

# SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA VS. ETIQUETADO DE VIVIENDA NACIONAL. ANÁLISIS CRÍTICO DE METODOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS

# HYGROTHERMAL SIMULATION VS. NATIONAL HOUSING LABELING. CRITICAL ANALYSIS OF METHODOLOGIES AND TOOLS

## Halimi Sulaiman

Investigadora Adjunta CONICET. Responsable del Área de Diseño Bioclimático de Tecnologías Constructivas del Centro Experimental de la Vivienda Económica. AVE-CONICET  
<https://orcid.org/0000-0002-8410-6181>  
[drahsulaiman@gmail.com](mailto:drahsulaiman@gmail.com)

## Lautaro Martín Oga Martínez

Becario doctoral del Área de Diseño Bioclimático del Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE)  
<https://orcid.org/0000-0002-8951-6649>  
[lautaro.ogamartinez@gmail.com](mailto:lautaro.ogamartinez@gmail.com)

## Resumen

Los edificios en su conjunto son responsables del 36% del consumo mundial de energía y más del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente por climatización. Esto ha impulsado a numerosos países e instituciones a implementar certificaciones de eficiencia energética y sustentabilidad como el etiquetado de eficiencia energética. El presente trabajo realiza un análisis crítico de algunos resultados obtenidos junto a las ventajas y desventajas que tiene el uso del Etiquetado de Viviendas Nacional (EVN) con respecto al que viene implementando el Área Diseño Bioclimático (ADB) de Tecnologías Constructivas Sustentables del Centro Experimental de la Vivienda Económica. Para ello, se evaluó con ambas metodologías un departamento de un proyecto propio de vivienda multifamiliar realizado en año 2020 para la Municipalidad de Río Cuarto, Córdoba localizada en una zona de clima templado cálido. Se discuten las similitudes, resultados, el grado de precisión de datos de entrada y salida, la practicidad de implementación, la factibilidad de evaluar otros sistemas constructivos y análisis de posibles mejoras. Uno de los principales resultados es el 70% en la diferencia de requerimientos por climatización calculados con ADB vs ENV, siendo 63 y 19 KWh/m<sup>2</sup>/año respectivamente.

**Palabras clave:** Simulación higrotérmica, etiquetado de vivienda, Diseño bioclimático.

## Abstract

*Buildings are responsible for 36% of the global energy demand and more than 30% of the greenhouse gasses principally owing to cooling and heating. This has inspired many countries and institutions to implement certifications of energy efficiency and sustainability like energy efficiency labeling. The present work does a critical analysis of some results obtained besides the advantages and disadvantages of the use of National Housing Labeling (EVN) in relation to the implemented by the Bioclimatic design area (ADB) of Sustainable technologies constructions of the Experimental Center for Affordable Housing. To achieve this an apartment of an own project apartment complex housing made in 2020 for the city council of Río Cuarto, Córdoba was evaluated with both methodologies. This is located in a zone of Warm temper climate. The similarities, results, the precision of input and output data, practicality of implementation, feasibility of evaluating other construction systems and upgrade analysis are discussed. One of the principal results shows a 70% of difference in the requirements for cooling and heating with ADB vs EVN, being 63 and 19 KWh/m<sup>2</sup>/year respectively.*

**Keywords:** Energetic hygrothermal simulation, Housing labeling, Bioclimatic design.

Fecha recepción: 30 de agosto de 2023

Fecha aceptación: 04 de diciembre de 2023

## Introducción

El consumo energético se incrementa año a año generando una gran presión sobre todo el sistema, siendo los países emergentes donde la situación es más crítica. Los edificios en su conjunto son responsables aproximadamente del 36% del consumo mundial de energía y más del 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero principalmente por climatización (Gil, 2021). Esto ha impulsado a numerosos países e instituciones a implementar certificaciones de eficiencia energética y sustentabilidad. A pesar de los esfuerzos, Argentina aún no logra aplicar una certificación nacional, existiendo casos de éxito en algunas ciudades. Los bajos costos energéticos durante décadas sumados a un mercado inmobiliario altamente especulativo, propiciaron construcciones de muy baja eficiencia. Hoy el Etiquetado de Viviendas Nacional, (EVN) está en etapa de certificación piloto (1.357 viviendas) para determinar el índice de prestaciones energéticas (IPE) en cada provincia del territorio. Es importante resaltar que el IPE calcula la energía primaria independientemente del posible consumo que realice el usuario. Para ello, se establecen parámetros de temperatura interior predeterminados, se aplican coeficientes de corrección según el tipo de vector energético y corrección por el factor de utilización (Stagnitta, 2020).

En general las certificaciones se basan en diferentes cálculos estacionarios y/o cuasi estacionarios posibilitando un uso masivo por parte de los profesionales actuantes. El objetivo de las mismas es la comparación entre un caso base o de referencia y su versión mejorada. Por otra parte, existen numerosas herramientas de simulaciones dinámicas cronológicas con resolución horaria que evalúan con mayor precisión el comportamiento energético de los edificios en sus distintas fases de vida. El Área de Diseño Bioclimático (ADB) emplea varias de estas herramientas cuali-cuantitativas en simultáneo (Sulaiman et al., 2017; Sulaiman et al., 2019; Sulaiman et al., 2020), donde se conjuga la evaluación de sustentabilidad del sitio con la simulación higrótérmica energética en etapas tempranas de diseño y se realizan análisis de costos de inversión y los periodos de recuperó. En base a esto, el presente trabajo plantea como objetivo comparar estas dos metodologías de diseño térmico energético en cuanto a los resultados obtenidos junto a las ventajas y desventajas, el grado de precisión de datos de entrada y salida requeridos, practicidad de implementación, factibilidad de evaluar otros sistemas constructivos y análisis de posibles mejoras.

En el marco del proyecto *Modelo de Gestión para la Producción Regional de Componentes Constructivos para Mejoras Habitacionales a Partir del Reciclado de Residuos Sólidos Urbanos*. Financiación: PUE (Proyecto de Unidad Ejecutora) CONICET 2019-2013. Directora: Rosana Gaggino, en 2019-20 se realizó un proyecto propio de un edificio multifamiliar en la ciudad de Río Cuarto, originalmente diseñado con mampuesto de PET (Gaggino et al., 2010), el cual se comparó con el ladrillo de hormigón celular curado en autoclave (HCCA) y ladrillo cerámico hueco mediante simulación (Sulaiman et al., 2020). En 2019 se publicó el Manual de la Vivienda Sustentable (MVS), documento nacional que reúne las normativas vigentes nacionales y permite la evaluación de proyectos de barrios y complejos de vivienda realizados con fondos del estado. Aspectos como la selección del sitio, el uso del agua, la energía, el diseño eficiente energéticamente, la implementación de equipamiento etiquetado, plan de ejecución de obra, incorporación de energías renovables y huertas urbanas. Cabe destacar que la implementación de este documento no se ha concretado oficialmente aún. La figura 3 muestra una planilla tipo del MVS. se integran a ésta, resultados de confort interior y requerimientos energéticos obtenidos por simulación con el software ECOTECH (Gutierrez, 2010). Se analizó un departamento de dicho proyecto con envolvente de HCCA, debido a que el mampuesto de PET no está disponible en la biblioteca del software de EVN. Además, cabe destacar que el proyecto se ha diseñado considerando pautas bioclimáticas (Heywood, 2015) buscando un equilibrio de confort y eficiencia energética global del edificio y no por unidad de vivienda. Se expone el esquema metodológico del diseño del proyecto, las características del lugar, desarrollo del proyecto y análisis de resultados, síntesis del análisis comparativo y conclusiones finales.

## Metodología

La metodología consiste en evaluar un mismo proyecto arquitectónico diseñado desde una perspectiva de sustentabilidad incorporando estrategias bioclimáticas específicas para la localidad utilizando herramientas de simulación en sus etapas tempranas de diseño. Paralelamente se realiza el modelado y la evaluación de una de las unidades de departamento del edificio diseñado con la herramienta EVN. Finalmente se realiza una comparación de las ventajas y desventajas en la implementación de dichas metodologías. Estas últimas se visualizan en la figura 1. ADB plantea filtrar el programa de necesidades y la situación urbana con el MVS al inicio del diseño y, desde etapas muy tempranas, se simula el edificio higrotérmica - energéticamente, en este caso con ECOTECH, realizando numerosas iteraciones sin llegar a utilizar un método formal de optimización. Esto consiste en la elección del mejor elemento de un conjunto de alternativas disponibles (Taha, H. 2021). El EVN evalúa sólo térmicamente el caso base de una vivienda definiendo sus características de envolventes y volumétricas al igual que su equipamiento calculando el IPE, para luego proponer mejoras. Se compara el caso mejorado con el resultado de ADB. Cabe destacar que los datos climáticos en EVN son estacionarios de la media mensual de temperatura y radiación solar, mientras que mediante simulación se utiliza el año típico meteorológico (TMY) basado en 10 años de mediciones con base horaria de todas las variables incluso humedad relativa (HR), otorgando mayor precisión en los resultados. Por su parte, ECOTECH (2011), utiliza el método de admitancias en la simulación higrotérmica que se basa en la resolución de la ecuación de difusión del calor en sólidos cuando está sometido a condiciones de contorno del tipo senoidal de frecuencia conocida como es aproximadamente la temperatura ambiente (Hernández, 2001). Para comparar los resultados entre ambas metodologías se optó por convertir el requerimiento de energía secundaria de calefacción y refrigeración ( $\text{Kwh/m}^2$  año) determinado por ADB a energía primaria por medio de la ecuación (1) aplicada para el vector de energía eléctrica (Stagnitta, 2020) utilizada en EVN.

$$E_p = E_s/0.3 \quad (1)$$

$E_p$ : Energía primaria.

$E_s$ : Energía secundaria.

0.3: Coeficiente de corrección (pérdida) para el vector energético de electricidad.

Finalmente, en la comparación se discuten las similitudes, resultados, el grado de precisión de datos de entrada y salida, practicidad de implementación, factibilidad de evaluar otros sistemas constructivos y análisis de posibles mejoras. Estos resultados se detallan por variable analizada y se sintetizan en una tabla comparativa.

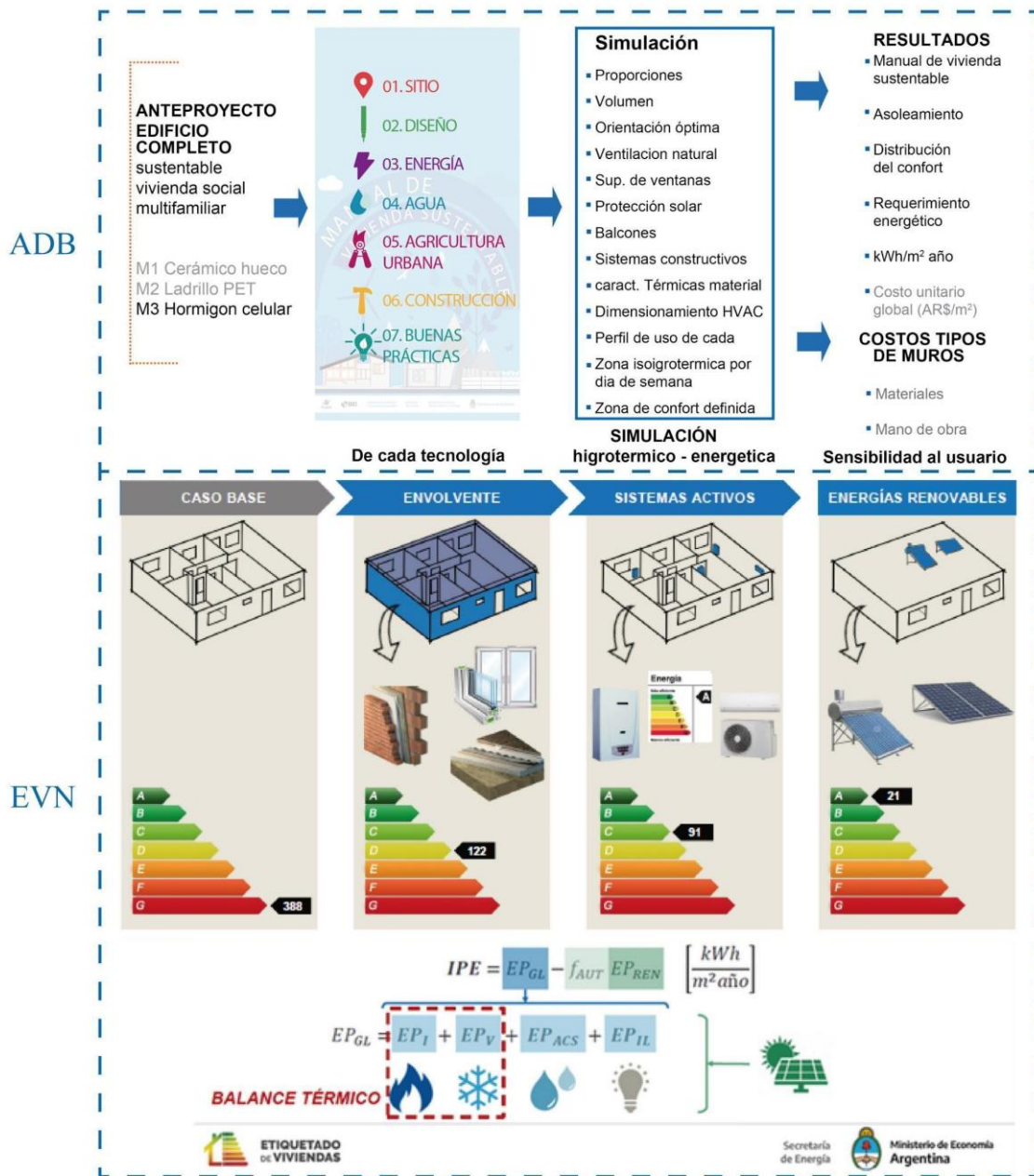
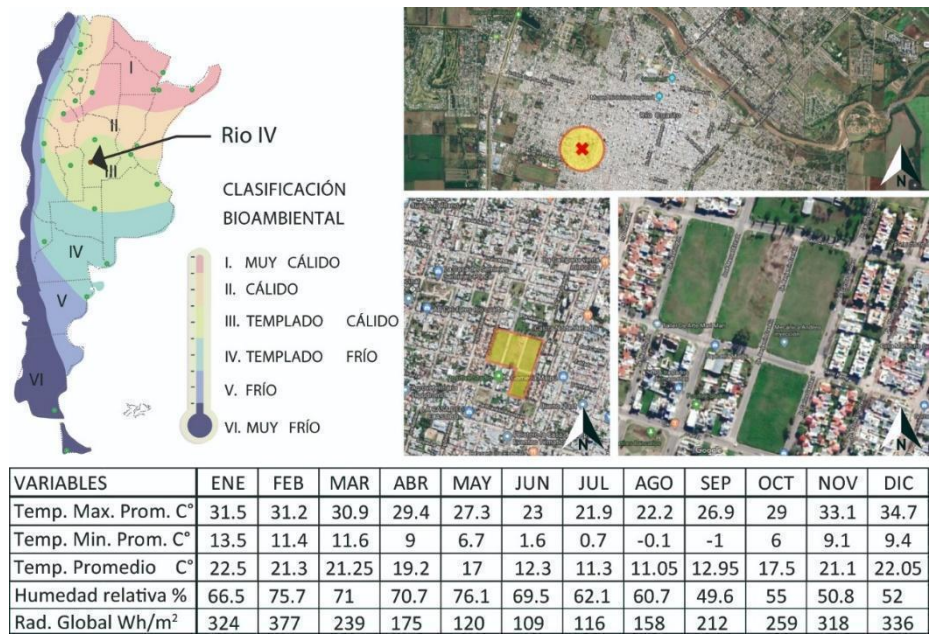


Figura 1. Metodologías de diseño comparadas ADB superior, EVN inferior. Fuente: Elaboración Propia.

**Caracterización del lugar**



**Figura 2.** Ubicación de Río Cuarto. Sitio elegido en Foto satelital de la ciudad extraída de Google maps. Temperaturas mensuales del TMY de Dury, 2017, para la simulación. **Fuente:** Elaboración Propia.

El anteproyecto arquitectónico se desarrolló en la Ciudad de Río Cuarto por la factibilidad de realizar una nueva transferencia al gobierno local (Gaggino et al., 2017). También porque la ciudad es el polo principal de la zona sur de la provincia de Córdoba, de la cual orbitan numerosas localidades en cuanto a servicios, infraestructura y actividad productiva comercial. El déficit habitacional urgente supera los 4.000 hogares (Télam, 2018). Por último, se efectuaron transferencias previas donde se realizaron capacitaciones y construcción de viviendas con diferentes sistemas constructivos desarrollados en el CEVE (1999 - 2022). Río Cuarto se encuentra 33°07'23"S 64°20'52"O y a una altitud de 452 m.s.n.m. (ver figura 2). La ciudad es atravesada por el río homónimo y es notablemente vulnerable ante una inundación pluvial repentina en la época de lluvia, tanto en la zona céntrica como en sus alrededores. Se muestra la ubicación de la ciudad en el mapa bioambiental y fotos satelitales del sitio seleccionado en función de los criterios del MVS. Los 4 terrenos son los elegidos para el complejo de viviendas con servicios de estacionamientos, espacio público, y huertas urbanas. Cabe destacar que hacia el norte se encuentra un parque con instalaciones de club barrial, favoreciendo la accesibilidad a servicios deportivos y culturales al proyecto. En cuanto al clima, pertenece a la zona bioclimática IIIa, templada cálida con una importante amplitud térmica (figura 2). Los vientos predominantes (<300 h/año) son del Norte con velocidades promedios de entre 10 y 20 Km/h.

**Desarrollo del proyecto y análisis de resultados**

El MVS Manual de la Vivienda Sustentable es una herramienta de información de buenas prácticas urbanísticas que permite evaluar el grado de sustentabilidad de los distintos proyectos de vivienda cuali-cuantitativamente. Cabe destacar que hasta el momento sería obligatorio para las futuras viviendas hechas con fondos del estado, con posibilidad de adhesión por parte de las provincias y municipios. La ADB incorpora 7 aspectos a tener en cuenta (ver figura 1). Ejemplos de ítems no considerados serían la participación del usuario en el diseño del barrio o la incorporación de un plan ambiental en los pliegos de licitación. Todos los demás aspectos han sido considerados en la evaluación como la huerta urbana, previendo el espacio en la implantación del terreno. Incluso se considera espacio para estacionamiento de vehículos y bicicletas sectorizados, algo que no se prevé en la evaluación del



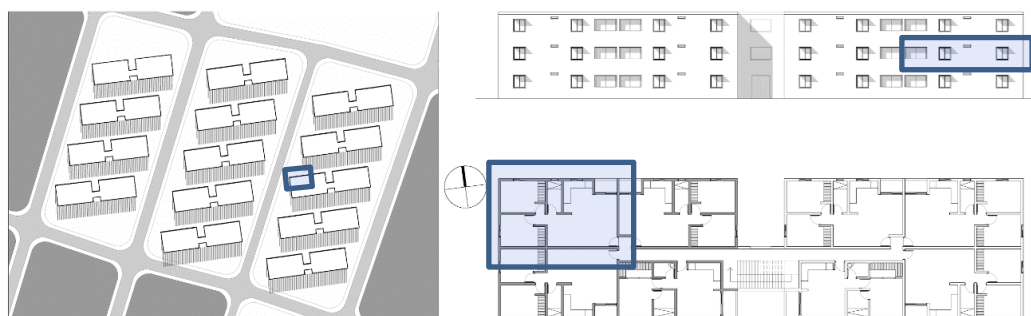
MVS. Hasta el momento todos los proyectos de vivienda social construidos y en ejecución no han sido evaluados por éste como requisito.

01 SITIO		02 DISEÑO		SEMAFORO		
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO		2.1 DISEÑO INTEGRAL				
CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO	INUNDABILIDAD	Riesgo hídrico	Sin riesgo	2.1.1 EQUIPO DE PROYECTO INTERDISCIPLINARIO	1. Arquitecto / Ingeniero Projectista	Cumple con 1, 2 y 3
		Riesgo medio			2. Especialista en Sustentabilidad	Cumple con 1 y 2
		Por debajo de cota de inundabilidad			3. Especialista en gestión de obra	Cumple con 1
	Riesgo pluvial	Sin riesgo	2.1.2 PARTICIPACIÓN DEL USUARIO	Participación activa		
		Riesgo medio		Participación consultiva		
		Riesgo alto		No hubo participación		

**Figura 3.** Ejemplo de las tablas de evaluación (Fuente: Manual de la Vivienda Sustentable). **Fuente:** Elaboración Propia.

*Ítems considerados en Sitio:* Un aspecto fundamental que incorpora por primera vez como obligatorio en la Argentina el MVS es la puntuación en aspectos de selección del sitio, en función de la integración en la trama urbana, infraestructuras como redes de agua, luz, cloacas, electricidad, etc., servicios como transporte, educación, deporte, cultura, salud, etc. Estos representan 36 de los 61 aspectos a evaluar e incrementan sustancialmente el puntaje de cualquier proyecto. La evaluación de este apartado tendría un impacto muy favorable en cuanto a completar la trama urbana y disminuir la extensión futura de las ciudades, evitando la elección de terrenos alejados sin servicios, los cuales deben ser provistos por el estado aumentando los costos y la falta de sustentabilidad de modo sustancial.

Los terrenos seleccionados se encuentran integrados a la trama urbana con accesibilidad de transporte y servicios. Son relativamente altos, alineados, de entre 124/133 m de largo en el eje norte-sur y 51/55 m de ancho en eje este-oeste. Se decidió utilizar los 3 terrenos contiguos para ubicar los edificios de viviendas con sus respectivos estacionamientos y huertas (ver figura 4). Mientras que en el terreno sur se prevén los espacios de los servicios. En cuanto a la orientación de implantación se tomó en cuenta la recomendada por el software de simulación ECOTECH (-8° respecto al norte) desestimando la orientación puramente norte/sur, ya que la mitad de las viviendas no podrían recibir sol directo con la consecuente desigualdad en el aumento de requerimiento energético.



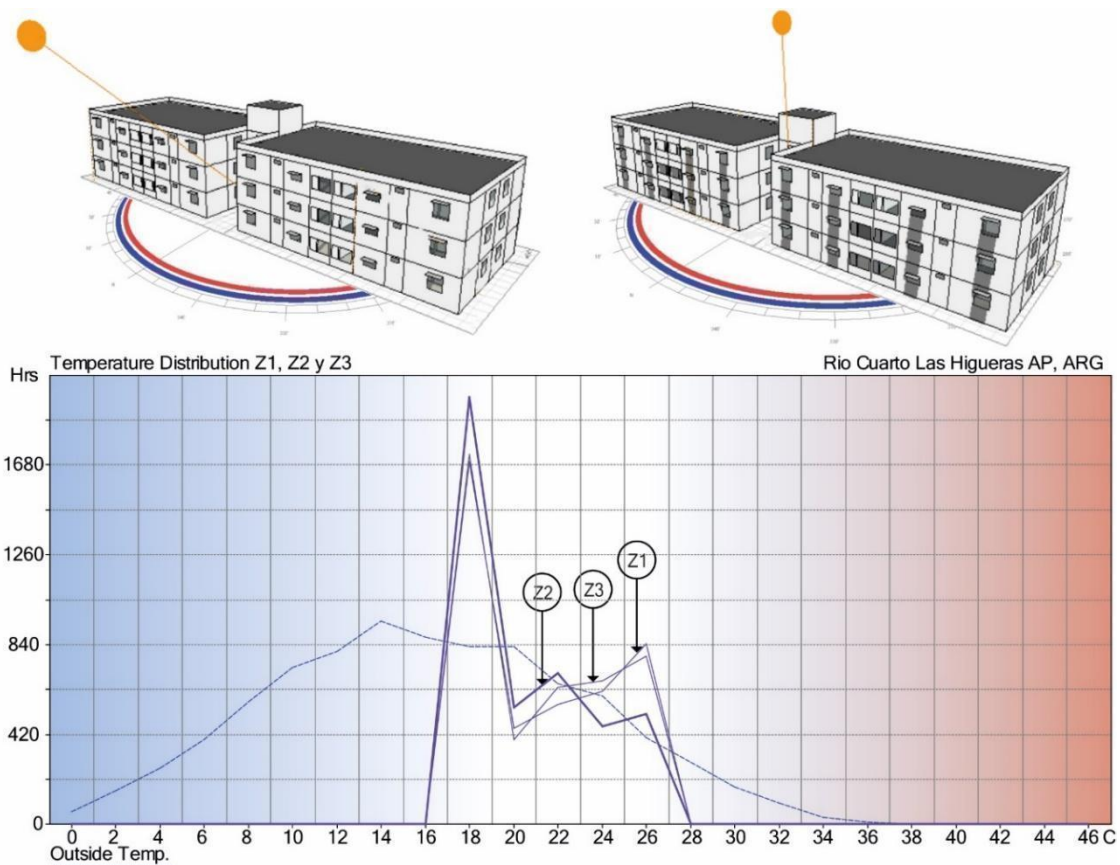
**Figura 4.** Implantación en el terreno, planta tipo y vista del edificio. Unidad seleccionada 1B. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Diseño Bioclimático y sustentable:* La configuración en el sitio evita el sombreado por edificios aledaños sumado al uso recomendado de densidad habitacional. La configuración en el sitio se diseñó según la densidad habitacional recomendada por el código de edificación (Municipalidad de Río Cuarto, 2008) y evitando el sombreado por

edificios aledaños. El edificio se organiza en dos alas de 4 departamentos cada una, unidas por una circulación central (figura 4). Los niveles son PB, 1P, 2P, planta baja, primer y segundo piso respectivamente. La orientación es la descrita en sitio. Todos los ambientes principales tienen iluminación y ventilación natural directa. Otras pautas bioclimáticas consideradas son la compacidad, tamaño de aberturas, patios de ventilación e iluminación natural, balcones protegidos, aleros en ventanas para evitar sobrecalentamiento estival y permitir la ganancia solar directa invernal y marquesina superior de 0,50m de alto que sombrea parcialmente la cubierta (aislada) evitando el sol del oeste en verano. Los departamentos 1, 2 y 3 de 60,40 m<sup>2</sup> están compuestos por estar comedor y dos dormitorios, considerando una familia de 4 integrantes. El departamento seleccionado (ver figura 4) es de 48,25 m<sup>2</sup>, un dormitorio y estar-comedor para dos personas. La altura interior es de 2,60 m respecto al mínimo permitido de 2,40 m, mejorando la calidad proporcional de los ambientes.

Las dimensiones en planta son las permitidas y algunas mayores al mínimo de vivienda social. También se diseñó un único núcleo húmedo (cocina/baño) en todos los departamentos, procurando un uso racional de los recursos. Se ha maximizado la compacidad, ventilación natural, la superficie útil vs. pasillo/circulación, concentración de instalaciones para un uso eficiente de agua, energía y materiales. En cuanto a la materialidad, todos los muros son de HCCA y la estructura es independiente. A su vez, el MVS prevé puntos por cumplir con el Nivel B de transmitancia térmica de la Norma IRAM 11605 (1996) y otros por utilizar materiales de construcción con materiales reciclados. Se eligió un color claro y es recomendable un plan de mantenimiento del mismo en el exterior de los edificios.

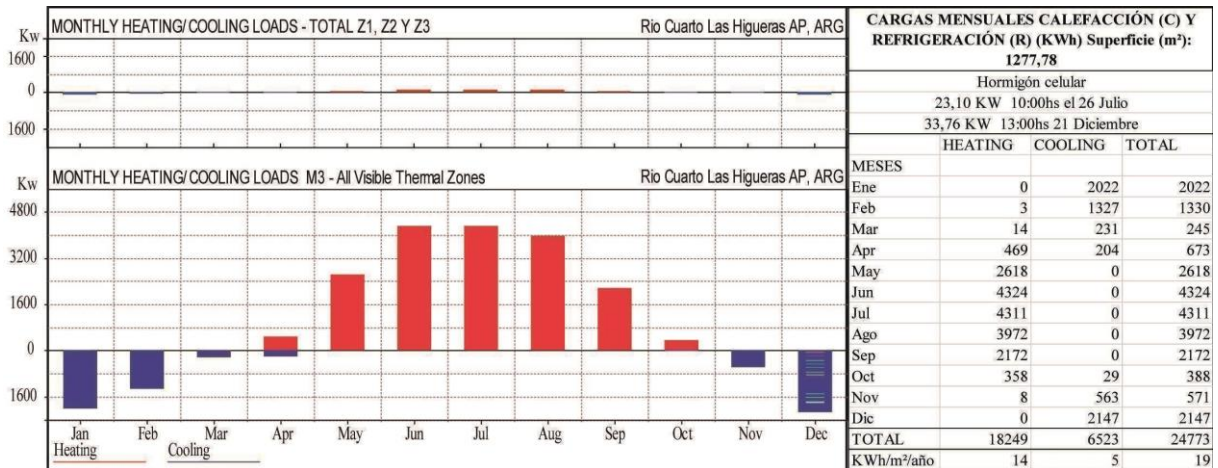
*Se determinaron las siguientes premisas de Simulación:* En este apartado es donde mayor intervención se pudo realizar incluso incorporando la simulación numérica temprana, aspecto no requerido en las normativas vigentes tanto argentinas, como internacionales. El edificio completo se ha simulado detalladamente con el software ECOTECH en sus dos alas con 24 departamentos de 3 zonas isohigrotérmicas cada uno (ver Zona 1,2 y 3 en figura 4) evaluando en detalle los resultados térmico-energéticos de cada unidad habitacional. A su vez, el diseño del edificio ha presentado modificaciones en base a iteraciones en la simulación sin llegar a utilizar un método formal de optimización. Si bien no es exigido que se mantengan condiciones de confort higrotérmico interior, se estableció un rango de 19°C a 26°C y entre 30 - 60% de HR, según las recomendaciones de las normas vigentes argentinas. En las 66 zonas isohigrotérmicas simuladas se estableció que los usuarios son conscientes en cuanto al uso del edificio. Debido a que los habitantes de este tipo de viviendas procuran un ahorro energético para evitar sobrecostos que normalmente tienen subsidio hasta un cierto margen de consumo mensual. Por un lado, en el momento que el clima lo permita, se utiliza ventilación e iluminación natural al igual que ganancia solar directa y, por otro lado, los ambientes que no se utilizan en un determinado periodo del día, como los dormitorios, se mantienen cerrados y sin climatizar. Ello se suma a equipos de climatización eficientes como lo recomienda el MVS. Es decir que se considera un proyecto que presenta numerosas mejoras respecto de las viviendas multifamiliares existentes y/o en proceso de construcción. Se decidió simular el encendido de los equipos de esta manera para obtener resultados más cercanos a la realidad en contraposición de la situación hipotética de mantener el 100% del tiempo en confort. La figura 5 muestra el asoleamiento invernal y estival del edificio simulado donde se observa la sombra arrojada en aberturas y balcones a mediodía en verano, el ingreso de sol en invierno y la distribución de temperaturas interiores en las 3 zonas isohigrotérmicas del departamento evaluado. La zona 1 corresponde al dormitorio noroeste, zona 2 dormitorio suroeste y zona 3 estar-comedor con baño. Esta gráfica destaca que todos los ambientes se encuentran dentro del confort en temperaturas intermedias y cálidas, mientras que se requiere principalmente calefacción para el invierno. A continuación, se detallan los aspectos energéticos.



**Figura 5.** Asoleamiento a las 12:30 pm. Verano (derecha), invierno (izquierda). Distribución de temperaturas interiores de todos los ambientes de las 8760 h simuladas con ECOTECHT. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Energía:* El MVS valora positivamente la incorporación de equipos de aprovechamiento de energías renovables. Si bien este aspecto es relevante, para lograr la sustentabilidad, es fundamental lograr proyectos arquitectónicos que no requieran tanta energía. Si la carga térmica es menor, es más factible aún la incorporación de renovables. Por esto, se enfatiza la necesidad de incorporar en la evaluación un cálculo detallado o simulación para cuantificar dicha carga. En el proyecto no se han incorporado energías renovables, aunque es factible de instalar en la cubierta. La figura 6 muestra las cargas mensuales totales de calefacción y refrigeración simulados en Kilowatt (Kw) y la tabla indica los valores de cargas mensuales y totales del edificio del caso HCCA discriminando calefacción y refrigeración en KWh. Adicionalmente se calculó el valor unitario KWh/m<sup>2</sup>/año de requerimiento considerando la superficie útil, métrica utilizada para comparar diferentes eficiencias de edificios en condiciones muy disímiles y permite la comparación con el EVN del presente trabajo. *El resultado de requerimiento energético obtenido por la simulación es 19 KWh/m<sup>2</sup>/año de energía secundaria.* De energía primaria considerando el vector electricidad se obtiene 63 Kwh/m<sup>2</sup>/año de este modo se complementa el análisis de las condiciones de confort interiores con los requerimientos energéticos donde se destaca una buena performance.





**Figura 6.** Requerimientos energéticos mensuales totales y del departamento (KWh/m<sup>2</sup>/a) con ECOTECT. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Etiquetado de la unidad 1B.* A continuación, se presentan los resultados del uso de EVN junto a los planos y criterios del departamento evaluado (figura 7): a) Se ha considerado una sola zona térmica como recomendación EVN para este tipo de planta y superficie, a diferencia del modelo para simulación. Los ambientes climatizados son: Estar/comedor/cocina, Dormitorio 1 y 2, Baño y paso, b) El balcón se ha considerado como elementos opacos macizos que generan sombra en M7 y PV5, c) Los ambientes aledaños a la unidad son de dos tipos: los departamentos vecinos como ambientes climatizados y el pasillo como ambiente no climatizado con ventilación alta, d) Los muros de envolvente se han numerado en el sentido horario de 1 a 10 y las ventanas del mismo modo. A su vez, la altura es igual en todos los ambientes y la comunicación entre los mismos justifica esta definición de zona. La figura 7 muestra las dimensiones de los ambientes diferenciando los muros envolventes en azul y los muros interiores en rojo. Las ventanas son corredizas de vidrio simple y tienen postigo de chapa inyectada (ver figura 8). En cuanto a la materialidad se utilizaron resoluciones disponibles en la biblioteca de EVN en paredes, pisos y cubierta. Los muros exteriores son HCCA de 0,125 m con revoque en ambas caras de 0,015 m, entre piso interior losa de 0,12 m más carpeta y piso interior y techo de hormigón armado 0,10 m con cielo raso de yeso.



**Figura 7.** Zona térmica, Planta y vista parcial del edificio de la unidad evaluada. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Cálculo de requerimiento de ACS para enero y julio:* Según la planilla de superficies el volumen de agua es de 103 l considerando 60 m<sup>2</sup> de superficie. Para enero el requerimiento es de 37,10 KWh y para julio 89,04 KWh. Si bien se realizó este cálculo, el ingreso en el modelo sólo permite incorporar el tipo de vector energético y la capacidad del equipo.

*Características técnicas de la unidad de vivienda:* La figura 8 muestra las características técnicas de la unidad analizada y el Coeficiente global de intercambio térmico. Se destaca el valor bajo (0,23) del factor de intercambio térmico medio  $b_{Tf}$ . La relación superficie envolvente de 1,43 es relativamente buena debido a la compacidad de la unidad, aunque la altura interior de 2,60 m desmejora esta relación. De todos modos, en el diseño esta altura se adoptó para mejorar la percepción proporcional de los ambientes, en especial el espacio estar/comedor/cocina. Es factible disminuir esta altura a 2,40 m en los dormitorios y baño mejorando aún más la performance energética de la unidad. A su vez esta figura muestra el importante impacto que genera la ventilación cruzada en el coeficiente global de intercambio térmico especialmente en verano. La transmisión por envolvente es muy similar tanto en verano como invierno, manteniendo un valor bajo entre 60 y 61 W/K. Naturalmente no existe intercambio por el terreno ya que el departamento analizado es intermedio. Por ser esquina y tener ventanas en dos caras perpendiculares se ha considerado la *ventilación cruzada*, lo cual, sumado a una *exposición media* por la baja densidad del entorno y en un terreno alto para evitar inundaciones repentinas, la ventilación tiene un impacto significativo. Esto es beneficioso para evitar el alto consumo en refrigeración. No obstante, utilizando *carpintería de mejor calidad* es factible mejorar aún más ya que la falta de *hermeticidad* propia de las carpinterías de este tipo de viviendas permite una importante renovación de aire. En invierno la performance de la unidad es muy alta debido a la baja transmisión por la envolvente sumada a la baja transmisión por ventilación.

Superficie climatizada	49,43 m <sup>2</sup>	Transmitancia media (K <sub>m</sub> )	
Altura media del entrepiso	2,60 m	Paredes	0,86 W/m <sup>2</sup> K
Relación área de envolvente - volumen climatizado (S/V)	1,43 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Cubierta	-
Factor de intercambio térmico medio (b <sub>tr</sub> )	0,23	Piso	-
Capacidad térmica total (C)	3,89 KWh/K	Aberturas	3,83 W/m <sup>2</sup> K
<b>Invierno</b>		<b>Verano</b>	
Requerimiento de energía útil (E <sub>U;i</sub> )	662 KWh	Requerimiento de energía útil (E <sub>U;v</sub> )	338 KWh
Requerimiento de energía secundaria (E <sub>S;i</sub> )	184 KWh	Requerimiento de energía secundaria (E <sub>S;v</sub> )	106 KWh
Requerimiento de energía primaria (E <sub>P;i</sub> )	607 KWh	Requerimiento de energía primaria (E <sub>P;v</sub> )	349 KWh

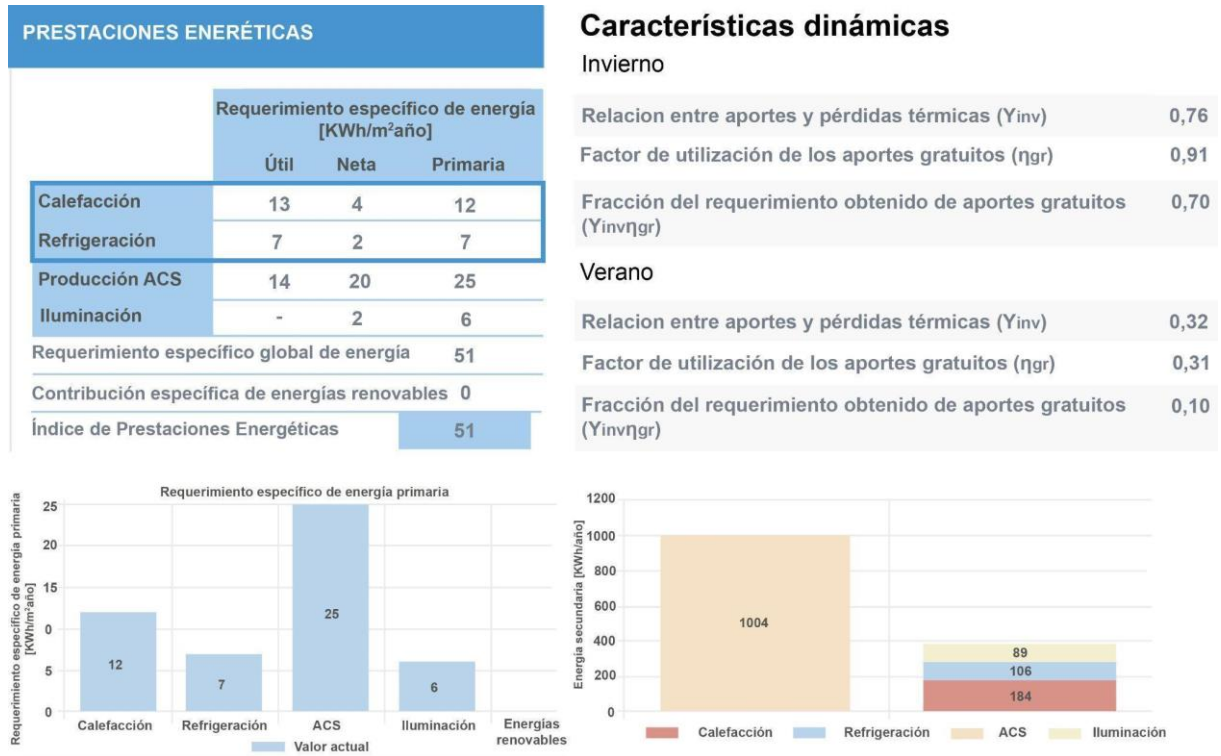


**Figura 8.** Características técnicas de la vivienda y Coeficiente global de intercambio térmico con EVN. **Fuente:** Elaboración Propia.

*Prestaciones térmicas:* Como se observa en la figura 9 los requerimientos energéticos son bajos para esta unidad de vivienda, siendo bien orientada, con aberturas reducidas, protecciones solares, alta calidad de envolvente y en piso intermedio. *El IPE global calculado es de 51.* Si bien no existe un valor de IPE de referencia para la provincia de Córdoba, éste es significativamente menor a los ya determinados en Rosario, Santa Fe y Salta con valores de 203, 239 y 320 respectivamente (Stagnitta, 2020). Dado que este índice contempla los requerimientos por ACS e iluminación, se compara sólo los resultados obtenidos en climatización anuales por m<sup>2</sup> en base a figura 9 superior izquierda. Desde la energía primaria considerando el vector de electricidad para calefacción y refrigeración el valor obtenido con EVN es 19 KWh/m<sup>2</sup> año, es decir, *un 70% menor al calculado con la simulación* (ver figura 6). Esta diferencia es significativa, evidenciando una subestimación del requerimiento de E<sub>p</sub> esperado por parte de EVN en comparación con simulación. Analizando las características dinámicas del cálculo en figura 9 se observa que se utilizan correctamente los aportes en invierno, mientras que se podrían disminuir las ganancias en verano ya que la relación entre aporte y dispersiones térmicas es muy baja y el factor de utilización es solo 0,31. Es posible que la capacidad instalada se encuentre sobre o sub-dimensionada por las hipótesis simplificadas propias del modelo de cálculo de EVN. Hay que tener en cuenta que, 1 zona térmica vs. 3 zonas, parámetros de un solo punto térmico constante versus parámetros distribuidos propio de la simulación pueden influir en los resultados. Es factible de realizar mediante simulación un análisis de sensibilidad de capacidad instalada de calefacción y refrigeración y mejorar la performance de ACS, cambiando el equipo.

*Requerimiento de Energía Primaria:* La figura 9 evidencia la factibilidad de la instalación de colectores solares para solucionar el gasto de gas por ACS. Mejora que se podría calcular en cuanto al periodo de recupero de la inversión de la instalación solar térmica para todo el edificio. El impacto de este requerimiento de ACS duplica el de calefacción y triplica el de refrigeración. Por su parte, la iluminación led implica un requerimiento aceptable para una unidad de estas características. En caso de incorporar estas mejoras el IPE sería aún menor, logrando una

eficiencia significativa. Dado que los equipos de climatización e iluminación de la unidad analizada son eléctricos y de alta eficiencia (dato de entrada en simulación 95% de eficiencia), la energía secundaria utilizada, tanto en calefacción, como en refrigeración e iluminación, en total es considerablemente menor a la utilizada para la producción de ACS. Es probable que esta instalación se encuentre sobredimensionada porque el cálculo cuasi estacionario requerido para su dimensionamiento en el EVN no sería tan preciso como la simulación con un patrón de uso dinámico anual horario estimado. Naturalmente existe la factibilidad de incorporar colectores solares para disminuir los 1.004 KWh/año, calculados por el EVN.



**ZONA TÉRMICA PRINCIPAL**

Superficie Climatizada	49,4 m <sup>2</sup>	Transmitancia media (K <sub>m</sub> )	
Altura media del entrepiso	2,6 m	Paredes	0,86 W/m <sup>2</sup> K
Relación área de envolvente - volumen climatizado	1,43 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Cubierta	-
Factor de intercambio térmico medio (b <sub>tr</sub> )	0,23	Piso	-
Capacidad térmica total (C)	3,89 kwh/K	Aberturas	3,83 W/m <sup>2</sup> K
<b>Invierno</b>		<b>Verano</b>	
Requerimiento de energía útil (E <sub>U;i</sub> )	662 KWh	Requerimiento de energía útil (H <sub>ver</sub> )	338 KWh
Requerimiento de energía secundaria (E <sub>S;i</sub> )	184 KWh	Requerimiento de energía secundaria (E <sub>S;v</sub> )	106 KWh
Requerimiento de energía primaria (E <sub>P;i</sub> )	607 KWh	Requerimiento de energía primaria (E <sub>P;v</sub> )	349 KWh
Coeficiente global de intercambio térmico (H <sub>inv</sub> )	77K W/K	Coeficiente global de intercambio térmico (H <sub>ver</sub> )	276 W/K
Coeficiente global de intercambio térmico específico (H <sub>inv</sub> /Au)	1,56 W/m <sup>2</sup> K	Coeficiente global de intercambio térmico específico (H <sub>ver</sub> /Au)	5,59 W/m <sup>2</sup> K
Constante de tiempo (t <sub>inv</sub> )	50,6 h	Constante de tiempo (t <sub>ver</sub> )	14,2 h
Capacidad de calefacción requerida	1,51 kW	Capacidad de refrigeración requerida	1,42 kW
Capacidad de calefacción instalada	3,49 kW	Capacidad de refrigeración instalada	3,49 kW
Rendimiento equivalente de calefacción (η <sup>C</sup> )	3,6 kW	Rendimiento equivalente de refrigeración (η <sup>r</sup> )	3,2 kW
Factor de conversión a energía primaria (f <sub>P;C</sub> )	3,3	Factor de conversión a energía primaria (f <sub>P;T</sub> )	3,3

**Tabla 1.** Detalles de resultados totales de la unidad evaluada con EVN **Fuente:** Elaboración Propia.

**Síntesis del análisis comparativo**

A continuación, se exponen los puntos principales de la comparación entre metodologías expresadas sintéticamente en la tabla 2:

*Similitudes:* Ambas son accesibles por los usuarios, pero tienen sus limitaciones. EVN es de libre acceso salvo para obtener la etiqueta, ya que esto requiere de certificador formado y autorizado mientras que ECOTECT no requiere licencia, pero fue discontinuado en 2011. Paulatinamente ha sido reemplazado por otros motores de cálculo dinámico libre como Energy Plus, pero éste requiere de profesionales altamente formados para su utilización, a diferencia de ECOTECT que es más accesible para realizar simulaciones higrotérmico energéticas gracias a su interfaz gráfica de usuarios principiantes. Ambos, EVN y ECOTECT, poseen una representación gráfica de los resultados que facilita la interpretación y por tanto la toma de decisiones de diseño y mejoras por parte de los profesionales usuarios. También incorporan en el cálculo la incidencia de las sombras provenientes de protecciones solares como aleros y el entorno.

*Grado de precisión de datos de entrada y salida:* La ADB complementa el análisis cualitativo del MVS con simulación dinámica desde el inicio, permitiendo valorar cuantitativamente el requerimiento higrotérmico energético, mientras que EVN no contempla una valoración de las condiciones urbanas del entorno. Por otra parte, ciertos datos de entrada en la simulación, como el clima (TMY horario de todas las variables climáticas) y el patrón de uso horario modelado detalladamente utilizado por ADB, son más completos brindando mayor precisión en los resultados, también se toma en cuenta la HR, pero solo es visible en tabla de resultados. Por su lado, el EVN sólo utiliza valores medios de temperatura y radiación mensuales según IRAM 11900. En cuanto al tiempo invertido, la exactitud de los resultados con EVN son deficientes subestimando los requerimientos energéticos generales. Con respecto a la carga de datos, en construcciones complejas con numerosos muros u orientaciones cruzadas la carga de datos se extiende considerablemente, ya que cada elemento es individual en cuanto a características, orientación y adyacencias.

*Practicidad de implementación:* Si bien para la simulación higrotérmica con ECOTECT es necesario realizar un modelo 3D, esto agiliza posteriormente la asignación de materiales y propiedades a todos los elementos constructivos de iguales características. El EVN no permite el modelado 3D, requiriendo la tabulación individual de cada elemento vinculando aberturas y materialidad. Por consiguiente, existe menor margen de error en ADB



en la carga de datos ya que no requiere hacerlo por cada elemento constructivo. En cuanto al requerimiento de hardware, EVN es más fácil de implementar ya que se ejecuta en el navegador web en comparación con ADB que requiere un equipo de gran prestación para correr la simulación numérica. No obstante, EVN sólo modela una unidad habitacional por vez y tiene un número limitado de zonas térmicas para utilizar simultáneamente. Por otra parte, el software ECOTECH ofrece una recomendación óptima de orientación del edificio según el emplazamiento. EVN presenta la ventaja de considerar el requerimiento por ACS y renovables de modo sencillo.

*Factibilidad de evaluar otros sistemas constructivos:* Si bien el EVN se basa en la norma IRAM 11601 para las características de los materiales no permite utilizar sistemas constructivos que no se encuentren en su biblioteca, restringiendo el uso de tecnologías no convencionales como, por ejemplo, el ladrillo de PET que utilizan residuos en su composición y otros que actualmente poseen Certificación de Aptitud Técnica Nacional. En cambio, la simulación de ADB posibilita configurar las características de los materiales utilizados capa por capa y evaluar nuevos sistemas constructivos.

*Recomendaciones:* Se considera fundamental para determinar los IPE provinciales, realizar series de simulaciones paramétricas de los casos piloto, ya que los resultados pueden ser de gran utilidad para definir parámetros de referencia en la etapa de construcción de este índice. Además, se recomienda ampliar la biblioteca del EVN o bien permitir la incorporación de sistemas constructivos no convencionales por parte del certificador y así propiciar el uso de nuevas tecnologías sustentables. Por su parte el MVS, si bien puede ser mejorado incorporando otros ítems de evaluación como el espacio de estacionamiento en proyectos de barrio o edificios multifamiliares, es factible de ser complementado con el EVN para el resultado final, aunque requiere de una correcta integración similar a lo desarrollado por LEED (2022).

Características	Metodología ADB	Metodología EVN
IPE calculado	63 KWh/m <sup>2</sup> /año	19 KWh/m <sup>2</sup> año
Zonas térmicas utilizadas	3	1
Zonas térmicas factibles de utilizar	Ilimitado	Limitado
Método de Simulación	Dinámico anual horario	Cálculo cuasi estacionario
Licencia de softwares	Libre acceso	Libre acceso, excepto para obtener la etiqueta energética de vivienda
Biblioteca de materiales	Abierta	Cerrada según IRAM 11601
Incorporación de materiales nuevos	Posible armar material nuevo	Solo selección de base de datos
Datos climáticos y de uso en la simulación	Año Típico Meteorológico y patrón de uso horario detallado	Valores medios de temperatura y radiación mensuales según IRAM 11900
Modelado de la vivienda	3D	Tabulado
Asignación de materiales y propiedades	Grupal por igualdad de características	Individual por elemento constructivo
Salida de resultados	Gráfica	Gráfica
Influencia de sombras externas	Si	Si
Valoración de las condiciones urbanas del entorno	Si, con Manual de la Vivienda Sustentable	No
Ejecución y ubicación del software para simulación	Ejecución local, aplicación de Escritorio	Ejecución en servidor, aplicación web
Requerimiento de hardware para simulación	Alto, sin acceso a internet	Bajo, con acceso a internet
Incorporación de ACS y energías renovables en el cálculo	Complejo	Simple
Herramientas complementarias de apoyo	Si	No

**Tabla 2.** Comparativa de las metodologías analizadas.

## Conclusiones

Los resultados energéticos obtenidos en la vivienda multifamiliar analizada y diseñada de acuerdo a estrategias bioclimáticas considerando las características locales, son auspiciosos. Ante el déficit habitacional existente en Argentina los organismos de gestión deberían introducir en sus programas y planificaciones el diseño de edificios de bajo consumo de energía ya que no existen barreras tecnológicas para su implementación. Se ratifica la necesidad de diseñar y estudiar la tecnología para cada localización geográfica que integren múltiples herramientas cuali-cuantitativas como realiza la metodología ADB, realizando una retroalimentación en la evaluación para obtener resultados mejorados, considerando en la primera etapa de diseño la evaluación con el MVS, documento de 2019 que conjuga todas las normativas vigentes en Argentina y también favorece buenas prácticas de sustentabilidad. La ADB implementa la simulación numérica para lograr resultados precisos en cuanto a las condiciones de confort y requerimientos energéticos. Ello permite evaluar el comportamiento térmico, mejorar y reformular el diseño de acuerdo a los resultados mediante cálculos preliminares, sin que esto implique modificaciones importantes del diseño del edificio. Una reducción del requerimiento de energía para mantener el confort interior de la vivienda permitiría paliar la pobreza energética propia de las regiones desprovistas de red de energía y/o en la población de menores recursos. La situación se vuelve acuciante en el contexto actual de reducción de subsidios a la energía en el sector residencial que a su vez propicia la inversión en rehabilitación y nuevas construcciones más eficientes, no solo en la calidad de las envolventes, sino también en el diseño bioclimático.

El EVN es una herramienta que presenta una aceptable relación de compromiso en cuanto a la accesibilidad de considerar renovables y envolventes aisladas, y aunque comparado con los obtenidos por simulación, la precisión de los resultados en los aspectos de requerimiento energético difiere sustancialmente. La diferencia de los mismos requerimientos por climatización calculados con ADB vs. ENV supera el 70% comparado incluso en términos de energía primaria. Las principales diferencias han sido sintetizadas en el apartado anterior, donde se enfatiza que, para unidades de vivienda con baja complejidad morfológica, de orientación y sistemas constructivos, son factibles de evaluar y proponer mejoras de un modo rápido para el profesional certificador nacional, no obstante, EVN puede llevar a error por demás optimista en cuanto al ahorro energético esperado en viviendas en Argentina. Es por ello que se propone que *la determinación de los IPE provinciales, sea determinada por realizar una serie de simulaciones paramétricas de los casos piloto en todas las provincias*, ya que los resultados pueden ser de gran utilidad para definir parámetros de referencia en esta etapa actual de construcción de este índice. Se recomienda su uso para la toma de decisiones en etapas de pre-diseño. Por otro lado, se considera importante que el EVN incorpore variables cualitativas como la selección de sitio del MVS.

Que EVN incorporen en su base de datos de sistemas constructivos nuevos, en especial con materiales reciclados con Certificación de Aptitud Técnica nacional vigente, permitiría a los profesionales certificadores utilizar los mismos en sus propuestas de proyectos y mejoras propiciando utilizar nuevas tecnologías de triple impacto, y no solo materiales convencionales. Específicamente, la unidad de vivienda responde satisfactoriamente a los requerimientos de eficiencia energética logrando un consumo de 63 KWh/m<sup>2</sup>/año, significativamente inferior a los 250- 300 KWh/m<sup>2</sup>/año que en promedio utiliza una vivienda en el país. La nueva segmentación del Poder Ejecutivo Nacional (2022) establece un tope de 400 KWh/m<sup>2</sup>/año.

## Agradecimientos

Este proyecto se desarrolló en el marco del proyecto *Modelo de Gestión para la Producción Regional de Componentes Constructivos para Mejoras Habitacionales a Partir del Reciclado de Residuos Sólidos Urbanos*. Financiación: PUE (Proyecto de Unidad Ejecutora) CONICET 2019-2013. Directora: Rosana Gaggio.

## Bibliografía

- Gutiérrez, C. (2010). Ecotect: Software de Diseño de Construcción Sustentable. ArchDaily. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/02-62481/ecotect-software-de-diseno-de-construccion-sustentable>
- Gaggino, R., Arguello, R., & Berretta, H. (2010). Procedure for making a cement mixture applicable to the manufacture of building elements. *Recent Patents on Materials Science Journal*, 3(3), 167-177. ISSN: 1874-4648 (Print) 1874-4656 (Online).
- Gaggino, R., Arguello, R., & Berretta, H. (2017). Modelo de gestión para la producción nacional de componentes constructivos para mejoras habitacionales a partir del reciclado de residuos sólidos urbanos. Disciplina: vivienda económica.
- Hernández, A. L. (2001). Simulación del Comportamiento Térmico de Edificios – Comparación de Métodos Micro y Macrodinámicos. Tesis Doctoral. Director: Dra. Graciela Lesino. Fac. de Ciencias Exactas, UNSa.
- Heywood, H. (2015). *101 reglas básicas para edificios y ciudades sostenibles*. Traducción: Susana Landrove. Impreso en Barcelona. ISBN: 978-84-252-2993-0. Editorial GG.
- IRAM. (1996). *Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Norma N° 11605*.
- LEED (2022). Spain Green Building Council. Recuperado de <http://www.spaingbc.org/web/sistemas-clasificacion.php>
- Municipio de Río Cuarto. (2008). *Código de Planeamiento Urbano*. Recuperado de <https://www.riocuarto.gov.ar/versionanterior/tramites/archivos/1231331316-Codigo2002.pdf>
- Salvador Gil. (2021). *Eficiencia Energética en el Sector Residencial, resumen ejecutivo*. Eficiencia Energética. Recuperado de [https://eficienciaenergetica.net.ar/novedades\\_detalle.php?id=80](https://eficienciaenergetica.net.ar/novedades_detalle.php?id=80)
- Stagnitta, R. (2020). *Etiquetado de Viviendas Curso de Certificadores [MOOC]*. Etiquetado de Viviendas. Recuperado de <https://etiquetadoviviendas.mecon.gob.ar/>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). *Manual de Vivienda Sustentable*. C.A.B.A. – República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/vivienda/manual>
- Sulaiman, H., Mazzocco, M. P., & Filippín, C. (2017). Análisis Económico-Energético de Envolturas Aisladas con Simulación en CASAFAD en dos Ciudades de Argentina. ISSN: 2175-6333 - *Anais [do] XIV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e X Encontro Latino-americo de Conforto no Ambiente Construído*. Recuperado de <http://www.infohab.org.br/encac/files/2017/topico8artigo12.pdf>
- Sulaiman, H., Oga Martínez, L. M., & Filippín, C. (2020). Diseño con Simulación de Vivienda Colectiva Sustentable en Ciudad Intermedia. *Seminario Internacional "Ciudad, Ingeniería y Sostenibilidad (CIS)*. La Serena, Chile.
- Sulaiman, H. C., Sipowicz, E., Filippin, M. C., & Oga Martinez, L. M. (2019). *Energy Performance of Dwellings in a Temperate Climate Area of Argentina. An Architectural Proposal. The Open Construction and Building Technology Journal*, 14, 1-16. DOI: 10.2174/1874836802014010001.
- Poder Ejecutivo Nacional. (2022). *Decreto 332/2022: Servicios Públicos de Energía Eléctrica y Gas Natural. Régimen de Segmentación de Subsidios*. *Boletín Nacional*, 16 de junio de 2022. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-332-2022-366629>

*Repositorio de datos climáticos gratuitos para la simulación del rendimiento de edificios: De los creadores de la EPW.* (s. f.). Clima.OneBuilding.Org. Recuperado 15 de agosto de 2022, de <https://climate.onebuilding.org/>

Taha, H. A. (2012). *Investigación de Operaciones* (Novena edición). Pearson Educación. ISBN: 978-607-32-0796-6.

Télam. (2018). Para la Cámara de la Construcción, la provincia tiene un déficit de más de 242.000 viviendas. *Télam Digital*. Recuperado de <https://www.telam.com.ar/notas/201803/265383-cordoba-deficit-viviendas-camara-construccion.html>

CEVE. (1999-2022). *Transferencias tecnológicas al Municipio de Río Cuarto*. [1ª 39 viviendas con estructura UMA de CEVE combinada con bloques de Hº producidos por los destinatarios. 2ª 42 viviendas con estructura UMA y placas BENO producidas por destinatarias. 3ª Etapa: año 2004-2005. 5 viviendas con distintas tecnologías de techo producidas por los destinatarios. 4ª Etapa: año 2010-2011. 4 viviendas con estructura UMA y cerramientos de bloques de Hº producidos por los internos de la Penitenciaría Provincial, sede Río Cuarto. 5ª Etapa: año 2014-a la actualidad. Proyecto DETEM (COFECYT): 2 Coop. de trabajo que producen las estructuras UMA, 53 viviendas terminadas. 6ª Etapa: año 2018-a la actualidad. Cumplimentado Primer Taller de Capacitación en producción de componentes en base a PET reciclado (ladrillos, bloques y placas de ladrillos). Desde abril 2019 se puso en marcha una Planta Experimental de Tratamiento de Plástico].