

## Sustentabilidad tecnológico-energética en la arquitectura: Estrategias y reflexiones a partir de la vivienda compacta

### Resumen

El trabajo plantea un análisis de sustentabilidad en la tecnología de la arquitectura, a partir del estudio de un caso de vivienda compacta. Se afirma que toda intervención del hombre atenta contra la sustentabilidad del planeta, en una relación conjunta entre costo económico-cultural, impacto medioambiental y consumo energético. Por lo tanto, solo podemos hablar de "grados de sustentabilidad" de mayor o menor afección.

Para el desarrollo se propone una metodología que integra el estudio cualitativo y cuantitativo, recuperando investigaciones precedentes. Se evalúan las características tecnológicas y termo-energéticas de la unidad de análisis, diagnosticando aspectos generales y particulares en su ciclo de vida. Se establecen propuestas de mejoramiento en eficiencia y sustentabilidad. Y se concluye ponderando estrategias de valor singular y representativo, considerando la sustentabilidad como ejercicio de la coherencia, en invitación a su promoción, concientización y reeducación.

**Palabras clave:** arquitectura sustentable, dimensión técnica, eficiencia energética

### Abstract

The work proposes an analysis of sustainability in the technology of architecture, based on the study of a case of compact housing. It is affirmed that all human intervention threatens the sustainability of the planet, in a joint relationship between economic-cultural cost, environmental impact and energy consumption. Therefore, we can only speak of "degrees of sustainability" of greater or lesser affection.

For the development, a methodology is proposed that integrates the qualitative and quantitative study, recovering previous research. The technological and thermo-energetic characteristics of the analysis unit are evaluated, diagnosing general and particular aspects in its life cycle. Improvement in efficiency and sustainability is proposed. And it concludes by pondering strategies of singular and representative value, considering sustainability as an exercise of coherence, in an invitation to its promotion, awareness and re-education.

**Keywords:** sustainable architecture, technical dimension, energy efficiency

#### Rodríguez Lucas

arqlucasgrodriiguez@gmail.com

Universidad Nacional del Sur. Carrera de Arquitectura, Departamento de Geografía y Turismo  
Univ. del Este. Fac. de Diseño y Comunicación.  
Observatorio de Prácticas Pedagógicas en Proyecto  
Univ. del Este, Argentina

#### Fiscarelli Diego

diegofiscarelli@gmail.com

Universidad Nacional del Sur. Carrera de Arquitectura, Departamento de Geografía y Turismo  
Univ. del Este. Fac. de Diseño y Comunicación.  
Observatorio de Prácticas Pedagógicas en Proyecto  
Univ. del Este, Argentina

#### Fernández José Luis

jlfernandez.arq@gmail.com

Universidad Nacional del Sur. Carrera de Arquitectura, Departamento de Geografía y Turismo

Recibido: 13/09/2022

Aceptado: 20/11/2022

## Introducción

Inicialmente, se acuerdan conceptos y dimensiones de base. Y así, se enmarca el análisis de la sustentabilidad en la tecnología de la arquitectura, a partir de un ejemplo edilicio representativo.

### Dimensiones del desarrollo sustentable

En este marco, el desarrollo sustentable ([Brundtland, 1987](#)) implica un proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la dirección de la inversión, la orientación del desarrollo tecnológico y los cambios institucionales deben ser consistentes con las necesidades presentes y futuras. Ya en el famoso informe “Más allá de los Límites” ([Meadows, 1991](#)), el Club de Roma concluye que el uso humano de los recursos esenciales y la generación de contaminantes ha sobrepasado las tasas que son sustentables. Y nos alerta que, sin una reducción de los flujos de materiales y recursos, se producirá una declinación consecuente en la producción alimentaria, energética e industrial. En esta dirección, se comprenden los compromisos acordados por los países del mundo, manifestados claramente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 ([AG-ONU, 2015](#)).

Esta tendencia de declinación no es inevitable. Una sociedad sustentable es técnica y económicamente posible ([Girardín, 2009](#)). Pero dos cambios fundamentales son imperantes: la revisión de políticas y prácticas de aumento en la población y en el consumo de recursos y una mejora sustancial en cómo son usados los materiales y la energía ([Naredo, 2004](#)).

Bien conocidas son los tres pilares definidos genéricamente para el desarrollo sustentable global, en relación a lo social, lo económico y lo medioambiental. En tanto incorporamos otras dimensiones tales como la ecológica, tecnológica, política, ética, institucional, humana ([Jimenez Herrero, 1997](#)), podemos redefinirlas para nuestro contexto, reagrupando en la interrelación de una sustentabilidad socio-económico-cultural, una sustentabilidad tecnológico-energética y una sustentabilidad ambiental ([San Juan, 2013](#); [Rodríguez, 2016](#)).

### Tecnología en la arquitectura sustentable

En cuanto a la pertinencia en nuestra disciplina, la arquitectura sustentable se preocupa por los modos de extracción, producción, uso y demolición de los materiales que utiliza, de dónde provienen, cómo se transportan, sus posibilidades de reciclaje y reutilización, es decir el ciclo de vida de los materiales. La tarea de seleccionar un material adecuado, debe tener en cuenta también los costos ecológicos, de cada etapa de los diferentes procesos implícitos, desde un enfoque ético que involucre las desigualdades sociales e incentive la solidaridad y la organización. Además, debemos considerar factores como la utilización de tecnologías apropiadas y apropiables, el ecosistema sobre el que se asienta, la reducción del impacto ambiental, los sistemas energéticos que fomenten el ahorro.

Estos aspectos deben ser tenidos en cuenta, no solamente por los costos energéticos o los efectos contaminantes implícitos, sino también por el paradigma al que responde un material en el mercado de la producción en un sentido integral. Es decir, si como componente de la cadena de procesos, contribuye o no a atenuar los efectos de una lógica de consumo desmesurado, causante del creciente y reconocido desequilibrio ambiental.

En función de lograr estas transformaciones, los conceptos de prevención, salud integral y equidad social, deben estar incorporados en la elección de los materiales. En resumen, abordar la problemática del diseño y la materialización considerando los atributos de la sustentabilidad: económicamente viable, socialmente justo y ambientalmente sano ([Lattuca, 2006](#)).

## Metodología

El artículo integra herramientas cualitativas y cuantitativas. Por su parte, se desarrolla en base a investigaciones previas y presentes. En tanto a los estudios antecedentes, se destacan los marcos que culminaron en la tesis doctoral del primer autor y un libro consecuente ([Rodríguez, et. al, 2017](#)). En continuidad, se aporta al proyecto vigente titulado “La dimensión tecnológico-energética en la enseñanza del saber proyectual. Análisis

y propuesta para la formación de nuestros futuros arquitectos”. Proyecto de Grupos de Investigación (2022-2024), Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, dirigido por los autores.

En cuanto al abordaje metodológico cualitativo, se propone un desarrollo descriptivo-interpretativo, contrastando la realidad observada con los fundamentos teóricos. Como herramientas metodológicas, se recurre al análisis bibliográfico y la observación participante.

En tanto al abordaje cuantitativo, se analizan las características termo-energéticas a escala de los componentes tecnológico-constructivos y unidad edilicia. Para ello, recuperando la metodología empleada en las investigaciones precedentes (Rodríguez, 2015). Se recurre a los métodos de cálculo estacionario según IRAM, en su serie de “Acondicionamiento térmico de edificios”; cubriendo paralelamente las exigencias de la Ley N°13059 de la Prov. De Bs. As.

En la escala de componente, se analiza la transmitancia térmica (“K”) de cada uno de los elementos que constituyen la envolvente edilicia: muros, techos y aberturas (según IRAM N 11601, 2001; N 11507-4, 2010). Para la unidad edilicia, se analiza su comportamiento energético global (“G”, según IRAM N 11604, 2001) y el nivel de habitabilidad, establecido por normativa (IRAM N 11605, 1996 y N 11507-4, 2010). En tanto al análisis de la demanda energética global (“Q”), se reconocen limitaciones en el método de cálculo IRAM (N 11604, 2001) que no contempla orientaciones, usos o ganancias solares. Por lo que se realizan simulaciones dinámicas con ganancia solar, empleando el software “Energy Plus” (Departamento de Energía de los Estados Unidos -DOE-).

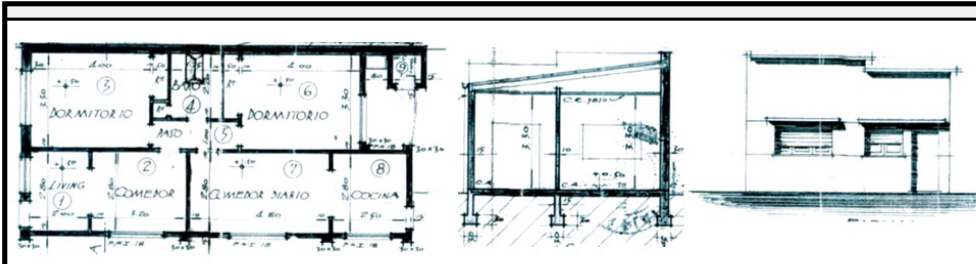
## Desarrollo

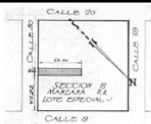
Se propone la descripción y análisis del caso de estudio; continuando con un diagnóstico de la casa cajón en su ciclo de vida y propuestas de mejoramiento.

### Descripción y análisis del caso de estudio

Como unidad edilicia de análisis, se adopta una vivienda compacta, reconocida tipológicamente como “casa cajón” (Bellucci, 1984). Sus características dimensionales se describen en la tabla 1, continuando con su descripción tecnológico-constructiva.

Tabla 1



Año de construcción: 1947		
Ubicación:	Calle 40, entre 19 y 20, La Plata	
Superficie:	82.55 m <sup>2</sup> de sup. Exterior (73.20 m <sup>2</sup> de sup. Interior)	
Volumen:	241.50 m <sup>3</sup> de volumen interior	

Características formales y dimensiones de la unidad edilicia de estudio  
Elaboración propia

-MUROS: Muros con fundación de zapata ladrillera. Mampostería portante de ladrillo cerámico macizo de espesor 0.15 y 0.30 m. con encadenado de hormigón armado. Terminaciones exteriores con azotado hidrófugo, revoque grueso y fino a la cal fratazado. Terminaciones interiores de fino a la cal fratazado. Pintura y

blanqueo: Muros exteriores a la cal. Muros interiores a la cal. Cielorraso a la cal. Carpintería de madera imprimación y pintura al aceite.

-CUBIERTA: Cubierta de chapa ondulada en pendiente de 10%. Chapa de h° G°, alf. 2"x2", capa de barro, tabla 1/2" x 12", tirantes 2" x 6". Cielorraso suspendido de yeso sobre estructura resistente con metal desplegado.

-ABERTURAS: Ventanas de madera, con marcos macizos y vidrio simple de 4mm. Cortina de enrollar de madera. Puerta principal de madera. Puerta trasera y ventiluces de chapa nº18. Claraboya en baño.

-PISOS: Mosaicos y zócalos calcáreos, sobre contrapiso de cascotes. Parquet en dormitorios.

-INSTALACIONES: baño completo. Cocina con bacha y mesada de granito reconstituido. Revestimiento cerámico. Instalación eléctrica embutida. Iluminación central en todos los ambientes. Instalación embutida de agua. Calefón. Gas. Desagües cloacales y pluviales.

En la tabla 2 se exponen los valores de transmitancia térmica y nivel de habitabilidad (según IRAM 11605 y 11507-4) de los componentes opacos de la envolvente: muros y cubierta. Para las aberturas, se adoptan los valores según la Norma IRAM 11601: Vidrio incoloro común 5.82 W/m² °K. Vidrio incoloro común con cortina de madera (cerrada): 2.79 W/m² °K. En cuanto al cálculo del coeficiente global de pérdidas térmicas "G", se adoptan los valores de IRAM N° 11604 para la ciudad de La Plata: 1178 Grados Día, para un volumen de edificio de 241.5 m³. Con estos datos también se obtiene el valor admisible G, según tabla, siendo de 1.7 W/m³ °C.

A continuación, se calcula el coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas de la casa cajón (Gcal), según IRAM 11604. Los datos edilicios requeridos son: superficie calefaccionada (73.20 m²), volumen calefaccionado (241.50 m³) y perímetro contacto con suelo (26.9 m).

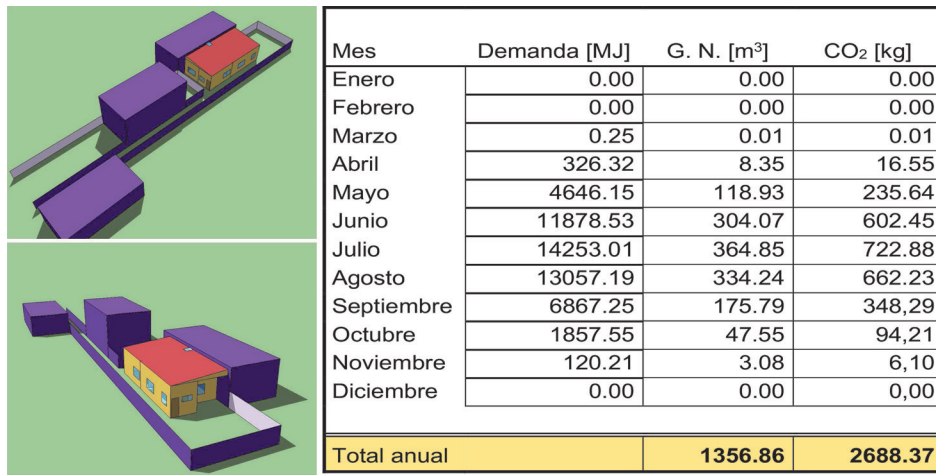
**Tabla 2**

$G_{cal} = [(\sum K_m S_m + \sum K_v S_v + \sum K_r S_r + Per P_p) / Vol] + 0.35 n$				Nivel B de habitabilidad*	
Envolvente del edificio	Sup. [m²]	K [W/m² °C]	Pérdidas [W/°C]	K adm. max.	Valor
Muro exterior 0.15m	36.9	2.862	105.61	1.00/1.25	No cumple
Muro exterior 0.30m	37.72	2.078	78.38	1.00/1.25	No cumple
Muro medianero (K x 0,5)	42.08	1.039	43.72	1.00/1.25	Cumple (B)
Cubierta	73.2	1.444	105.70	0.48/0.83	No cumple
Ventanas	11.58	5.82	67.40		No cumple
Puertas	3.2	3.5	11.20		Cumple
Piso (perímetro x 1m)	26.9	1	26.90		
Pérdidas térmicas totales			438.91		
Coeficiente "G" [W/m³ °C] calculado=			<b>2.34</b>	Muros y cubierta: No cumple	
$G_{adm} = 1.7 \text{ W/m}^3 \text{ °C}$			No cumple con el valor admisible	Aberturas: No cumple	

Coeficiente global de pérdidas térmicas "G"  
Elaboración propia, según IRAM 11604 (2000)

A partir de los valores calculados, se afirma que las características materiales de la casa cajón no cumplen con las condiciones mínimas de acondicionamiento térmico establecidas por Norma (y exigidas por la mencionada Ley 13059). A continuación, se realiza una simulación térmica a través del programa Energy Plus, para obtener la demanda anual de energía auxiliar para calefaccionar los locales a un valor nominal de 18 °C.

Las condiciones y características bioclimáticas adoptadas son las establecidas por la Norma IRAM 11603 para nuestra zona (IIIb). Latitud 34° 55' Sur. Longitud 57° 56' Oeste. ASNM 0m. El sitio se reconoce como zona urbana de densidad media, con loteo a medio rumbo. La geometría del edificio y su entorno es modelada en el programa Sketch-up, el cual trabaja vinculado con el editor del Energy Plus para cargar las características de los materiales, horarios de uso, fuentes energéticas auxiliares, entre otros. Las imágenes del modelo son representadas en la fig. 1, junto al cuadro a su derecha donde se exponen los consumos de energía auxiliar, su conversión a Gas Natural y emisiones de CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.** Modelado para simulación térmica con EnergyPlus.  
A la derecha Valores de energía auxiliar y emisiones CO<sub>2</sub>

Como primer análisis, se reconoce una casa compacta y funcional, que determina un costo inicial de construcción relativamente acotado, fabricado con materiales y mano de obra local, según métodos constructivos húmedos. En el devenir de su vida útil, cuyo valor nominal adoptado es 100 años, se reconoce que los materiales empleados requieren mantenimiento constante de pintura, tanto en muros como en carpinterías. La cubierta de chapa presenta una vida útil menor al resto del edificio, por lo que debe ser reparada o sustituida al menos 3 veces (en 100 años). Por el lado de los niveles de habitabilidad, se registra que la calidad material de baja resistencia térmica produce discomfort higrotérmico; aspecto reforzado por la opinión de los usuarios, principalmente durante las estaciones críticas (verano e invierno). En las estaciones frías, se identifica una importante dependencia de energía auxiliar (con predominancia en el uso de gas natural) como sistema de climatización.

### Diagnóstico de la casa cajón en su ciclo de vida

A continuación, se enuncian consideraciones de impacto durante el ciclo de vida, en el marco de la sustentabilidad. Y posteriormente, se realizan propuestas para mejorar la tipología.

-Extracción, producción y transporte de los materiales: la materia prima empleada es local, disminuyendo el impacto. Por otro lado, el crecimiento de la demanda y su consecuente reducción de tiempos de producción indujeron la implementación de procesos industrializados (como en el caso del ladrillo) disminuyendo el costo, pero aumentando la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

A su vez, algunos materiales como el hormigón, el hierro, o el aluminio tienen altos valores de energía incorporada, por más que la relación entre ésta y la demanda durante toda su vida útil sea del orden del décimo (Edwards, 2008).

-Construcción: El mayor impacto en el sistema constructivo empleado probablemente lo determine el importante uso de agua potable durante la construcción del edificio (en contrapunto a los sistemas de montaje en seco). Al respecto, se entiende que su incidencia no es determinante en nuestro contexto, por tener buena disponibilidad de este recurso. Pero se reconoce que esta condición no podrá ser sostenida en el tiempo.

Otro punto característico es la producción de residuos y la contaminación sonora (extendida en el tiempo, en relación al sistema de montaje en seco). Por otro lado, la baja densidad de la vivienda individual tiene un aprovechamiento mínimo de uso del suelo (si bien este ejemplo es compacto) y una alta dependencia de transporte para el usuario.

-Mantenimiento: Los materiales empleados requieren del tratamiento y restauración permanente, lo cual aumenta notablemente los costos durante su vida útil. Por ejemplo, se requieren unos 20 litros de pintura cada 2 a 4 años para pintar dos manos de la superficie exterior, lo cual debe multiplicarse por 100 años estimados de vida útil (entre 500 y 1000 lts.). Al ejemplo de la pintura, podemos sumar la difícil tarea de pintar las cortinas



de enrollar de madera; reparaciones varias por condensaciones, producto de las deficiencias térmicas de los muros y humedad; cambio de chapas de la cubierta o membrana; entre otros.

Por el lado específico del acondicionamiento térmico, si bien su compacidad mejora la eficiencia, los materiales empleados en la envolvente (previamente evaluada) produce grandes pérdidas y consecuentes deterioros en la calidad ambiental. Sus demandas energéticas son sostenidas durante su vida útil, ya que el edificio no tiene la capacidad de generar energía como tampoco aprovecha el recurso natural. Consecuentemente, se entiende que el uso racional de la energía (principalmente mediante aislación y costumbres de uso) es fundamental, como también lo es el uso de fuentes que no produzcan emisiones nocivas.

-Demolición: Por tratarse de una escala muy baja, en general, el proceso de demolición es artesanal. En primera instancia se retiran los materiales útiles: vigas de madera, carpinterías, pisos. Y el resto de los materiales gruesos son reutilizados, como cascote para contrapisos, rellenos, nivelaciones de terreno. Al ser un procedimiento manual, el impacto energético es mínimo.

En relación a las condiciones de habitabilidad, la edificación goza de las ventajas de su compacidad. Sin embargo, de ello se desprenden las dificultades de crecimiento y las que se derivan de la falta de continuidad entre frente y fondo. Otro punto negativo es la escasa iluminación natural en la mayoría de los ambientes. En contraparte, tanto la morfología como sus características tecnológicas permiten generar aberturas en provecho de la orientación, posibilidad de ventilación cruzada; como así también la facilidad de aislar exteriormente, debido a su simpleza geométrica.

### **Propuestas de mejoramiento**

En orden a mejorar las condiciones de sustentabilidad de la vivienda ([Filippin, 2005](#); [San Juan, 2013](#); [Rodríguez et. al, 2017](#)), se establecen posibles tratamientos en relación a la adecuación del espacio construido al medio bioclimático y las necesidades humanas, racionalización del consumo energético y obtención del confort ambiental mediante el uso optimizado de recursos renovables. Contemplando estas pautas de diseño, se determinan potenciales estrategias en relación a conservación, ventilación, asoleamiento, y producción de energía con fuentes renovables.

### **Uso eficiente de la energía**

-Conservación de la energía: mediante aislación de la envolvente de la edificación. Interior o exterior. Fija (principalmente en muros y cubierta) y/o móvil (en aberturas).

-Adaptación de los elementos translúcidos a condiciones de menor conductividad térmica: modificación o sustitución de las carpinterías y/o vidrios.

-Control de pérdidas por rendijas y grietas: colocación o sustitución de burletes, rellenos de poliuretano expandido, entre otros.

### **El recurso solar**

-Aprovechamiento de la energía (por ganancia directa) y la iluminación natural, mediante aberturas en muros y/o cubiertas: ventanas, lucernarios, claraboyas. Invernaderos (con su doble función como secadero de ropa).

-Diseño de sistemas de protección solar, para evitar la radiación excesiva o no deseada: galerías exteriores, cortinas de enrollar, celosías, postigos, aleros, toldos, vegetación caduca.

-Calentamiento de agua mediante: Calefones solares

-Generación de electricidad: mediante sistemas fotovoltaicos.

-Uso de sistemas de acumulación de calor, líquidos y sólidos: MAC.

## El recurso eólico

-Ventilación natural para refrescamiento: a través de la ubicación de aberturas en posiciones opuestas (ventilación cruzada, selectiva). Otra opción lo presentan las chimeneas solares.

-Ventilación forzada: mediante la colocación de un ventilador que inicie el movimiento del aire.

-Extracción de agua: mediante molinos eólicos;

-Generación de electricidad: mediante molinos eólicos

## Varios

-Reutilización de las aguas servidas. Recolección de aguas de lluvia.

-Reciclado de biomasa: para producción de energía en digestores; para compostaje.

-Atenuación de las condiciones climáticas entre el exterior y el interior mediante la generación de espacios de transición que generen un microclima tipo “colchón de aire” o “cámara exclusiva”.

-Acondicionamiento térmico en cubiertas mediante la colocación de sobretecho ventilado.

Antes de continuar, y asumiendo el riesgo de describir lo que podría ser obvio, recordamos que la aplicación de cada estrategia a adoptar requiere del análisis cuali-cuantitativo. Evaluar los usos, actividades y costumbres de los habitantes, determinar las características del sitio y clima, parámetros de habitabilidad higrotérmica, lumínica, acústica y de calidad del aire. Como así también, se debe evaluar la interrelación entre los valores de consumo energético (durante el ciclo de vida), el costo monetario total (inicial y mantenimiento), las emisiones contaminantes involucradas (en el ciclo de vida), y las condicionantes propias de la puesta en práctica.

Por motivos de extensión del presente artículo, nos limitamos a describir puntos principales hacia la sustentabilidad, en forma cualitativa, con un desarrollo cuantitativo sintetizado de mejoramiento de la eficiencia energética edilicia en la unidad de estudio; recuperando las investigaciones precedentes, en invitación a su posterior estudio pormenorizado.

### Propuesta de mejoramiento para Nivel B y A

A los fines de obtener las características de transmitancia térmica indicadas en la Norma IRAM 11605 (y exigidas en la mencionada Ley 13059) se recuerdan los valores teóricos máximos admisibles. Para nivel B: en condición de invierno,  $1.00 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para muros y  $0.83 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cubiertas. En condición de verano,  $1.25 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para muros y  $0.48 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cubiertas. Para nivel A: en condición de invierno,  $0.38 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para muros y  $0.32 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cubiertas. En condición de verano,  $0.50 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para muros y  $0.19 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$  para cubiertas.

Para alcanzar estos valores de transmitancia térmica Nivel B para la unidad edilicia analizada, se adicionaron 2cm de poliestireno expandido (EPS) en la cara exterior de los muros, más una terminación de revoque texturado plástico de 5mm. Y en la cubierta, se sustituyó el tradicional aislamiento de barro por 5cm de EPS. En la tabla 3 se exponen sus valores termo-energéticos.

**Tabla 3**

$G_{cal} = [(\sum K_m S_m + \sum K_v S_v + \sum K_r S_r + Per P_p) / Vol] + 0.35 n$				Nivel B de habitabilidad*	
Envolvente del edificio	Sup. [m <sup>2</sup> ]	K [W/m <sup>2</sup> °C]	Pérdidas [W/°C]	K adm. max.	Valor
Muro exterior 0.15m+EPS	36.9	1.078	39.78	1.00/1.25	Cumple (B)
Muro exterior 0.30m+EPS	37.72	0.944	35.61	1.00/1.25	Cumple (B)
Muro medianero (K x 0,5)	42.08	0.472	19.86	1.00/1.25	Cumple (B)
Cubierta+EPS	73.2	0.48	35.14	0.48/0.83	Cumple (B)
Ventanas	11.58	5.82	67.40		No cumple
Puertas	3.2	3.5	11.20		Cumple
Piso (perímetro x 1m)	26.9	1	26.90		
Pérdidas térmicas totales			235.88		
Coeficiente "G" [W/m <sup>3</sup> °C] calculado=			<b>1.50</b>	Muros y cubierta: Cumple	
$G_{adm} = 1.7 \text{ W/m}^3 \text{ °C}$			Valor admisible (< 1.7 W/m <sup>3</sup> °C)	Aberturas: No cumple	

Reevaluación de coeficiente "G" para Nivel B.  
Elaboración propia, según IRAM 11604 (2000)

Los valores máximos admisibles de transmitancia térmica requeridos para el Nivel A en los muros se obtuvieron mediante la colocación exterior de 8cm de poliestireno expandido (EPS), con una terminación de revoque texturado plástico de 5mm. En la cubierta, mediante la sustitución de las placas de barro por 16cm de EPS (debiendo agregar clavaderas, para aumentar la separación). En la tabla 4 se exponen sus valores termo-energéticos.

**Tabla 4**

$G_{cal} = [(\sum K_m S_m + \sum K_v S_v + \sum K_r S_r + Per P_p) / Vol] + 0.35 n$				Nivel B de habitabilidad*	
Envolvente del edificio	Sup. [m <sup>2</sup> ]	K [W/m <sup>2</sup> °C]	Pérdidas [W/°C]	K adm. max.	Valor
Muro exterior 0.15m+EPS	36.9	0.378	13.5	1.00/1.25	Cumple (A)
Muro exterior 0.30m+EPS	37.72	0.360	13.58	1.00/1.25	Cumple (A)
Muro medianero (K x 0,5)	42.08	0.18	7.57	1.00/1.25	Cumple (A)
Cubierta+EPS	73.2	0.191	13.98	0.48/0.83	Cumple (A)
Ventanas	11.58	5.82	67.40		No cumple
Puertas	3.2	3.5	11.20		Cumple
Piso (perímetro x 1m)	26.9	1	26.90		
Pérdidas térmicas totales			154.58		
Coeficiente "G" [W/m <sup>3</sup> °C] calculado=			<b>1.17</b>	Muros y cubierta: Cumple	
$G_{adm} = 1.7 \text{ W/m}^3 \text{ °C}$			Valor admisible (< 1.7 W/m <sup>3</sup> °C)	Aberturas: No cumple	

Reevaluación de coeficiente "G" para Nivel A.  
Elaboración propia, según IRAM 11604 (2000)

Con estas mejoras, se aseguran reducciones tanto en el consumo de energía auxiliar, como en sus emisiones. La tabla 5 expresa la comparación de la situación original y mejorada.

**Tabla 5**

	Original	Nivel B	Nivel A
Demanda de G.N. [m <sup>3</sup> ]	1356,86	824,15	540,38
Ahorro energético [%]	-	<b>39,26%</b>	<b>60,17%</b>
Emisiones de CO <sub>2</sub> [kg]	2688,37	1632,9	1070,66
Reducción [Kg]	-	1055,47	1617,71

Comparación de demanda energética anual y emisiones de CO<sub>2</sub>  
Elaboración propia



A partir de estos valores, para profundizar en el análisis, se deben proponer escenarios de rentabilidad que estimen el tiempo de retorno de la inversión realizada para aislar la vivienda (su amortización), incluyendo el costo inicial de inversión (materiales y ejecución), el costo operativo (consumo de energía auxiliar), valor de inflación, TIR. Recuperando conclusiones de investigaciones previas ([Rodríguez, 2017](#); [Fernández et. al. 2021](#)), y resaltando el costo actual de la energía más la inflación sostenida, se reconocen períodos de amortización nominal del orden de los 10 años; tiempos que se reducen en casos de suministro por gas envasado.

En términos generales, y basados tanto en el presente análisis como en el trabajo doctoral del primer autor ([Rodríguez, 2015](#)), se reconoce que el mejoramiento de la eficiencia energética en la edificación existente presenta beneficios para todos los actores involucrados. Aspecto trasladable a un mejoramiento urbano, considerando la importante representatividad cuantitativa de la tipología de vivienda compacta ([Viegas, 2010](#)). En su aplicación, se reconoce que las mejoras en las condiciones de confort higro-térmico son inmediatas. También las reducciones significativas en el costo operativo y la demanda energética, con su consecuente disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se adiciona la posibilidad de reducir la potencia instalada en equipos de climatización. Y la potencialidad de aplicar tecnologías de conservación energética de fácil ejecución, con costos de inversión inicial relativamente bajos y amortizables en períodos mediatos, brindando proyecciones altamente favorables para los usuarios y para el estado (pudiendo reducir o eliminar la importación de hidrocarburos en los períodos críticos), asegurando la calidad de habitabilidad, la salud edilicia y la reducción del costo de energía auxiliar y sus subsidios.

## Conclusiones

La unidad analizada en La Plata, y la tipología en sí, destaca en su compacidad un aspecto fundamental para la eficiencia tecnológico-energética. Por más que la baja resistencia térmica en su envolvente produce estados de desconfort y pérdidas energéticas. En cuanto a las ganancias de calor, su emplazamiento en tejido urbana (o peri-urbano) en orientación a medio rumbo dificulta enormemente el aprovechamiento del recurso solar, imposibilitando la captación directa en rumbo pleno norte para la adopción de mecanismos de ganancia solar (muros acumuladores de calor tipo Trombe, de aire, invernaderos). Por lo tanto, el acondicionamiento térmico se logra exclusivamente mediante el suministro de energía auxiliar (de gas y electricidad). Por su parte, las cubiertas son útiles para colocar sistemas de calentamiento de agua, o/y generación eléctrica solar o eólica. Otra cuestión a favor es la posibilidad de refrescamiento, por su desarrollo frente-fondo, mediante ventilación cruzada selectiva.

A modo de propuestas de mejoramiento eficientes y económicas, habiendo analizado las características sustanciales de la casa cajón, estudiadas en el marco de la arquitectura sustentable, y reconociendo que las estaciones críticas en La Plata (invierno y verano) no son extremas, se recomienda en primera instancia solo el aislamiento de la envolvente; incorporando EPS en espesores entre el Nivel B y el A: 3 cm en muros y 10 cm en cubierta. Este valor intermedio, denominado Nivel B2 ([San Juan et. al. 2010](#)), se debe a que el espesor de aislamiento que requiere alcanzar el nivel A genera un sobre costo y esfuerzo técnico excesivo, en relación al beneficio. Aspecto que nos invita a recordar que una respuesta sustentablemente adecuada (según el análisis sistémico de las diferentes variables que lo integran) no siempre es la máxima, sino la más coherente en términos globales.

En este sentido, también se reconocen como estrategias eficientes a adoptar: la ventilación natural o forzada. Y la colocación de una pérgola con hojas caducas entre la pared noreste y la medianera, para evitar la radiación excesiva en esas aberturas durante el verano y evitar el hecho de cerrar la persiana durante el día, perdiendo iluminación y visuales. Para una segunda fase, se recomienda el empleo de artefactos solares y el uso eficiente del agua.

## Pautas y estrategias proyectuales

A título general, en complemento para el desarrollo de abordajes eficientes y sustentables, se detallan aspectos de diseño, uso y ejecución a ser considerados en cada proyecto:

Previas al tablero de dibujo: pautas desde el sentido común

Participación activa de los actores sociales. Utilización de materiales contemplando su energía incorporada.

Utilización de materiales locales. Optimización del costo energético de construcción. Disminución del uso de

materiales producidos a partir de recursos naturales no renovables. Disminución del uso de materiales tóxicos o contaminantes del ambiente. Utilización de materiales de bajo costo de mantenimiento. Tratamiento y uso de los residuos generados por la construcción y demolición. Utilización de equipamiento de alta eficiencia.

Durante la etapa de proyecto: beneficios del recurso natural

Minimización en el uso del terreno natural. Orientación adecuada. Ahorro y reutilización de agua. Utilización de los residuos orgánicos. Aislación térmica de los edificios. Aprovechamiento de la energía solar. Acumulación térmica. Ventilación cruzada, selectiva. Aprovechamiento de las energías renovables.

Posteriores a la concreción del proyecto: reeducación

Reducir: el consumo, la generación de desechos, la demanda de recursos no renovables.

Reutilizar: adaptando estructuras y materiales existentes a nuevos usos.

Reciclar: recuperando la fracción útil de un material, que no puede ser reutilizado.

Recuperar: residuos y productos secundarios.

Revitalizar: barrios y ciudades.

Reflexiones finales

Desde el rol del arquitecto, debemos considerar un diseño sustentable mediante la optimización del recurso vigente y el uso eficiente de los recursos naturales y antrópicos: energía, agua, suelo, materiales, contemplando el ciclo de vida en cada construcción; brindando respuestas tecnológicas coherentes, precisas, elaboradas, adecuadas a su contexto natural y cultural.

En ello, se comprende que nuestro desafío desde aquí y ahora no se orienta solo a reducir consumos y emisiones, sino en la promoción, concientización y reeducación en vistas a lograr un equilibrio necesario para una vida más sustentable; donde se reconozca una relación armónica entre el medio ambiente y sus recursos, la sociedad y su economía. Este compromiso es impostergable y nuestra posición como profesionales y docentes nos lo demanda.

## Referencias bibliográficas

- Asamblea General de las Naciones Unidas (2015). Resolución, 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2030 *Agenda*. Organización de las Naciones Unidas, 2015.
- Bellucci, A. (1984) "Nacimiento, desarrollo y decadencia de las viviendas-cajón". En Waisman Marina, *Documentos para una historia de la arquitectura argentina*. Buenos Aires: Ediciones Summa.
- Brundtland, G. H. (1987) *Our common Future*. Oxford, Oxford University Press. Traducción en castellano: *Nuestro futuro común*, Madrid: Alianza Ed., 1988.
- Edwards, B. (2008). *Guía básica de la sostenibilidad*. Barcelona: Gustavo Gili. Segunda edición.
- Fernández, J.L.; Rodríguez, L.; Genovese, C. (2021) "Análisis y propuesta de mejoramiento energético, económico y de habitabilidad de la edificación educativa pública de la UNS". *Revista ARQUITECNO*, N 18. ITDAHu, FAU, UNNE. Resistencia: UNNE. Pp. 15-24.
- Filippín, C. (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. La Pampa: Amerindia.
- Girardín, O. (2009) "Economía y medio ambiente". Material de cátedra, seminario de la Maestría en Gestión de la Energía. UNLa y CNEA. CABA, 2009-2010.
- Jimenez Herrero, L. M. (1997) *Desarrollo sostenible y economía ecológica*. Madrid: Ed. Síntesis
- Lattuca, A. P. (2006). "Arquitectura sustentable. Una forma de diseño y construcción éticamente responsable". En *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. ASADES INENCO, vol. 10.
- Meadows, D.H. y D.L. (1991). "Beyond the Limits". Informe 1991, traducción en castellano: *Más allá de los límites*, Madrid: El País & Aguilar, 1992.
- Naredo Pérez, J.M. (2004) "Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible". *Cuadernos de investigación urbanística*, N° 41. DUyOT, ETSA, Univ. Politécnica de Madrid. Pp. 7-18.
- Rodríguez, L. (2017). "Eficiencia energética edilicia: aportes de evaluación, aplicación y reflexión desde la vivienda a la ciudad". Primer premio categoría Difusión, en Premio Bianual a la Investigación Patrocinada, CAPBA 2017. Buenos Aires.
- Rodríguez, L. (2016) "El recurso energético en los edificios: orientación, ventilación y aislación". Material de estudio, curso de formación, CAPBA 1. La Plata, abril y octubre 2016.
- Rodríguez, L. (2015). *Instrumentación metodológica para el reciclado masivo de la edilicia residencial orientada a la eficiencia energética*. Tesis de Doctorado en Ciencias- Área E.R., F.C.E., UNSa.
- Rodríguez, L.; Díscoli, C.; Martini, I. (2017). *Criterios y métodos para el reciclado edilicio con eficiencia energética*. La Plata: Servicop.
- San Juan, G (2013). *Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico*. La Plata: edulp.
- San Juan, G.; Discoli, C.; Viegas, G.; Ferreyro, C.; Rodríguez, L. (2010). "Proyecto de viviendas bioclimáticas de interés social. Tapalqué, Provincia de Buenos Aires". En *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 14. Salta: ASADES INENCO. Pp. 05.81-88.
- Viegas, G. (2010). *Evaluación del potencial energético e intervenciones de mejoramiento del entorno en áreas urbanas de media y baja consolidación. La ciudad de La Plata como caso de estudio*. Tesis de Doctorado en Ciencias- Área Energías Renovables, F.C.E., UNSa.