

El impacto ambiental en el aprendizaje del proyecto de arquitectura

Environmental impact in the learning of the architectural design

JAUME VALOR MONTERO

Jaume Valor Montero, "El impacto ambiental en el aprendizaje del proyecto de arquitectura", *ZARCH* 24 (junio 2025): 32-45. ISSN versión impresa: 2341-0531 / ISSN versión digital: 2387-0346. Doi https://doi.org/10.26754/ojs_zarch/zarch.20252411143

Recibido: 19-10-2024 / **Aceptado:** 13-03-2025

Resumen

El futuro inmediato se caracterizará por la doble crisis ambiental que ya se está dejando sentir en el presente: el cambio climático y el agotamiento de recursos naturales, con sus derivadas en la salud de la población.

Las escuelas de arquitectura españolas no parecen haber incorporado esas dos variables a sus planes de estudios, o no lo han hecho de forma sistemática en el núcleo de su formación: el proyecto en tanto que ocasión de síntesis de los conocimientos y habilidades obtenidos en asignaturas especializadas.

Hoy en día, todo parece indicar que las decisiones orientadas a garantizar el bienestar de la población en ese contexto de emergencia ambiental serán apresuradas e improvisadas. Una consecuencia de esta posibilidad sería que la resiliencia de edificios e infraestructuras se impondría a la componente cultural de la arquitectura. Es necesario, pues, plantear estrategias de diseño integrado de edificios y espacios públicos que puedan ser una alternativa viable a las medidas urgentes y fragmentarias.

El presente artículo analiza un método sencillo de introducir esos aspectos en el aprendizaje del proyecto de arquitectura y su puesta en práctica, analizando el efecto de las aproximaciones cuantitativas simples del impacto ambiental en las decisiones de diseño.

Palabras clave: proyecto de arquitectura; docencia; aprendizaje; impacto ambiental; sostenibilidad

Abstract

The immediate future will be characterized by the double environmental crisis that is already being felt in the present: the climate change and the depletion of natural resources, with their consequences in the population's health.

Schools of architecture in Spain do not seem to have incorporated these two variables into their curricula or have not done so systematically in the core of their training: the architectural design as opportunity to synthesize the knowledge and skills obtained in specialized subjects.

Today, everything seems to indicate that decisions aimed at guaranteeing the well-being of the population in this context of environmental emergency will be hasty and improvised. A consequence of this possibility would be that the resilience of buildings and infrastructures would prevail over the cultural component of architecture. It is therefore necessary to propose strategies for the integrated design of buildings and public spaces that can be a viable alternative to urgent and fragmented measures.

This article analyses a simple method of introducing these aspects into architectural project learning and its implementation, analysing the effect of simple quantitative approaches to environmental impact on design decisions.

Keywords: architectural design; teaching; learning; environmental impact; sustainability

Jaume Valor. Dr. Arquitecto, profesor agregado Serra-Húnter en el Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la ETSABarcelona-UPC y miembro del grupo de investigación ARIENS. Autor de artículos indexados en RIBA o Avery y de una treintena de proyectos de obra pública, publicados o premiados. ORCID 0000-0003-4540-4677

Urgencia de los retos ambientales

El cambio climático, el agotamiento de recursos materiales o los efectos sobre la salud de las personas provocados por la actividad humana han dejado de ser una posibilidad futura para convertirse en una realidad presente. Respecto al cambio climático, en pocos años se ha pasado de pretender *evitarlo* a intentar *revertirlo* y, finalmente, a *mitigar* sus causas y *adaptarse* a sus efectos. Al mismo tiempo crece el convencimiento de que es imposible mantener los niveles de consumo del mundo industrializado en un escenario que sigue pautas exponenciales de crecimiento de población, disminución de recursos e incremento de contaminación.

La edificación incide de forma significativa en este contexto, pues es responsable a lo largo de su ciclo de vida –desde la extracción de materias primas hasta su deconstrucción, pasando por su fase de uso– aproximadamente del 40% consumo de energía, del 35% de emisiones de CO₂, del 50% del consumo de materiales y del 30% del de agua, al tiempo que producen el 35% de residuos. Así, el diseño arquitectónico puede reducir de forma significativa el impacto sobre el medio ambiente, al tiempo que proporciona condiciones de habitabilidad resilientes a los efectos del cambio climático.

Esta toma de conciencia comporta la reforma de la legislación en todos sus niveles, desde la ONU (*Objetivos de Desarrollo Sostenible* para 2030), hasta los ayuntamientos (*Pacto de las alcaldías*), centrándose en la reducción del consumo energético, la contaminación y los residuos. Del mismo modo, se ha incorporado la sostenibilidad a los conocimientos y habilidades de los arquitectos (la directiva europea sobre cualificaciones profesionales 2005/36/EC ya hacía referencia a la protección a los factores climáticos¹), aunque su trasposición a los planes de estudios sigue siendo muy genérica².

Pese a las reformas legislativas, todo parece indicar que las decisiones orientadas a garantizar el bienestar de la población en ese contexto de emergencia ambiental serán apresuradas e improvisadas, incluso contraproducentes. Por ejemplo, la pretensión de mantener el estilo de vida que ha conducido a la presente situación con la simple sustitución de las fuentes energéticas conduce paradójicamente a la sobreexplotación de recursos y el aumento de consumo energético, o a guerras que bloquean las iniciativas que deberían enfocarse a una transición sistémica planificada. Así, es previsible que la urgencia de la adaptación de edificios e infraestructuras margine la componente cultural de la arquitectura y el espacio público.

Es necesario, pues, plantear estrategias de diseño integrado como alternativa viable a las habituales medidas fragmentarias, y es necesario hacerlo con antelación para evitar que la urgencia imponga estas últimas.

En el consiguiente proceso de producción de conocimiento y formación, la universidad debería tener un papel destacado. Sin embargo, las escuelas de arquitectura españolas no parecen haber incorporado a sus planes de estudios la doble crisis ambiental –climática, y de agotamiento de recursos–, o no lo han hecho de forma sistemática en el núcleo de su formación, es decir, el proyecto. Pues en el proyecto se produce la síntesis de los conocimientos y habilidades obtenidos en asignaturas especializadas³, a menudo desde un enfoque más teórico que práctico, y al proyecto deben aplicarse las reflexiones sobre la docencia de los aspectos ambientales generadas en todas las áreas de conocimiento⁴. Esta ambición choca, sin embargo, con la progresiva reducción de horas de taller en los planes de estudios, que sitúan las escuelas de arquitectura españolas a la cola de las europeas, con la consiguiente dificultad para incorporar más contenido al impartido tradicionalmente⁵.

Y hay que insistir en el aspecto *sistemático* de esta docencia, porque en una u otra medida, el aprendizaje de la arquitectura siempre ha integrado los condicionantes y requerimientos ambientales como material de partida del proyecto, y ha basado

1 Nieves Mestre y Eduardo Roig, "Sostenibilidad y otras demandas contra-intuitivas de la pedagogía de la creatividad" (*JIDA '15. III Jornadas de Innovación Docente en Arquitectura*, 2015).

2 Diez años después de la directiva citada, solo una de las siete competencias transversales del plan de estudios vigente en la ETSAB incorpora la sostenibilidad: "Conocer y comprender la complejidad de los fenómenos económicos y sociales típicos de la sociedad del bienestar, capacidad para relacionar el bienestar con la globalización y la sostenibilidad; habilidad para utilizar de forma equilibrada y compatible la técnica, la tecnología, la economía y la sostenibilidad".

3 Rafael Serra y Elena Coch, *Arquitectura y energía natural* (Edicions UPC, 1995). En esta asignatura, muy orientada al diseño arquitectónico, se difunden también textos fundamentales como *Design with Climate* de Victor Olgay (Princeton University Press, 1963).

4 Albert Cuchí, *Arquitectura i sostenibilitat*. (Edicions UPC, 2005). <https://doi.org/10.5821/ebook-9788498800067>

5 Mestre y Roig, *Sostenibilidad y otras demandas contra-intuitivas*, 178

Interferencias:
nuevos escenarios para
el proyecto de arquitectura

Interferences:
New Scenarios for
the Architectural Project

JAUME VALOR MONTERO

El impacto ambiental en el aprendizaje
del proyecto de arquitectura.

Environmental impact in the learning
of the architectural design

6 Brian Edwards y Paul Hyatt, *Rough Guide to Sustainability* (RIBA, 2001); Françoise-Hélène Jourda, *Petit manuel de la conception durable* (Archibook + Sautereau, 2009); Jaume Valor, *Arquitectura e impacto ambiental. El proyecto como método* (Recolectores urbanos, 2023).

7 Mili Kyropoulou, "Bridging the Gap: Sustainable Thinking in Architectural Education" (*ACSA 112th Annual Meeting: Disrupters on the Edge*, 2024), 522

8 Mestre y Roig, *Sostenibilidad y otras demandas contra-intuitivas*, 179

9 Jean Ockman, ed., *Architecture School. Three Centuries of Educating Architects in North America* (The MIT Press, 2012), 306-12; Beatriz Colomina y otros, eds., *Radical Pedagogies* (The MIT Press, 2022), 334-50.

10 En la inmediata proximidad de la ETSAB, la escuela de arquitectura ESARQ-UIC de Barcelona incorpora desde su fundación en 1996 un área de conocimiento de Sostenibilidad que, al tratarse de un centro de departamento único, influía transversalmente a las demás asignaturas. También la ETSAB –la segunda escuela de arquitectura de la UPC, cuyos profesores de proyectos pertenecen también al DPA– incorpora la sostenibilidad a sus talleres de proyectos interdisciplinarios, y en ese marco elaboró la propuesta ganadora del *Solar Decathlon Europe 2014*, consistente en la edificación de un pabellón bioclimático desmontable.

11 Eduardo Prieto, *Historia medioambiental de la arquitectura* (Cátedra, 2019); Holger Koch-Nielsen, *Stay Cool. A design guide for the built environment in hot climates* (James&James, 2002); Luis Velasco, *El movimiento del aire condicionante del diseño arquitectónico* (Ministerio de Fomento, 2011).

su resultado en las condiciones de habitabilidad, tanto físicas como psicológicas, desde una cierta economía de medios. Por supuesto, existen manuales de diseño arquitectónico que incorporan estos aspectos desde la perspectiva del proyecto⁶, pero es poco habitual que su docencia incorpore algún tipo de evaluación del impacto ambiental de las decisiones de diseño. Se perpetúa así la falsa dicotomía entre técnica y proyecto⁷, ignorando la componente creativa de la primera y holística del segundo.

Sin embargo, escuelas de arquitectura como Gloucester, Lovaine-la-Neuve o Nottingham integraron hace décadas los aspectos ambientales en su currículum ordinario⁸, y existen estudios sobre los aspectos ambientales en la evolución de la docencia de la arquitectura, aunque suelen tratarse como un enfoque autónomo, y no de manera integrada en el taller de proyectos o *studio*⁹. Pero la brevedad del presente escrito aconseja restringir su marco geográfico y temporal a la experiencia más cercana al autor: las asignaturas del Departamento de proyectos arquitectónicos (DPA) de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona (ETSAB)¹⁰.

Así, en las páginas que siguen se describe el método de evaluación del impacto ambiental del proyecto que ha sido puesto a prueba en la línea *Arquitectura y emergencia ambiental* del máster habilitante MARqETSAB, iniciada en 2019. Se trata de la primera asignatura del DPA-ETSAB en incorporar este tipo de metodología, y sus resultados se ilustran con algunos trabajos de sus estudiantes.

El proyecto como método

La arquitectura busca el confort físico y psicológico de sus usuarios modificando las condiciones ambientales del entorno, como una *tercera piel* o *interfaz* entre el hábitat artificial humano y el medio natural en el que se inserta. Para ello, los arquitectos orientan los medios de producción con instrumentos técnicos e intención significativa.

El proyecto es la síntesis de los aspectos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales de esa transformación, y funciona como un modelo de la realidad física en el que poner a prueba otra realidad imaginada. Así pues, presenta una triple naturaleza (Figura 1), que debería reflejarse también en la docencia, objeto del presente escrito:

- *Instrumento* de análisis a través del cual se comprenden los condicionantes de partida, tanto ambientales (externos al proyecto) como de uso (internos a este).
- *Modelo* interactivo donde poner a prueba las características y percepciones de espacios que todavía no existen.
- *Instrucción* de los procesos necesarios para realizar las transformaciones en el entorno previamente puestas a prueba en el modelo.

El producto del proyecto es la forma arquitectónica, entendida como síntesis de aspectos ligados al lugar, la técnica y el uso, incluyendo el contexto sociocultural. En lo referente a la docencia y el aprendizaje, su proceso de elaboración incorpora de forma natural los condicionantes ambientales externos y los requerimientos ambientales internos, los objetivos a alcanzar y las estrategias para lograrlo, las soluciones a emplear y su valoración tanto económica como ambiental.

Para ello, el pensamiento arquitectónico ha ido incorporando sistemas de análisis y comprensión de la realidad física provenientes de otras disciplinas (termodinámica, teoría de sistemas, huella ecológica, etc.), que a lo largo del tiempo han modificado los mecanismos de obtención de la forma arquitectónica¹¹.

En concreto, las principales implicaciones ambientales de las distintas fases del proyecto, que pueden trasladarse directamente a su docencia, son:

Figura 1. La forma arquitectónica como función del lugar, el uso y la técnica.

Proyecto

Análisis

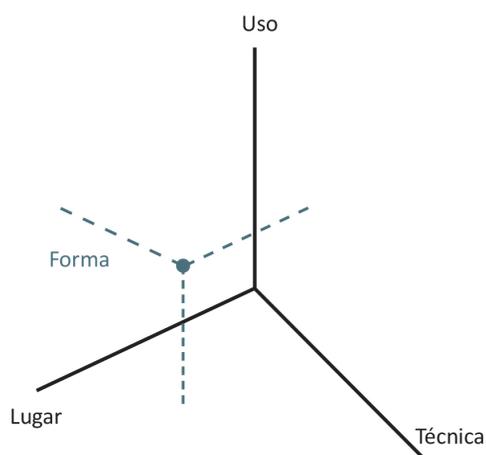
Condicionantes externos
Requerimientos internos

Modelo

Objetivos
Estrategias

Instrucción

Soluciones
Comunicación



- Incorporar los condicionantes externos (clima, preexistencias, etc.) e internos (uso, confort, etc.) desde el análisis preliminar del emplazamiento hasta la construcción, la fase de uso y mantenimiento y la deconstrucción del edificio.
- Formular los objetivos ambientales del proyecto, las estrategias y las soluciones concretas para alcanzarlos, y asegurar su seguimiento a lo largo de todas las fases de trabajo.
- Comprender las relaciones entre las decisiones de proyecto y sus efectos sobre el entorno a nivel global, así como el marco legal aplicable en términos ambientales.
- Evaluar el coste ambiental de las decisiones de proyecto (emisiones equivalentes de los materiales, generación de residuos, diseño para la deconstrucción, etc.).
- Comunicar de forma eficaz, los objetivos ambientales establecidos, los procedimientos para alcanzarlos y las implicaciones en el entorno.

Teniendo en cuenta la triple naturaleza del proyecto que hemos enunciado más arriba y las implicaciones ambientales que acabamos de mencionar, se hace evidente la necesidad de contar con un procedimiento que mantenga hasta las soluciones definitivas los objetivos que se establecen tras la fase de análisis.

La valoración del impacto ambiental del proyecto¹² debería abarcar, también en su docencia todo el ciclo de vida de la construcción: extracción de las materias primas, transformación de estas en elementos constructivos, puesta en obra, mantenimiento y uso durante su vida útil, así como la posterior deconstrucción y reciclado, incluyendo las correspondientes fases de transporte. Este impacto o huella ecológica, de cuantificación compleja, se suele agrupar en cuatro *vectores*: energía (reducción de demanda y de energías no renovables, producción in situ,

12 Evitaremos en lo posible términos como sostenible, bioclimático, biocompatible, etc. en favor del concepto de impacto ambiental, que incluye el consumo de recursos, la producción de residuos y contaminantes o los efectos sobre la salud de las personas y los ecosistemas, de los cuales existen parámetros precisos de medición.

Interferencias:
nuevos escenarios para
el proyecto de arquitectura

Interferences:
New Scenarios for
the Architectural Project

JAUME VALOR MONTERO

El impacto ambiental en el aprendizaje
del proyecto de arquitectura.

Environmental impact in the learning
of the architectural design

etc.), recursos naturales (reducción de materiales no renovables y de alto impacto ambiental, gestión del agua, producción de residuos y reciclabilidad, etc.) y salud de los usuarios (reducción de contaminantes físicos, químicos y biológicos, etc.). Cada uno de estos vectores cuenta con sus indicadores, entre los cuales el más conocido es las *emisiones equivalentes de CO₂* que permite valorar el impacto en el efecto invernadero causante del calentamiento global del planeta.

Respecto a la energía, en los últimos años hemos asistido a su progresiva sustitución como método universal de medida (algunos autores caracterizan la modernidad en términos de transición de lo mecánico a lo termodinámico, e incluso se refieren a la *belleza termodinámica*, entendida como la producción de la forma arquitectónica a partir del diseño energético¹³). Hasta el propio concepto de impacto ambiental en términos energéticos se ha ampliado, pues además de medir la fase de uso de los edificios (kWh usados en calefacción y refrigeración por metro construido) o de eficiencia de los sistemas (unidades de calor o frío obtenidos por unidad energética consumida), se han ido incorporando nuevos conceptos ligados al ciclo de vida –otro concepto proveniente de la ecología–, como el de la *energía embebida* en los materiales, es decir, la que ha sido necesaria para la extracción, fabricación, transporte y puesta en obra de una determinada solución constructiva, incluso la que será necesaria para su desmontaje y reciclaje.

A esa sustitución de la energía como unidad de medida universal se suma la irrupción de los aspectos relacionados con la salud¹⁴, entendida desde una perspectiva amplia –física y mental, a largo plazo–. En este sentido, es conveniente plantear un balance entre los aspectos perjudiciales y los saludables, y actuar sobre ambos para conseguir que los edificios, las ciudades y las infraestructuras contribuyan a la salud en lugar de dañarla.

Los indicadores con los que actualmente se mide este aspecto son muy variados, y se refieren a los contaminantes físicos, químicos y biológicos. Los más conocidos son la presencia en el aire de componentes orgánicos volátiles (COV) y el contenido de micropartículas (CO₂, NOx, radón, etc.). O aspectos relacionados con los residuos, como kg de materiales tóxicos solubles y otros parámetros hasta hace poco restringidos a la llamada medicina alternativa (campos electromagnéticos, etc.)¹⁵. En cualquier caso, no existe una normativa unificada, como sí la hay para la energía y pronto la habrá para el ciclo de vida de los materiales o el diseño para el desmontaje y reciclado.

Sin embargo, incorporar los aspectos relacionados con la salud a la docencia del proyecto no es sencillo. A parte de la ausencia de normativas, se trata de peligros invisibles con efectos a medio y largo plazo, cuyas causas suelen ser múltiples y de difícil medición. Además, deben enfrentarse a una concepción de la salud como simple ausencia de enfermedades graves, a las costumbres (“siempre se ha hecho así”, “todo el mundo lo hace”) y a intereses comerciales, que destinan recursos a desprestigiar las alternativas que les resultan menos rentables, aunque sean más saludables.

Docencia

Llegamos así a la cuestión central del presente escrito: ¿Cómo incorporar al aprendizaje del proyecto los aspectos ambientales?

Se trata de sumar al proceso de diseño algún procedimiento de medida de impacto ambiental de las decisiones de proyecto. Por ejemplo, se puede simplificar una certificación existente a la medida de la asignatura que se imparte, con la idea de establecer un ciclo de mejora continua que retroalimente las directrices de diseño a partir de la evaluación de sus resultados (Figura 2).

13 Javier García-Germán, ed., *De lo mecánico a lo termodinámico. Por una definición energética de la arquitectura y el territorio* (Gustavo Gili, 2010); Iñaki Ábalos y Renata Sentkiewicz, *Ensayos sobre termodinámica, arquitectura y belleza* (Actar, 2016).

14 Los primeros planteamientos teóricos sobre las consecuencias negativas sobre la salud de las acciones del ser humano sobre su entorno datan de la segunda mitad del s. XIX –Engels, Thoreau, Ruskin–, y son una reacción a la degradación de las condiciones de vida causada por la Revolución Industrial.

15 Elisabeth Silvestre, *Vivir sin tóxicos* (RBA, 2022). La salud empieza a incorporarse a los criterios técnicos de los organismos que regulan en España la construcción de vivienda pública, como es el caso del INCASOL de Catalunya –con la incorporación de aspectos de biocompatibilidad de instalaciones y materiales en sus criterios de 2019 y la publicación de su *Guia tècnica de biohabitabilitat. Criteris de salut i benestar en edificació en 2021–*, del IBAVI de Baleares –que incorporó la obligatoriedad de uso de materiales sostenibles en sus promociones en 2017–, o la extinta normativa de Galicia, que incorporaba la contención del gas radón bastantes años antes de que lo hiciera el Código Técnico de la Edificación.

Figura 2. Ciclo de mejora continuada.



Por ello, las asignaturas de proyectos deberían:

- Elaborar un análisis de los condicionantes ambientales externos y los requerimientos de confort lo más amplio y transversal posible.
- Establecer objetivos ambientales viables y concentrar los recursos donde estos sean óptimos.
- Definir con precisión los criterios ambientales –sus aspectos técnicos, económicos, culturales, etc.– y las medidas concretas con las que se alcanzarán los objetivos.
- Documentar el proceso de forma que se garantice la trazabilidad de las decisiones en cada fase del proyecto, asegurando su correcta comunicación.
- Evaluar el éxito de los objetivos planteados e incorporar la experiencia obtenida –medidas correctoras– en cada fase a los proyectos futuros –medidas preventivas–.

Tomemos como ejemplo un programa docente de por sí denso y exigente, como es el *Proyecto Fin de Carrera*, situado según la legislación vigente en los másteres habilitantes. En la ETSAB, el PFC ocupa seis horas semanales a lo largo de un año, y sigue a los cinco años del *Grado en arquitectura*, en el que se han cursado seis semestres de proyectos, más dos semestres de *Bases para el proyecto* de primer curso y otros dos del *Taller temático* de quinto curso, lo que da una media de menos de seis horas semanales. Esto contrasta con las entre nueve y quince horas semanales que se impartieron desde la postguerra hasta la extinción en 1994 del Plan de estudios de 1979¹⁶, y dificulta la incorporación de las crecientes exigencias de la profesión de arquitecto.

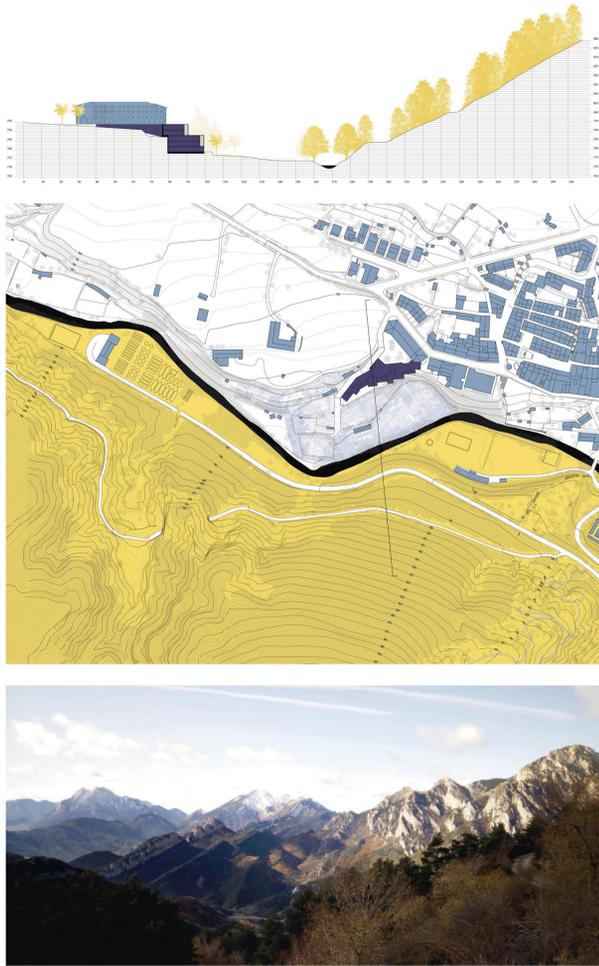
El proyecto como análisis: Condicionantes ambientales

Cualquier proyecto se inicia comprendiendo las necesidades que debe cubrir y los condicionantes a los que está sometido. En el caso del proyecto de arquitectura, este se elabora para un lugar concreto, y por ello es ante todo necesario conocer con precisión sus condicionantes ambientales, y así debería incorporarlo su docencia.

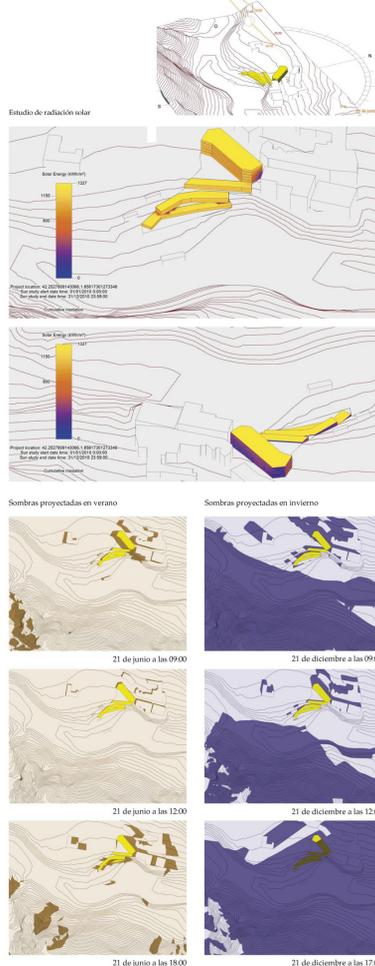
Entre los *condicionantes ambientales externos* al proyecto, los más destacables son el clima (temperaturas, humedad y lluvia, vientos dominantes, etc.) y las características físicas del entorno –topografía, asoleo, composición del terreno, ruido, olores y contaminación del aire, actividades cercanas, etc.–, así como las preexistencias (edificaciones, infraestructuras, vegetación y fauna, etc.). Estas características, que los estudiantes no pueden modificar, pueden parametrizarse (por

¹⁶ Esta evolución se aprecia en el estudio *ETSAB a debat. Llibre de dades. Diagnosi i indicadors de docència (2023)*, coordinado por el entonces jefe de estudios Daniel García Escudero. <https://etsab.upc.edu/ca/shared/a-escola/a3-qualitat/xifres/resultats/etsab-a-debat-llibre-de-dades-docents.pdf>.

EMPLAZAMIENTO



ESTUDIO SOLAR



CLIMA

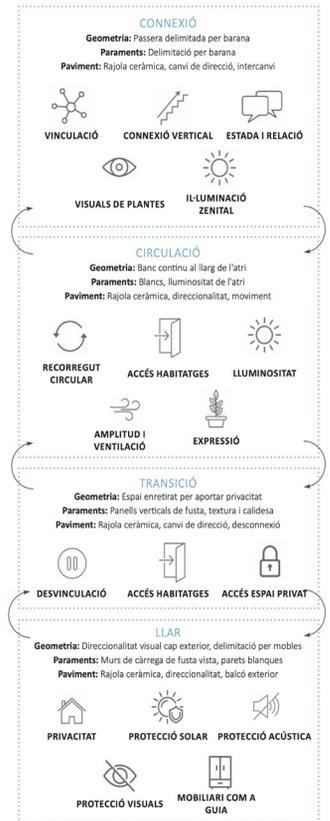
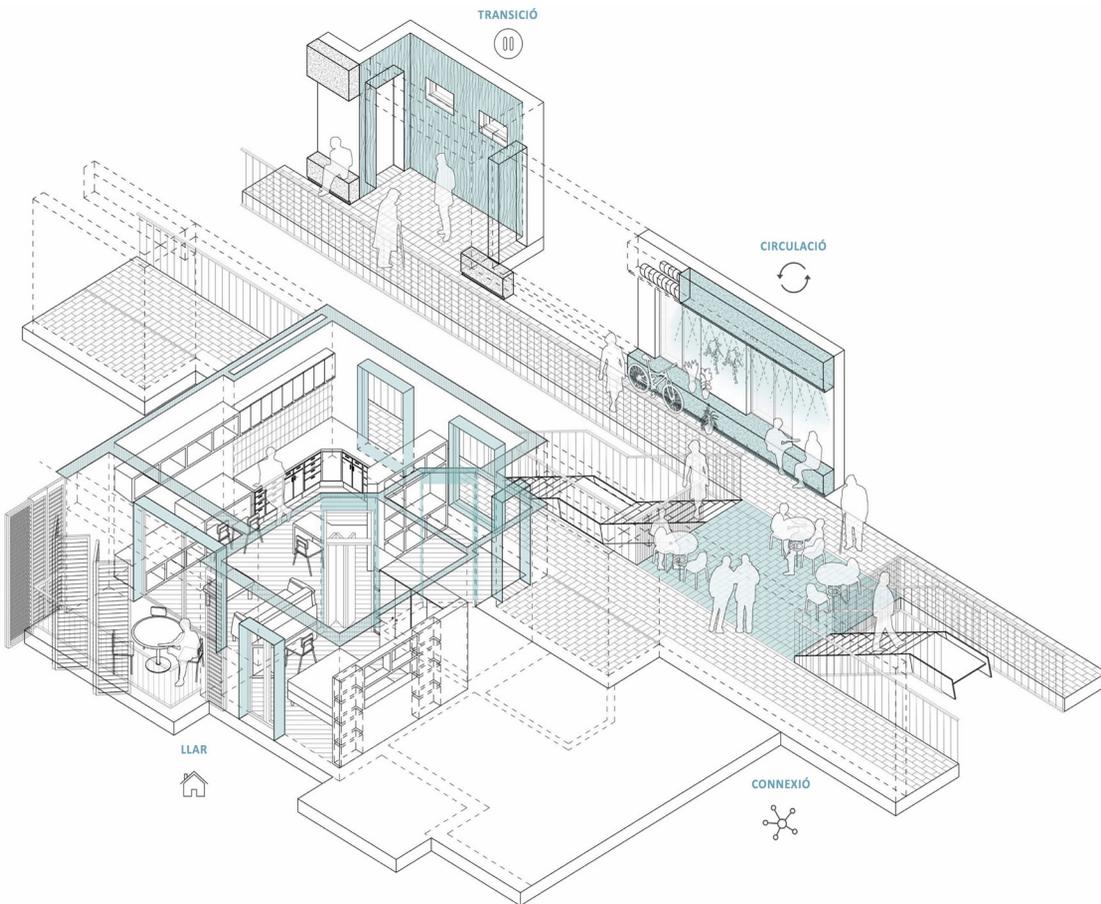
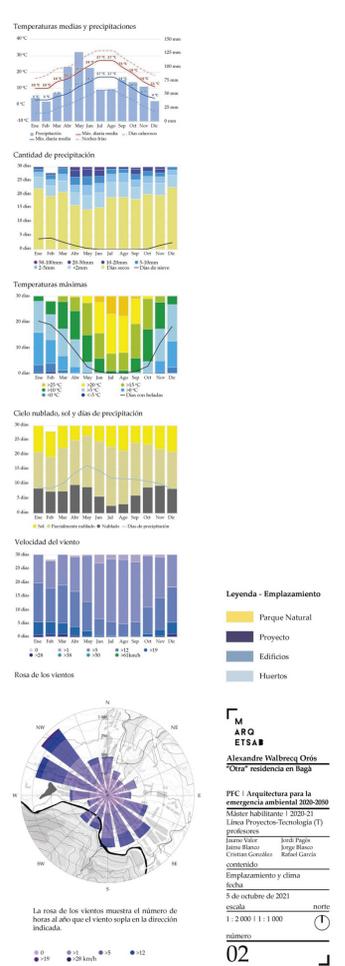


Figura 3. Análisis de los condicionantes externos del proyecto, añadiendo datos climatológicos (pluviometría, temperaturas, asoleamiento, vientos, etc.) a la habitual descripción física (topografía, preexistencias, etc.).

Figura 4. Análisis de los requerimientos internos del proyecto añadiendo los condicionantes ambientales –también perceptivos– a las habituales características espaciales.

Figura 5. Diagrama DAFO.



ejemplo, convirtiendo la orientación solar la energía recibida en una determinada superficie) y separarse en positivas (útiles para el proyecto, como el asoleo en invierno) y negativas (dificultades para el proyecto, como exceso o carencia de humedad), como se representa en la Figura 3.

Pero si el proyecto de arquitectura se elabora para un lugar concreto, también se hace para satisfacer unas determinadas necesidades, es decir, para unos usos definidos y, a menudo, unos usuarios concretos. Se trata de los *requerimientos ambientales internos* del proyecto, es decir, las necesidades de confort. De nuevo será necesario establecer con precisión aspectos que los estudiantes no pueden obviar ni alterar, como son los rangos aceptables de temperatura y humedad, o la calidad del aire interior ligados a los usos requeridos (Figura 4).

En el curso que se pone como ejemplo, ese cúmulo de información se organiza en un análisis DAFO –siglas de *Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades*–, usado habitualmente en análisis de negocios. Este se inicia identificando los condicionantes ambientales externos al proyecto y trasladándolos al segundo y cuarto cuadrantes: *amenazas* y *oportunidades*, el primero de ellos negativo y el segundo positivo.

A continuación, se hace lo propio con los requerimientos internos de confort, identificándolos y trasladándolos al primer y tercer cuadrantes (de nuevo, uno negativo y otro positivo): *debilidades* y *fortalezas*. La ya mencionada naturaleza del proyecto como instrumento de análisis evidencia la necesidad de contar con el mayor número de variables posibles, pues, como modelo será más fiable cuanto más completo (Figura 5).

| | Aspectos positivos | Aspectos negativos | Objetivos | Estrategias | Soluciones | Documentación |
|---|--|---|--|---|---|-------------------------------------|
| Condicionantes externos (ambiente) | Forma parcela N>S: campo > calle | Proximidad vecinos a E y S | Privacidad | Filtros visuales | Celosía móvil | Planos carpintería |
| | Relación con la naturaleza | Posibles olores-contaminantes fertilización campo y polvo ambiental | Evitar partículas suspensión y contaminantes en interior | Aire interior libre COV y partículas | Filtrado aire entrante | Planos ventilación, memoria cálculo |
| | Pendiente a sur (3m?) | Vistas a N-E | Vistas | Jardín en PB / Árboles l ventana N-E P1 | Semienterrada | Planos emplazamiento y jardinería |
| | | Calle a sur | Protección ruido y contaminantes tráfico | Amortiguación ruido | Edificación fondo parcela / Celosía móvil | |
| | | Torre alta tensión a N-O | Protección radiación electromagnética | Caja de Faraday | Piel metálica, losa hormigón | Planos alzados y detalles |
| | Árboles hoja caduca (robles) a sur: protección solar en verano, no obstáculo a captación solar en invierno | Calda hojas | Evitar obturación bajantes | Filtro solar móvil verano | Mantener robles (edificación fondo parcela), celosía móvil | Planos metalistería |
| | Frio en invierno / Calor en verano | Oscilación térmica marcada | Disminución demanda energía calefacción y refrigeración | Coefficiente de forma / Porosidad piel / Inercia | Construcción pesada / Semienterrada | Planos detalles constructivos |
| Condicionantes Internos (proyecto) | Ocupación casi permanente | Climatización permanente | Disminución demanda energía calefacción y refrigeración | Coefficiente de forma / Porosidad piel / Inercia | Construcción pesada / Semienterrada | |
| | Usuarios formación elevada | Poco interés en tecnología | Baja dependencia tecnológica | Domótica mínima | Soluciones pasivas gestión manual | Planos y memoria instalaciones |
| | Huerto | Necesidad agua | Disminución de demanda de agua potable | Captación agua lluvia | Red separativa pluviales / Depósito pluviales | Planos fontanería y evacuación |
| | | | | Reciclaje aguas grises | Red separativa grises / Depuradora grises / Red separativa depuradas (WC) | |
| Posibilidad de ampliación | Complejidad constructiva | Construcción flexible: estructura e instalaciones ampliables | Estructura sobredimensionada, instalaciones accesibles | Esperas estructurales y de instalaciones (registrables y agrupadas) | Planos estructuras e instalaciones | |
| | | | Construcción en seco, cubierta desmontable | Lamina hidrófuga fijada en seco | Planos cubiertas y detalles constructivos | |

Interferencias:
nuevos escenarios para
el proyecto de arquitectura

Interferences:
New Scenarios for
the Architectural Project

JAUME VALOR MONTERO

El impacto ambiental en el aprendizaje
del proyecto de arquitectura.

Environmental impact in the learning
of the architectural design

AV1-Ventilación natural: Todas las estancias del hotel tienen al menos una abertura al exterior para proporcionar una correcta renovación del aire.

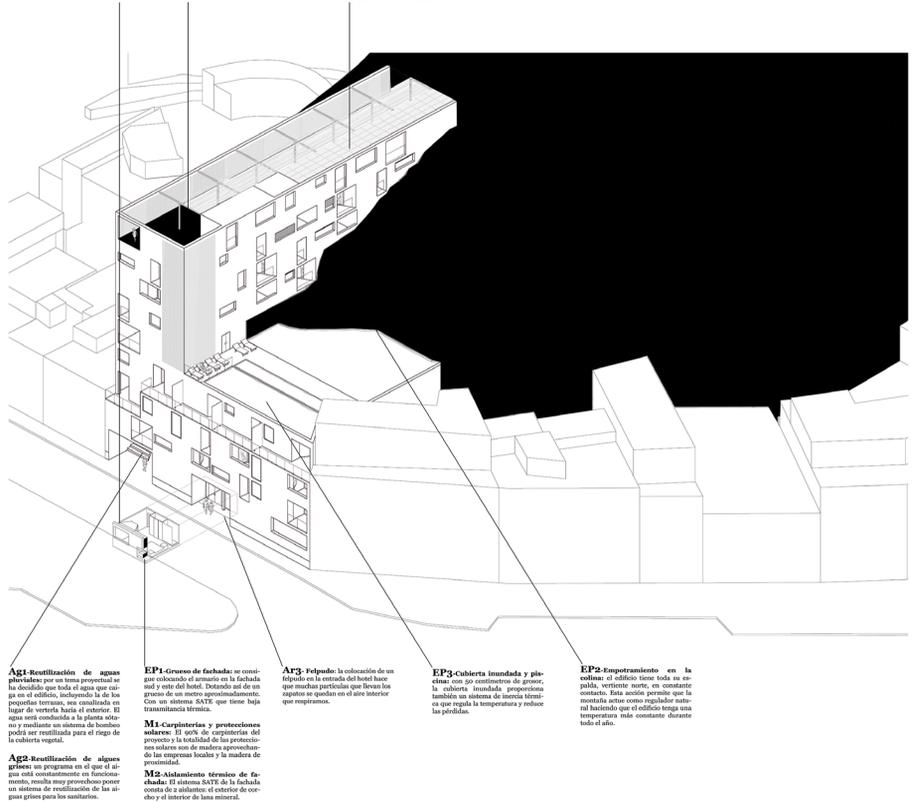
AV2-Utilización de plantas nativas (ecológicas): Las plantas que se cultivarán serán autóctonas del territorio, se fabricarán a partir de suela vegetal, rellenos naturales, col, arcilla, silicatos.

CC1-Tabiquería de separación: Todas las divisiones interiores entre habitaciones en futuro podrán eliminarse y el espacio podrá adaptarse a un nuevo programa: de la manera que está quedará la estructura, los techos y lo más representativo del proyecto: la fachada.

AG3-Sistema de goteros: tanto al techo como en las fachadas y pilas se instalará un sistema de gotero para abarcar agua.

EP4-Cubierta vegetal: en la cubierta se instalará una cubierta vegetal que con la ayuda de la lluvia, se ha optado por utilizar un sistema de cubierta vegetal que funcionará, de nuevo, como estrategia de regulación térmica.

EP5-Placas fotovoltaicas: sirven para crear sombras, la oferta de agua caliente sanitaria del hotel, y además hace de masa probada a las masas de la cubierta vegetal.



AG1-Reutilización de aguas pluviales: por un tema proporcional a la cantidad que toda el agua que cae en el edificio, incluyendo la de las piscinas, se canaliza en un lugar de vertido hacia el exterior. El agua será recolectada en la planta sótano y mediante un sistema de bombeo podrá ser recirculada para el riego de la cubierta vegetal.

AG2-Reutilización de aguas grises: un programa en el que el agua está constantemente en funcionamiento, resulta muy provechoso tener un sistema de reutilización de las aguas grises para los sanitarios.

EP1-Grosor de fachada: se consigue reduciendo el espesor en la fachada sur y este del hotel. Dado que sur de un grosor de un metro aproximadamente. Con un sistema SATE que tiene baja transmitancia térmica.

M1-Carpinterías y protecciones solares: El tipo de carpinterías del proyecto y la totalidad de las protecciones solares son de madera proveniente de las empresas locales y la madera de proximidad.

M2-Aislamiento térmico de fachada: El sistema SATE de la fachada consta de 2 aislantes: el exterior de coque y el interior de lana mineral.

AG3-Voladizo: la colocación de un voladizo en la entrada del hotel hace que muchas perforaciones que llevan los aspectos se queden en el aire interior que respiramos.

EP3-Cubierta inundada y piscinas: con 20 estructuras de grases, la cubierta inundada proporciona también un sistema de acción térmica que regula la temperatura y reduce las pérdidas.

EP2-Resoparamento en la cubierta: el edificio tiene toda su superficie, vertiente norte, en constante contacto. Esta acción permite que la inercia actúe como regulador natural haciendo que el edificio tenga una temperatura más constante durante todo el año.

Figura 6. Localización en el proyecto de las estrategias ambientales activas y pasivas.

En esta fase también es conveniente considerar la relación entre los usos previstos y la tecnología empleada, esto es, la *dependencia tecnológica* que generarán las decisiones tomadas por los estudiantes. Por ejemplo, si se propone un ejercicio de vivienda, se deberá incorporar un perfil de usuarios para que los estudiantes decidan si es más conveniente la domotización de las soluciones ambientales (ventilación o protección solar motorizados, etc.) o el accionamiento manual. De ese modo se comprenderá que la primera opción puede ser contraproducente para usuarios que ocupen la vivienda a lo largo de todo el día (gastos de mantenimiento innecesarios cuando los habitantes podrían accionar manualmente esos mecanismos) mientras que la segunda lo es para usuarios que la ocupan muy pocas horas al día (sobrecalentamiento en verano, falta de renovación de aire, etc.).

El proyecto como modelo: Objetivos y estrategias ambientales

Como hemos comentado, el proyecto de arquitectura funciona, entre otros aspectos, como modelo o simulación de la realidad física que permite anticipar el resultado de determinadas acciones. Este modelo, que se construye mediante la recolección de datos en la fase de análisis (por ejemplo, el asoleamiento), permite simular acciones (como las ganancias térmicas de distintos tipos de cerramiento). Hasta aquí, nada distinto a cualquier otro modelo científico. Sin embargo, en estas fases iniciales, el proyecto sirve también para comprobar otras características más inmateriales de la arquitectura: *pre-ver* espacios que no existen y *pre-sentir* las percepciones que se pretende provocar.

Respecto a los aspectos ambientales, una vez se cuente con un modelo se podrán ensayar las *estrategias* mediante las cuales se establecerán las principales vías para lograr los *objetivos ambientales*, que se acabarán desarrollando en forma de *soluciones ambientales* concretas. Las estrategias son, pues, la fase central del proceso de diseño, y es muy importante su definición precisa para dar con las soluciones adecuadas en la fase final del proyecto (Figura 6).

Figura 7. Coste y efectividad de las soluciones ambientales en el proyecto: reducción de la demanda y satisfacción de esta con medidas pasivas antes de recurrir a las medidas activas.



Regresando al curso de ejemplo, con los cuatro aspectos del DAFO ambiental completados, se procederá a ordenarlos según su importancia, pues del documento resultante se podrán inferir los *objetivos ambientales*, entendidos como las condiciones de confort en su sentido más amplio –fisiológico, pero también psicológico–. Estos pueden imaginarse como una prolongación del diagrama, con la intención de convertir las amenazas en oportunidades y las debilidades en fortalezas, como muestra de nuevo la Figura 5.

El proyecto como instrucción: Soluciones ambientales

Las soluciones son la concreción de las estrategias, y por ello es especialmente importante que los ejercicios de proyectos aborden sus características técnicas (dimensiones y ubicación en el proyecto, beneficios y limitaciones, coste, etc.). También hay que tener en cuenta que, en tanto que instrucción de trabajo, el proyecto se dirige a agentes que no conocen la globalidad de la transformación que se plantea, aunque tienen que ejecutar una parte de ella. En este sentido, cualquier imprecisión en proyecto puede provocar la no ejecución de la solución, invalidando toda la cadena de decisiones, y es conveniente incorporar esta realidad a la formación de los futuros arquitectos.

En cualquier caso, el principio ambiental que debería impregnar toda decisión proyectual es la reducción de la demanda –energética y de recursos–, para lo cual hay que intentar satisfacer las necesidades de confort mediante soluciones pasivas, resolviendo las demandas restantes –que deberían ser mínimas, por no decir nulas o negativas– mediante soluciones activas basadas a la eficiencia.

Como ha escrito Claude-Alain Roulet¹⁷ y hemos representado en la Figura 7, podemos imaginar este concepto en forma de una pirámide cuya base es de responsabilidad exclusiva de la arquitectura mientras que la cúspide es compartida con la ingeniería. Asimismo, cuanto más abajo en el diagrama podamos situar una solución, menor será la dependencia tecnológica generada.

En este sentido, interesa contar con algún tipo de guía para asegurar que el aprendizaje del proyecto no descuida ningún aspecto importante. Para ello podríamos completar el DAFO siguiendo los *check-list* de certificaciones ambientales como la norteamericana LEED o la británica BREEAM, donde las soluciones ambientales responden a criterios, que a su vez se agrupan en categorías. En los ejemplos que siguen se ha recurrido a la certificación VERDE –versión española de LEED–, que cuenta con cinco categorías principales: *energía, materiales y economía circular, agua, calidad del ambiente interior y cambio climático* (Figura 8).

17 Claude-Alain Roulet, *Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments* (Presses polytechniques et universitaires romandes, 2008).

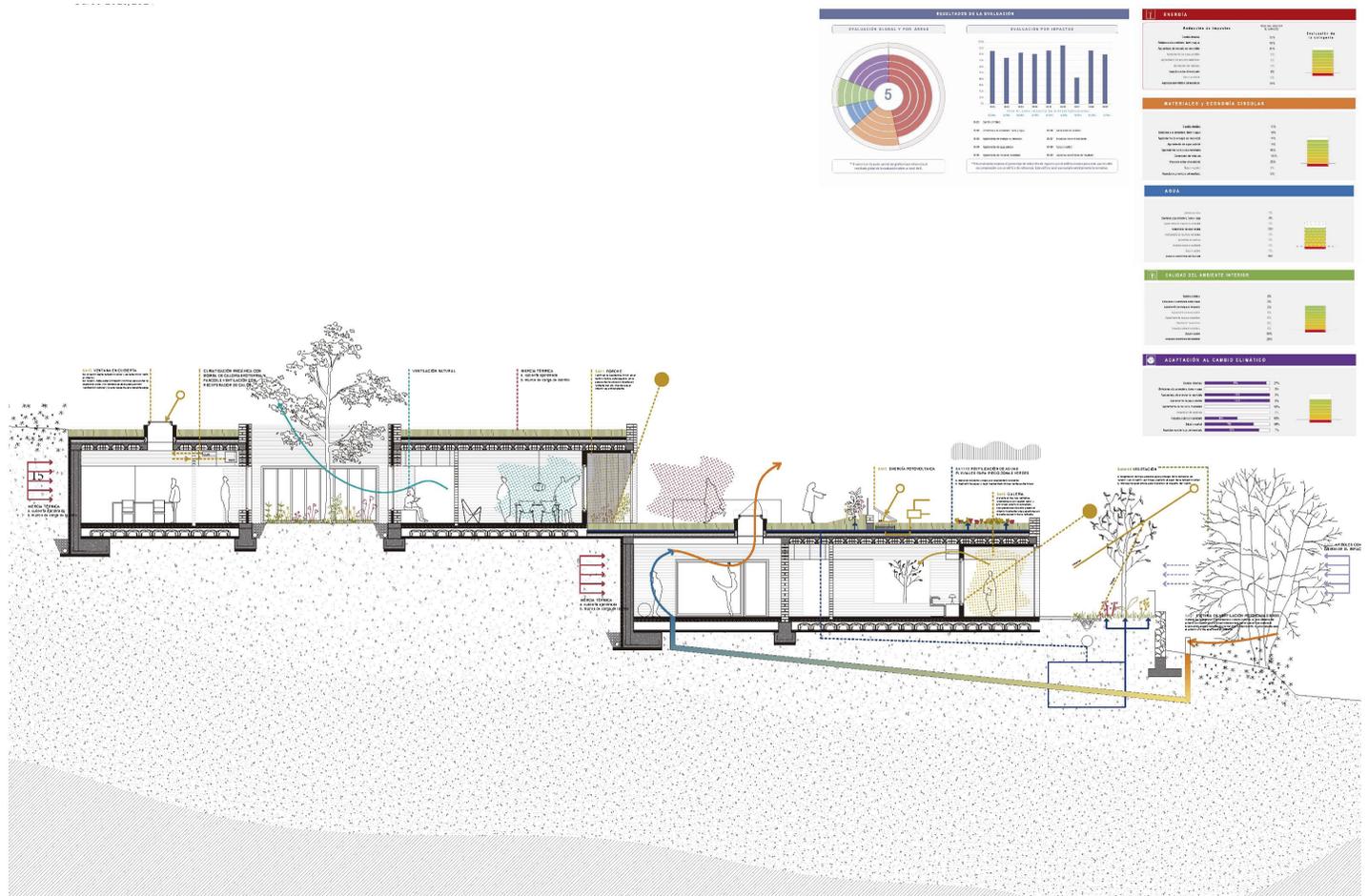


Figura 8. Evaluación rápida del impacto ambiental durante el proceso del proyecto con la certificación VERDE del Green Building Council España.

Terminaremos con un ejemplo docente de la evolución desde los condicionantes a los objetivos, y de estos a las estrategias y soluciones. Supongamos que se propone el proyecto de una piscina pública cubierta, donde será inevitable consumir grandes cantidades de agua y se deberán prever mecanismos de control de temperatura y humedad del aire. Son necesidades funcionales que provocarán un determinado consumo de recursos que los estudiantes no pueden cuestionar, pero que pueden optimizar con decisiones de proyecto orientadas a la reducción de la demanda.

Supongamos también que se ubica el ejercicio en una zona con escasez de agua. Así, el principal *objetivo* ambiental se convertirá en minimizar el consumo de agua, y los estudiantes deberán determinar las *estrategias* para concretarlo (reducción del consumo, captación de lluvia o del freático, reciclaje de las aguas de las duchas, etc.) y las *soluciones* precisas de cada una de esas estrategias (depósitos de pluviales o fitodepuración de las aguas grises, con sus requerimientos de espacio).

Evaluación ambiental

Finalmente, será necesario algún tipo de cuantificación de las medidas ambientales, dado que, como ya hemos apuntado, es previsible que a medio plazo las normativas incorporen la obligatoriedad de un *presupuesto ambiental* del proyecto del mismo modo que se incorpora una valoración económica.

Es importante, pues, que la docencia incorpore un método que permita evaluar los aspectos ambientales durante su elaboración. Este método puede ir destinado o no a obtener una certificación (LEED, BREEAM, VERDE, etc.), puede ceñirse o no a unos estándares (Passivhaus, Minergie, etc.), puede referirse a todos los vectores (energía, recursos naturales, residuos y salud) o sólo a algunos de ellos, y puede referirse a todas las fases (proyecto, construcción, mantenimiento y deconstrucción) o sólo a algunas de ellas (Figura 9). Por supuesto, su implantación en el pro-

Figura 9. Distintas certificaciones, estándares y sellos ambientales vigentes.



yecto docente dependerá de los conocimientos y habilidades exigibles en el curso en que se sitúe la asignatura.

En cualquier caso, los estudiantes deberán producir una documentación que permita la trazabilidad de sus decisiones y la reevaluación de los objetivos en caso de cambios en el proyecto. Así se traslada a la fase de aprendizaje la realidad profesional, donde las modificaciones en el proyecto por parte del cliente o los imprevistos en obra pueden hacer peligrar objetivos ambientales trabajosamente establecidos y desarrollados.

Sin embargo, lo más común es que la docencia del proyecto se limite al comportamiento energético de los edificios o la descripción de sus soluciones constructivas, cuando las bases de datos de materiales incorporan sus emisiones equivalentes, permitiendo considerar también el origen de sus materias primas y el futuro reciclaje de sus componentes. Se trata del *cradle to cradle* –de la cuna a la cuna–, donde los productos de la deconstrucción son la materia prima de los materiales futuros (Figura 10).

Además, metodologías como el análisis del ciclo de vida de los productos (ACV) o el *Design for Disassembly* (DFD) –diseño de las soluciones constructivas para garantizar su desmontaje y reutilización o reciclado– pueden ser incorporadas al proceso de aprendizaje en mayor o menor medida dependiendo del curso en que se imparta la docencia.

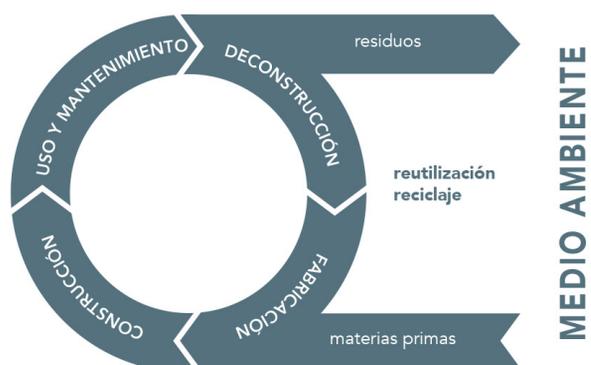


Figura 10. Ciclo de vida de la construcción a lo largo de la vida útil del edificio en relación con el medio.

Interferencias:
nuevos escenarios para
el proyecto de arquitectura

Interferences:
New Scenarios for
the Architectural Project

JAUME VALOR MONTERO

El impacto ambiental en el aprendizaje
del proyecto de arquitectura.

Environmental impact in the learning
of the architectural design

Respecto a los aspectos económicos de las decisiones ambientales, ya se ha dicho que los proyectos se elaboran para lugares y usos determinados, pero también con un presupuesto y unos plazos concretos. En este sentido, es importante que los estudiantes comprendan que el proyecto está sometido al rendimiento de su inversión, y que la desviación en las variables económicas y temporales lo hará inviable. Y las soluciones ambientales no son ajenas a esta realidad, por lo que se debe plantear su *viabilidad*.

Conclusión

La doble crisis ambiental que se agravará en los próximos años hace más necesaria que nunca una visión amplia de las implicaciones ambientales de la arquitectura. Para ello, es necesario disponer de un método que permita analizar los condicionantes ambientales e incorporarlos al proceso de proyecto, plantear objetivos y estrategias para alcanzarlos y definir soluciones concretas.

Y por supuesto, es imprescindible incorporar el impacto ambiental al aprendizaje del proyecto. Porque los estudiantes de arquitectura de hoy serán quienes deberán resolver uno de los mayores retos a los que se ha enfrentado la humanidad¹⁸.

La aplicación de una metodología de evaluación ambiental en la docencia, por sencilla que sea, revierte en proyectos de menor impacto en el medio. Permite una cuantificación rápida en la fase inicial del proyecto y una comprobación posterior de los cambios en las decisiones de diseño provocados por esa evaluación preliminar. En la asignatura tomada como ejemplo –el *Proyecto Fin de Carrera* del MArqETSAB, línea *Arquitectura y Emergencia Ambiental*– todos los trabajos de sus cinco primeros años (2019-24) incluyen una memoria ambiental con un DAFO y la certificación VERDE, y muchos de ellos también incorporan un cálculo de emisiones de distintas alternativas de un elemento constructivo. Por ese motivo, un número creciente de proyectos plantean soluciones de menor impacto ambiental, como son estructuras de madera en lugar de hormigón o acero, o contemplan algún tipo de industrialización y desmontaje.

Es posible, por tanto, actualizar los objetivos de las asignaturas de proyectos añadiendo a la calidad arquitectónica la necesidad de *espacios saludables*, edificios de *balance energético positivo* –que producen más energía que la que consumen–, *emisiones negativas* –usando materiales que, como la madera, son colectores de CO₂ durante su crecimiento– y *residuos cero*.

Sólo así se cumplirá la primera llamada al *desarrollo sostenible*, formulada hace casi cuatro décadas: “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas”¹⁹.

Procedencia de las imágenes

Figura 1. Elaboración propia.

Figura 2. Elaboración propia.

Figura 3. Walbrecq Orós, Alexandre. “Otra” *residencia en Bagà*. Trabajo Fin de Máster MArqETSAB_AEA, 2022. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/355654>

Figura 4. Martínez Prats, Elia. *Tangram: Conjunt intergeneracional, cultural i creatiu*. Trabajo Fin de Máster MArqETSAB_AEA, 2021. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/353099>

Figura 5. Elaboración propia.

Figura 6. González Aguilar, Joel. *Fronteras: conector vertical urbano y hotel en el frente marítimo de Blanes*. Trabajo Fin de Máster MArqETSAB_AEA, 2020. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/330210>

18 Pablo Servigne y Raphaël Stevens, *Comment tout peut s'effondrer* (Editions du Seuil, 2015); Cristiana Figueres y Tom Rivett-Carnac *The Future We Choose: Surviving the Climate Crisis* (Knopf, 2020). En el aspecto del agotamiento de recursos naturales, actualizan la obra de referencia *The Limits of Growth* (Donella Meadows y otros. Potomac Associates, 1972), añadiendo los conocimientos actuales sobre los efectos del cambio climático.

19 *Our Common Future*, informe de la comisión dirigida por la ex primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland para la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU (1987).

Figura 7. Elaboración propia.

Figura 8. Solano Domínguez, Belén. *A resguardo en la colina: centro de día y residencia para la visibilización de los beneficios de la naturaleza en la salud mental*. Trabajo Fin de Máster MArqETSAB_AEA, 2021. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/350327>

Figura 9. Elaboración propia.

Figura 10. Elaboración propia.

Bibliografía

Ábalos, Iñaki; Sentkiewicz, Renata. *Ensayos sobre termodinámica, arquitectura y belleza*. Actar, 2016.

Edwards, Brian; Hyett, Paul. *Rough Guide to Sustainability*. RIBA, 2001.

Colomina, Beatriz; Galán, Ignacio G.; Kotsioris, Evangelos; Meister, Anna-Maria, eds. *Radical Pedagogies*. The MIT Press, 2022.

Figueres, Christiana; Rivett-Carnac, Tom. *The Future We Choose: Surviving the Climate Crisis*. Knof, 2020.

García-Germán, Javier, ed. *De lo mecánico a lo termodinámico. Por una definición energética de la arquitectura y el territorio*. Gustavo Gili, 2010.

Jourdà, Françoise-Hélène. *Petit manuel de la conception durable*. Archibook + Sautereau, 2009.

Koch-Nielsen, Holger. *Stay Cool. A design guide for the built environment in hot climates*. James&James, 2002.

Kyropoulou, Mili. "Bridging the Gap: Sustainable Thinking in Architectural Education". *ACSA 112th Annual Meeting: Disruptors on the Edge*, 2024. <https://doi.org/10.35483/ACSA.AM.112.66>

Meadows, Donella; Meadows, Dennis; Randers, Jørgen; Behrens, William. *The Limits of Growth*. Potomac Associates, 1972.

Mestre, Nieves; Roig, Eduardo. "Sostenibilidad y otras demandas contraintuitivas de la pedagogía de la creatividad". *JIDA'15. III Jornadas de Innovación Docente en Arquitectura*, 2015. <https://doi.org/10.5821/jida.2015.5072>

Ockman, Jean, ed. *Architecture School. Three Centuries of Educating Architects in North America*. The MIT Press, 2012.

Olgay, Victor. *Design with Climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press, 1963.

Prieto, Eduardo. *Historia medioambiental de la arquitectura*. Cátedra, 2019.

Roulet, Claude-Alain. *Santé et qualité de l'environnement interieur dans les bâtiments*. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2008.

Serra, Rafael; Coch, Elena. *Arquitectura y energía natural*. Edicions UPC, 1995. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36276>

Servigne, Pablo; Stevens, Raphaël. *Comment tout peut s'effondrer*. Editions du Seuil, 2015.

Silvestre, Elisabeth. *Vivir sin tóxicos*. RBA, 2022.

Valor, Jaume. *Arquitectura e impacto ambiental. El proyecto como método*. Recolectores urbanos, 2023.

Velasco, Luis. *El movimiento del aire condicionante del diseño arquitectónico*. Ministerio de Fomento de España, 2011.