** “Gizmo” de las relaciones esenciales establecidas sobre el proyecto de Temperaturas Extremas Arquitectos (Cánovas, Amann, Maruri), bloque de vivienda colectiva en Coslada, Madrid.

**Fig 3.** Proceso de elaboración del Dispositivo gráfico programado) de las relaciones proyectuales esenciales establecidas sobre el proyecto Kolonihaven de E.Miralles (1996). Autoría propia.

## Bibliografía

- ALYMANI, A., JABI, W. y CORCORAN, P., 2023. Graph machine-learning classification using architectural 3D topological models. *Simulation*, 99(1), pp. 3–19. DOI: 10.1177/00375497221105894.
- AYEOLA, F., 2025. The convergence of AI and ML: A topological approach to high-dimensional learning dynamics. ResearchGate [en línea]. [Consultado el 9 de junio de 2025]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/391658018\\_The\\_Convergence\\_of\\_AI\\_and\\_ML\\_A\\_Topological\\_Approach\\_to\\_High-Dimensional\\_Learning\\_Dynamics](https://www.researchgate.net/publication/391658018_The_Convergence_of_AI_and_ML_A_Topological_Approach_to_High-Dimensional_Learning_Dynamics).
- HALLE, A., CAMPANILE, L. F. y HASSE, A., 2021. An artificial intelligence–assisted design method for topology optimization without pre-optimized training data. *Applied Sciences*, 11(19), art. no. 9041. DOI: 10.3390/app11199041.
- SHIRDEL, B., 2001. The topological tendency in architecture. En: DI CRISTINA, G., ed. *Architecture and Science. Architectural Design*, pp. 78–85.
- WEINBERGER, S. A., 2005. *The topological classification of stratified spaces*. Chicago: University of Chicago Press.