

# COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO Y SUSTENTABLE DE PROYECTO DE VIVIENDA EN CLIMA ÁRIDO. REDISEÑO POR SIMULACIÓN.

# ENERGY AND SUSTAINABLE PERFORMANCE OF A HOUSING PROJECT IN AN ARID CLIMATE. REDESIGN BY SIMULATION.

## Halimi Sulaiman

Doctora en Arquitectura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8410-6181>

[drahsulaiman@gmail.com](mailto:drahsulaiman@gmail.com)

## Lautaro Oga Martínez

CEVE

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8951-6649>

[lautaro.oga.martinez@gmail.com](mailto:lautaro.oga.martinez@gmail.com)

## Alicia Pringles

Doctora en Arquitectura

[alicia-pringles@interredes.net.ar](mailto:alicia-pringles@interredes.net.ar)

DOI: <https://doi.org/10.59047/2469.0724.v9.n10.41116>

## Resumen

El presente trabajo muestra un análisis del comportamiento térmico-energético, lumínica y sustentable de un proyecto de vivienda particular de residencia permanente en las afueras de la ciudad de San Juan, Argentina, la propuesta de mejoras y la evaluación de las mismas. Dicha evaluación se basa en la implementación de múltiples herramientas de diseño bioclimático de Givoni, IRAM, ASHRAE, y de simulación higrótérmica energética de reconocimiento internacional con Energy+ y lumínica con ECOTECT. Se concretó el análisis de resultados en 18 recomendaciones que se reflejan en el proyecto. Finalmente se analizan las mismas y los consecuentes ahorros energéticos esperados. Los principales resultados son evitar el sobrecalentamiento y el excesivo consumo de aire acondicionado en verano, al igual que el encandilamiento por parte de sus habitantes. Debido a que se utiliza electricidad como fuente de calefacción, resulta crucial disminuir el consumo e incorporar energía solar fotovoltaica. Se observa un importante ahorro energético cercano al 40%. Se destacan los mínimos consumos de aire acondicionado y la reducción de los picos de demanda energética en invierno. Las cargas totales por m<sup>2</sup> disminuyeron de 433 a 262 KWh/m<sup>2</sup>año. Actualmente el proyecto se encuentra en proceso de construcción siguiendo las recomendaciones de diseño sugeridas.

**Palabras clave:** diseño bioclimático, simulación térmico-energética, clima árido, incidencia solar, rediseño.

## Abstract

*The present work shows an analysis of the thermal-energy, lighting and sustainable performance of a private housing project for permanent residence on the outskirts of the city of San Juan, Argentina, the improvement proposal and their evaluation. This evaluation is based on the implementation of multiple bioclimatic design tools from Givoni, IRAM, ASHRAE, and internationally recognized hygrothermal energy simulation like Energy+ and lighting evaluation with ECOTECT. The analysis of results was specified in 18 recommendations that are reflected in the project. Finally, these results and the consequent expected energy savings are analyzed. The main results are to avoid overheating and excessive consumption of air conditioning in summer, as well as dazzling its inhabitants. Since electricity is used as a heating source, it is crucial to reduce consumption and incorporate photovoltaic solar energy. Significant energy savings close to 50% are observed. The minimum consumption of air conditioning and the reduction of the peaks of energy demand in winter stand out. Total, loads per m<sup>2</sup> decreased from 433 to 262 KWh/m<sup>2</sup> year. The project is currently under construction following the suggested design recommendations.*

**Keywords:** bioclimatic design, thermal energetical simulation, dry weather, solar incidence, redesign.

Fecha recepción: 30 de abril de 2023

Fecha aceptación: 09 de junio de 2023

## Introducción

Según la Agencia Internacional de Energía (2022) el consumo de las edificaciones representa el 30% total de la energía a nivel mundial y el 27% de las emisiones totales del sector energético. El sexto informe realizado por el IPCC (2022) revela que durante los próximos veinte años el aumento de 1,5 °C en la temperatura media global será irreversible y se evidencia que las advertencias realizadas por este organismo han sido subestimadas por los gobiernos a nivel mundial. Controlar la contaminación es de vital importancia debido a que es uno de los principales focos de emisiones de GEI (gases de efecto invernadero). La necesidad de la eficiencia energética se nos presenta, no sólo como contribución a la disminución del uso de energías no renovables, sino como el aporte necesario para la disminución de la huella ecológica que generan los habitantes. 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, tanto en la calidad de las envolventes, como en el diseño bioclimático (Sulaiman y Oga, 2022).

Esta situación se agudiza impulsada por un mayor acceso a la energía en los países en desarrollo, una creciente demanda de aire acondicionado y un rápido crecimiento en la cantidad total de edificios construidos. Hoy en día las personas pasan cerca de un 90% del tiempo dentro de éstos, situación que se ha incrementado en los años 2020 y 2021 debido al aislamiento social producto del Covid-19. Desde el año 2000 la cantidad de habitantes que residen en ciudades supera ampliamente a las que viven en entornos rurales aumentando la presión que las urbes ejercen sobre los ecosistemas. Según el Banco Mundial, (2021) del total de la población argentina más del 92% reside en Ciudades. No obstante, en los últimos años se gestó un fenómeno de éxodo migratorio, acentuado tras la pandemia de Covid-19, desde los centros urbanos más poblados hacia las periferias y áreas rurales próximas. Según un estudio realizado por González Leonardo et al., (2022) tras la pandemia las emigraciones desde las ciudades centrales hacia otros municipios se incrementaron un 6 %, mientras que las inmigraciones internas descendieron un 15,4 %. En las áreas rurales se da una dinámica inversa, las salidas disminuyeron un 12,6 % mientras que las entradas aumentaron un 20,5%. Por su parte Valentina Garrido Oyarzo (2023) en su tesis describe como las condiciones del Covid-19 ocasionaron que un gran número de personas se mudara a ciudades de menor escala y parcelas de agrado (parcela rural para vivienda particular), acelerando el proceso de expansión periurbana en un corto periodo de tiempo.

Ante los déficits estructurales de vivienda y energía en Argentina, los organismos de gestión han venido procurando introducir en sus programas y planificaciones el diseño de edificios de bajo consumo, ya que no existen barreras tecnológicas para su implementación. Desde la ratificación de la necesidad de diseñar y estudiar la tecnología para cada localización geográfica a partir de la integración de múltiples herramientas cuali-cuantitativas, el Manual de la Vivienda Sustentable (2016) conjuga todas las normativas vigentes en el país, y resulta un claro antecedente que busca favorecer buenas prácticas de sustentabilidad.

En el presente trabajo la sustentabilidad contiene a la sostenibilidad. En relación a la arquitectura y el urbanismo, engloba el uso racional de los recursos naturales y los procesos que dan origen al proyecto. Los aspectos de la ubicación involucran el estudio del clima y el entorno, los procesos de construcción y los materiales engloban la demanda y eficiencia energética respetando el medioambiente y los factores sociales en sus diferentes escalas en cuanto al comportamiento del usuario, sus usos y costumbres, hasta la decisión política de la incorporación o no de medidas concretas en el barrio.

El Ministerio de Energía presentó el sistema de *Etiquetado de Eficiencia Energética* (2020) en inmuebles destinados a vivienda. El mismo tiene por objetivo clasificar y catalogar un inmueble en función a su consumo energético, y la etiqueta de eficiencia energética en viviendas permite determinar un “índice de prestación energética” (IPE) para clasificar la eficiencia de las viviendas con su unidad de medida kW/m<sup>2</sup> al año, convirtiéndose así en una herramienta más de decisión para el usuario a la hora de construir, comprar, vender o alquilar. En el largo plazo, este instrumento genera un sello distintivo que tiene incidencia en el valor de mercado de un inmueble, promoviendo la inversión, el desarrollo y el trabajo local.

Bajo estos parámetros, el diseño de edificios bioclimáticos y el desarrollo de tecnologías de envolventes edilicias de bajo consumo energético han estado recibiendo gran atención en los últimos años por parte de las productoras de materiales de construcción, investigadores, arquitectos, ingenieros en climatización y organismos de normalización (Sulaiman et al. 2019). El diseño bioclimático ha sido ampliamente identificado como una de las estrategias más eficaces para disminuir la demanda de energía en la construcción y en la optimización de las condiciones de habitabilidad (Tejavathu et al., 2010; Lam et al., 2006; Badescu, 2011; Sadineni et al., 2011; Omrany y Marsono, 2016). Dichas estrategias determinan y analizan principalmente el impacto en el ahorro energético de ocho variables del diseño bioclimático: *aislamiento, masa térmica, superficie vidriada, aberturas, tamaño, forma y posición, color del exterior, superficies, dispositivos de protección exterior, orientación y forma de construcción.*

Las condiciones climáticas que más influyen en la climatología urbana y suburbana son la materialidad de las superficies y albedo, geometría tridimensional, factor de visión del cielo, contaminación del aire, vegetación y calor antropogénico. La radiación solar absorbida por una ciudad es entre un 15 y un 30 % mayor que la absorbida en sus alrededores rurales, debido principalmente a un déficit de arbolado y al empleo de materiales constructivos de elevada capacidad calorífica y conductividad. Por otra parte, la morfología urbana y suburbana tiende a capturar y almacenar durante el día la radiación cerca de la superficie e irradiarla paulatinamente durante la noche, disminuyendo la velocidad de enfriamiento en comparación con las áreas rurales. Adicionalmente, el calor antropogénico generado por el accionar de las personas (vehículos, sector edilicio y metabolismo) no sólo impacta térmicamente, además ocasiona la contaminación del aire debido a las emisiones del tráfico, modificando la composición atmosférica de la ciudad, disminuyendo la transmisividad y aumentando la absorptividad del aire. (Correa, 2022).

El Área de Diseño Bioclimático de Tecnologías constructivas sustentables del Centro experimental de la Vivienda Económica del CONICET-AVE implementa hace más de una década la simulación numérica para lograr resultados precisos en cuanto a las condiciones de confort y requerimientos energéticos (Sulaiman et al. 2019, 2020, 2022 y 2023). 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 edificio. La aplicación de estos métodos de evaluación y diseño urbano arquitectónico han sido aplicados principalmente en proyectos de viviendas sociales, tanto emergentes como barrios planificados mediante políticas públicas en diferentes contextos socioeconómicos y ambientales abarcando todos los climas argentinos. Reflejo de ello son: *¿Utopía o realidad? Factibilidad de un proyecto de vivienda multifamiliar con materiales reciclados en el centro de Argentina* (Sulaiman, Oga y Filippín, 2023) que trata precisamente de aplicar la metodología sin llegar a la optimización formal. A su vez, el mismo equipo publicó Sulaiman et al., 2020 donde se realizó una evaluación integral de diferentes tipologías de viviendas (aisladas, entre medianeras y en departamentos en altura en la Ciudad de Santa Rosa, La Pampa, Argentina y en función de ello se realizó una propuesta arquitectónica integral con parámetros de sustentabilidad urbano arquitectónicas desde la selección del sitio, la implementación de estrategias bioclimáticas de diseño, implementación de sistemas constructivos de envolventes con aislación. Además de considerar el uso de recursos (territorio, morfología, materiales y energía), estilo de vida de los habitantes (variables cualitativas) y análisis crítico de los problemas históricos del déficit habitacional en nuestro país.

## Características del lugar y tabla de clima local



**Figura 1.** Ubicación en el mapa bioclimático, distancia a la estación meteorológica, ubicación. **Fuente:** Elaboración propia.

Como se observa en la figura 1, la vivienda se encuentra en la localidad de Villa Bolaños (también conocida como Médano de Oro) del departamento Rawson, ubicado en el centro sur de la Provincia de San Juan, a unos 8 km al sureste de la ciudad de San Juan Argentina ( $31^{\circ}38'00''S$   $68^{\circ}28'00''O$ , 599 m s. n. m.). Es núcleo de una región agrícola por excelencia de la provincia con poco menos de 400 habitantes, con escasos servicios.

En la Zona Bioclimática IIIa, templado cálido con grandes amplitudes térmicas, el clima local se caracteriza por ser árido con la temporada crítica en verano de muy alta radiación solar y un invierno riguroso. Se presentan los diferentes aspectos del análisis realizado y al finalizar se redacta una lista a modo de hoja de ruta de las posibles acciones a tomar. Para el presente análisis se utilizaron los datos climáticos del Año Típico Meteorológico (TMY) (Dury, 2014-22) basado en mediciones continuas de la localidad más cercana que es el Aeropuerto Internacional Domingo Faustino Sarmiento ( $31^{\circ}34'17''S$   $68^{\circ}25'06''O$ ).

Es importante destacar que la localidad continúa creciendo desde hace unas décadas y en especial pos pandemia, ya es posible vivir con mayor contacto con la naturaleza y en sólo 10 minutos en auto se llega la circunvalación y en 17 minutos al centro de la ciudad de San Juan. En 10 minutos se llega al centro de Rawson, el departamento más poblado de la provincia.

La tabla 1 se realizó en base a los datos del Año Típico Meteorológico medidos por la estación meteorológica número 873110 localizada en el aeropuerto Sarmiento y muestra las características climáticas de la zona rural de San Juan (Dury, 2014-2022). Dicha tabla presenta los promedios de las temperaturas, temperaturas máximas, temperaturas mínimas, humedad relativa y las precipitaciones para cada mes del año haciendo evidente una marcada amplitud térmica entre las temperaturas promedio máximas y mínimas para un mes determinado, sumado a una escasez de precipitaciones al año (224.74 mm). Cabe mencionar que los picos de temperaturas máximas llegan a superar los  $40^{\circ}C$ .

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMP. MÁX.PROM (°C)	37.00	37.60	36.0	33.10	25.20	25.20	22.20	27.01	27.20	31.70	39.50	37.30
TEMP. MÍN. PROM (°C)	15.40	18.10	12.40	9.50	3.10	-1.30	-3.00	0.00	0.30	4.20	11.50	14.20
TEMP. PROMEDIO (°C)	27.00	26.30	23.20	19.10	12.80	9.00	7.80	11.40	15.50	19.10	23.80	26.70
HR PROMEDIO (%)	38.13	49.70	48.33	55.87	62.65	59.62	39.28	42.57	36.00	35.28	34.30	37.55
PRES.PROMEDIO (mm)	26.19	39.77	29.17	23.76	17.19	10.73	5.64	7.84	9.47	12.17	16.45	26.36

**Tabla 1.** Datos meteorológicos característicos del lugar. **Fuente:** Elaboración propia.

## Metodología y Herramientas Utilizadas

La metodología empleada por el área de diseño (figura 2) bioclimático estudia el programa de necesidades y la situación urbana con el Manual de Vivienda Sustentable (MVS) al inicio del diseño y posteriormente realiza numerosas simulaciones higrótérmico energéticas sin llegar a un método formal de optimización. En matemáticas y ciencias de la computación, la optimización, se refiere a la elección del mejor elemento de un conjunto de alternativas disponibles. En el caso más simple, esto significa resolver problemas en los cuales se trata de minimizar o maximizar una función real a través de la elección sistemática de los valores de las variables reales dentro de un conjunto factible. Esta formulación, utilizando una función objetivo escalar, de valores reales, es probablemente el ejemplo más simple. Wilson y Templeman (1976) y Gero et al. (1983) fueron los primeros autores que presentaron el problema del rendimiento energético incorporado a un modelo de optimización del diseño de edificios. Ellos encontraron decisiones de diseño (por ejemplo, la orientación o aumento de la superficie captadora de radiación solar) para reducir al mínimo los costos de inversión y operativos de un edificio de oficinas planteando el problema de optimización. En los últimos años, los métodos estocásticos tales como la simulación y los algoritmos genéticos han llegado a ser muy difundidos, y se han aplicado a una serie de problemas de optimización de rendimiento térmico y de iluminación basados en la envolvente del edificio, el diseño de HVAC y la programación de control (Klößeiko y Freudenberg, 2019; Negrin, et al., 2019; Fachinotti et al., 2020; Taha y Navarro Salas, 2021). Estos métodos son atractivos, debido principalmente a que pueden resolver una amplia gama de problemas.

El presente trabajo emplea la metodología anteriormente descrita adaptada al caso de estudio, enfatizando el rediseño que involucra simulación y resultados, para el estudio de la demanda energética por climatización y la radiación solar incidente sobre la envolvente y el interior de la vivienda. Para el estudio detallado de este proyecto se utilizaron numerosas herramientas tanto de evaluación analítica de estrategias bioclimáticas, como recomendaciones de Givoni, Olgay, IRAM, ASHRAE, en conjunto con simulación dinámica numérica de reconocimiento internacional como Energy Plus v9-3 (2022) y ECOTECH v5 (2011).

En primer lugar, se **analiza cualitativamente** la documentación técnica de proyecto arquitectónico en cuanto a orientación, disposición y tamaño de aberturas, tipo de envolvente propuesta, protecciones solares y ventilación natural siguiendo las pautas de diseño, energía, agua y buenas prácticas del MVS advirtiendo los posibles puntos a mejorar al aplicar pautas de diseño bioclimático.

### Análisis cuantitativo:

Se realiza el modelo 3D de la casa en función de la documentación técnica para llevar a cabo el estudio cuantitativo.

**Asoleamiento y ganancia solar:** se calcula la insolación acumulada, para cada punto de la grilla tridimensional del volumen interior y el entorno inmediato del modelo 3D del proyecto evaluado. Para una fácil interpretación por parte del proyectista, los resultados son representados por el software ECOTECT en plantas, cortes y vistas con una escala cromática en Wh. De este modo se determinan las zonas de la vivienda más expuestas a la radiación solar directa en la temporada estival (crítica para la zona bioclimática IIIa). El software antes mencionado se utilizó únicamente para el estudio de asoleamiento y sobreexposición debido a que emplea RADIANCE en los cálculos. Este programa de simulación lumínica basado en radiosidad es de dominio público y fue escrito originalmente por Greg Ward en Lawrence Berkeley Laboratories. Cabe mencionar que ECOTECT no lo incluye como parte de su distribución, sino que emplea la versión Desktop para Windows (Carruthers, D. D. et al., 1985).

**Modelo 3D y Simulación higrotérmico energética:** por medio de una simulación higrotérmico energética del diseño base, se determina la demanda de energía necesaria para mantener el interior de la vivienda en condiciones de confort seteada entre los 21 y 24 °C. Los resultados obtenidos se visualizan en un gráfico de perfil de cargas (Kwh/m<sup>2</sup> año) junto al detalle de envolventes de pérdidas y ganancias. Para realizar la simulación higrotérmico energética se utiliza el método de elemento finito a través del motor de cálculo EnergyPlus (ampliamente utilizado a nivel mundial) en combinación con Open Studio (2022) y SketchUp (2022) tanto para introducir los datos de cerramientos, cargas, Schedule (cronograma de operación) y HVAC, así como el modelado 3D.

**Rediseño:** En base a los resultados del procedimiento anterior se rediseña el proyecto original generando una alternativa superadora que es simulada para ser posteriormente comparada con las prestaciones energéticas, de pérdidas y ganancias ya obtenidas. De esta manera se mide el impacto de las estrategias de diseño bioclimático aplicadas ajustándose de ser necesario.

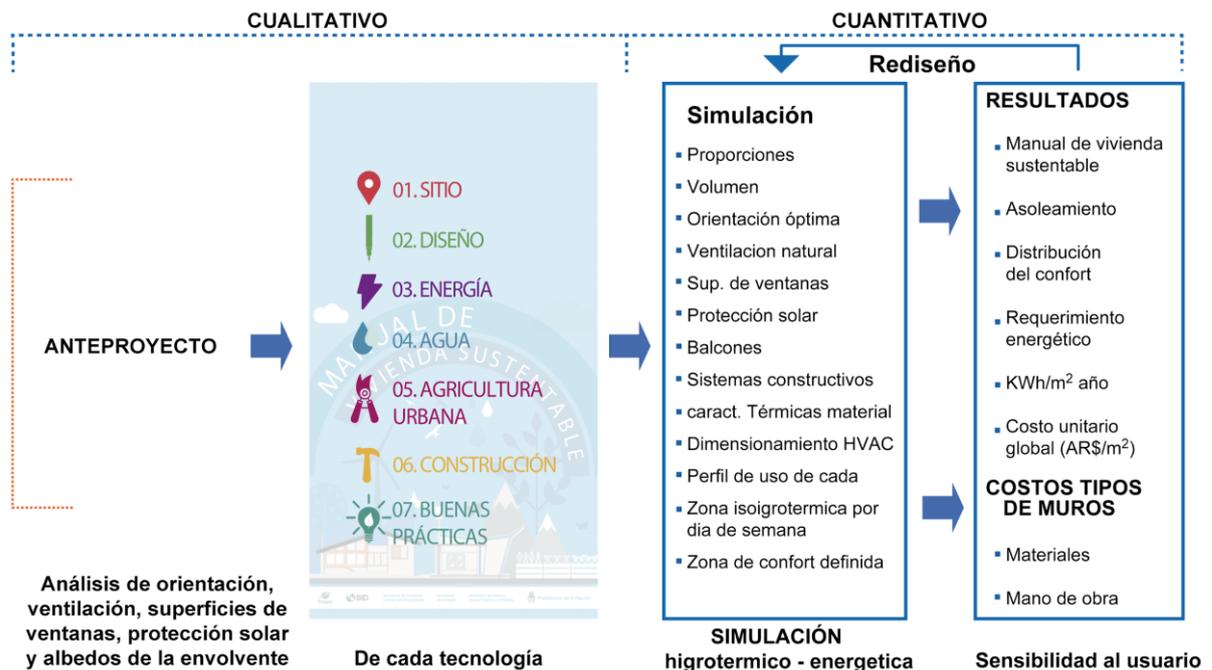


Figura 2. Metodología. Fuente: elaboración propia.

### Proyecto original y tabla de características de envolventes

A continuación, en la figura 3 se presenta el proyecto evaluado, el cual es de concepto abierto hacia las expansiones y espacio de piscina y galería donde se priorizan las vistas a la montaña principalmente al oeste.

La tabla 2 muestra las características térmicas de las diferentes envolventes con las que se diseñó esta vivienda. La materialidad elegida es de muy buena calidad térmica energética ya que fue una prioridad lograr la mayor eficiencia energética dentro de lo posible en un proyecto de este tipo, que de por sí sus proporciones, cantidad de habitaciones y extensión en m2 excede lo recomendado internacionalmente para 3 personas. Cabe destacar que el objetivo de este trabajo es realizar los cambios mínimos que signifiquen un alto impacto en el mejoramiento del comportamiento energético y de confort del proyecto, en especial porque ya se encuentra en periodo de aprobación para su construcción.



**Figura 3.** Planta, cortes, vistas y renders del proyecto original. **Fuente:** elaboración propia.

CERRAMIENTOS	TIPO	$\lambda$ (W/m <sup>2</sup> K)	K (W/m <sup>2</sup> °K)	ALBEDO (0-1)
Cubierta	Cassaforma	-----	0.49	0.70
Ventanas DVH	Aluminio	-----	3.00	-----
Ventanas simples	Aluminio	-----	5.80	-----
Puertas	Madera maciza	0.13	-----	0.60
Piso	Plata de H°A°	1.63	-----	-----
Muros	Cassaforma	-----	0.49	0.70

**Tabla 2.** Características térmicas y albedo de las envolventes de la vivienda. **Fuente:** elaboración propia.

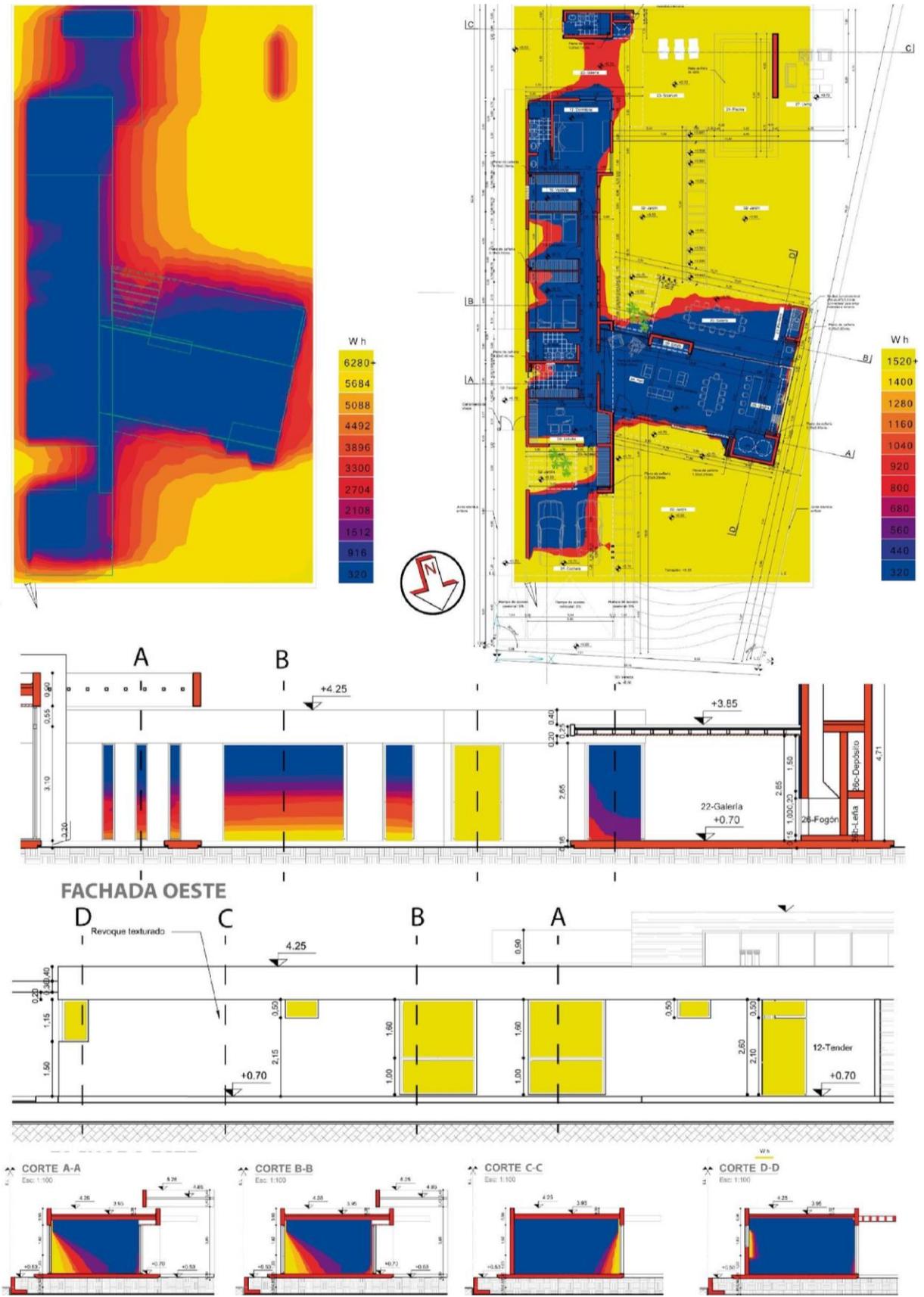
### Asoleamiento y ganancia solar

El concepto primordial para este caso es *evitar la ganancia solar en el interior de la vivienda en la temporada estival* y, por el contrario, *en invierno maximizar su ingreso para utilizarlo como calefacción* bioclimática de costo cero. A continuación, se presentan imágenes del análisis de radiación que llega a las superficies de la vivienda con el clima del Año Típico Meteorológico de San Juan, datos oficiales internacionalmente. Se observan plantas, cortes y vistas del asoleamiento termográfico en verano donde se detectan los puntos a mejorar y la importancia de corregir estas falencias (Ver figura 4).

Es importante destacar los altísimos valores de radiación que se registran en la ubicación llegando a más de 6,3 KWh (6300 Wh) en las superficies del entorno registrándose el menor valor en los espacios más internos de la vivienda. Este análisis general permite dimensionar la situación extrema que se presenta en la localidad.

Se destaca la importancia de las protecciones solares y sombreado en la temporada crítica, tanto en interiores, como en el exterior. En general el proyecto responde de modo favorable a ese aspecto, no obstante, se considera primordial solucionar detalles de fácil resolución constructiva que propicia un mejor comportamiento térmico-energético y, por consiguiente, energético.

En el entorno se recomienda, el uso de vegetación en tanto y en cuanto no obstaculice las vistas, como al este, norte y sur. La ubicación de la piscina favorece el enfriamiento evaporativo y se recomienda enfáticamente el uso de materiales fríos, es decir que no absorban calor y presenten un albedo alto propio de colores muy claros o blancos, como por ejemplo losetas atérmicas de contorno de piscinas.

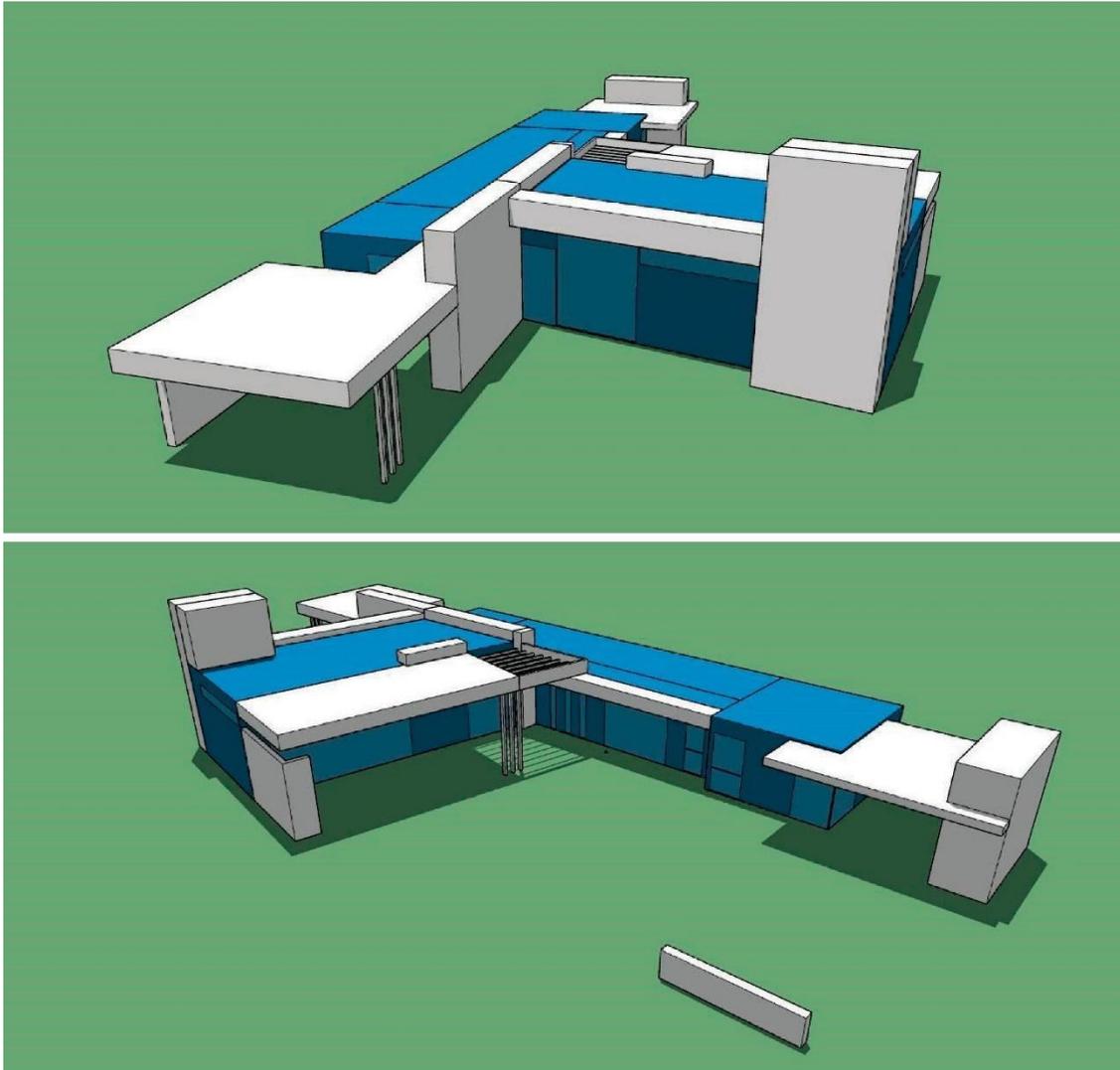


**Figura 4.** Radiación crítica en verano, análisis de asoleamiento con ECOTECT. **Fuente:** Elaboración propia.

En detalle, al considerar la escala de planta, se detectan algunos espacios factibles de mejorar. Se grafica el ingreso de radiación solar a las 12 del mediodía el 21 de enero. La radiación evitable en verano es desde las 8 AM a 8 PM. Se destaca la situación de los dormitorios secundarios en verano donde su ingreso de sol de muy alta radiación sin protecciones solares como aleros o persianas exteriores con aislación, generarán un excesivo discomfort en verano y por consiguiente un constante consumo energético mediante el uso del aire acondicionado. Por otra parte, el dormitorio principal presenta algunas situaciones críticas con el sol del oeste fáciles de mejorar, especialmente la falta de protección de la esquina noroeste vidriada y, en menor medida el sureste del baño en suite. En la esquina suroeste se han priorizado las vistas desde el dormitorio y el alero colabora en evitar el ingreso directo al dormitorio principal. Sin embargo, se recuerda que las radiaciones reflectivas e indirectas de las superficies circundantes generan una emanación considerable de calor que deberá ser detenido por la calidad térmica de las superficies acristaladas. Por último, la oficina requiere un alero y/o protección solar del norte acompañada de vegetación de hoja caduca.

### **Modelo 3D y Simulación higrotérmico energética**

A continuación, se muestran el modelo 3D de la vivienda en Open Studio y la simulación en EnergyPlus (ver fig. 5).



**Figura 5.** 3D en Open Studio, Superior Norte, Inferior Oeste. **Fuente:** Elaboración propia.

En este modelo se contemplan no sólo las dimensiones y proporciones precisas del proyecto analizado, sino también la materialidad de sus envolventes y aberturas, el clima específico, el entorno que arroja sombras, las personas que lo habitan diferenciando el uso de día y noche y entre semana y de fines de semana y su comportamiento, los sistemas de climatización, etc. Los espacios color azul son zonas isohigrotérmicas subdivididas según su función y uso, donde por ejemplo el dormitorio principal, vestidor, dormitorios secundarios, estudio y estar comedor presentan usos diferentes, tanto durante el día, como también en los fines de semana. Las imágenes son al mediodía en el 21 enero. Los elementos blancos en la figura 5, son aquellos que arrojan sombra e influyen en el comportamiento térmico-energético de la vivienda.

### **Resultados de cargas energética detalladas del proyecto original**

A continuación, se muestran los resultados de comportamiento energético del proyecto original y se detectan los aspectos que más impactan en la eficiencia energética de la vivienda.

Se observa un importante consumo de calefacción, incluso habiendo considerado la estufa eficiente a leña en el estar. Las variables de diseño principales que influyen son las importantes alturas de los espacios que propician un

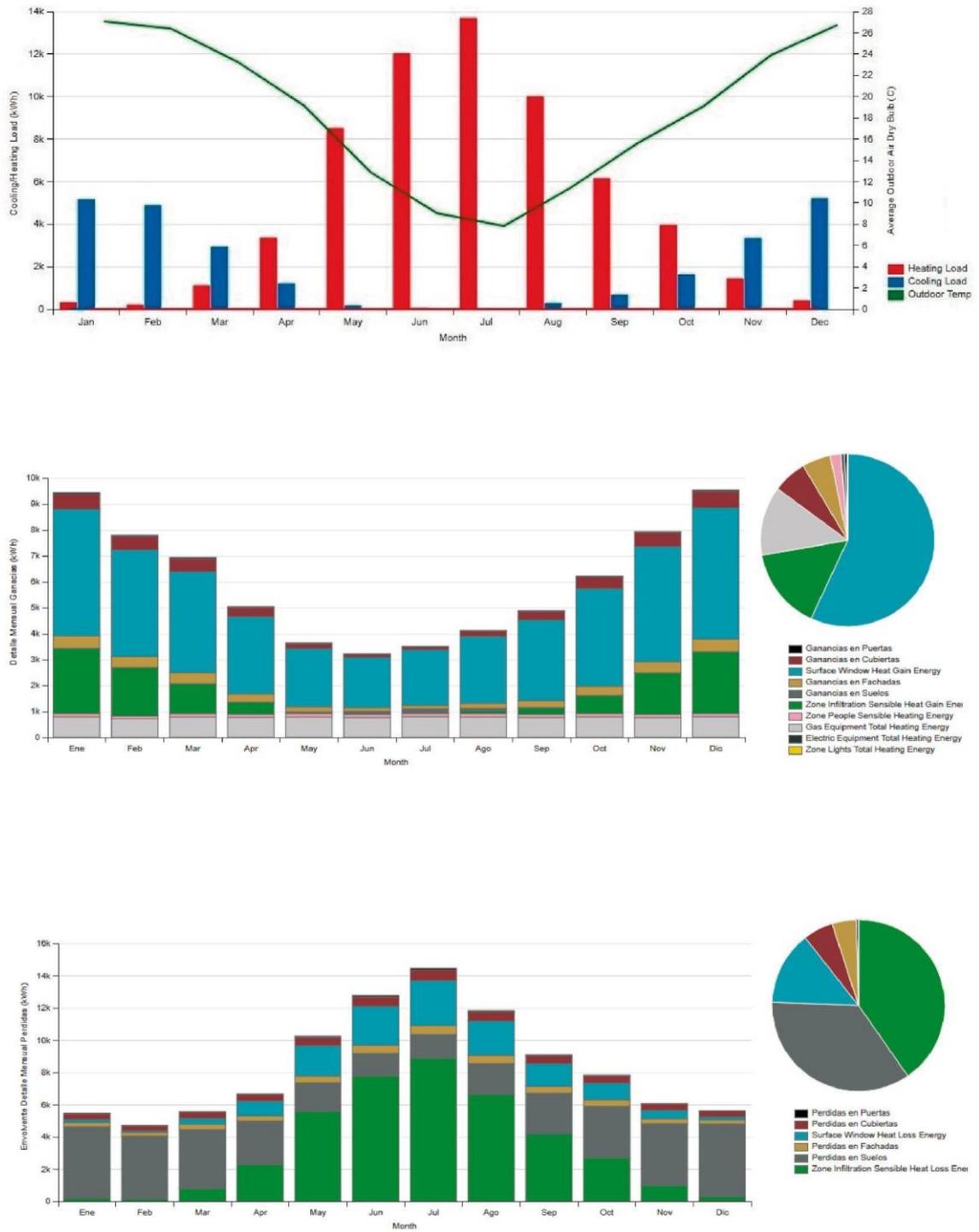
exceso de volumen de aire a climatizar, la no compacidad de la vivienda que propicia el alto contacto de las envolventes con el exterior y el alto porcentaje superficie de la vivienda vidriada.

### **Proyecto original: Perfiles de cargas energéticas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Detalle de Ganancias y pérdidas**

En la figura 6, la gráfica superior muestra las temperaturas promedio mensuales de año típico meteorológico de San Juan basados en la única estación disponible (Aeropuerto Internacional Sarmiento), las cargas de refrigeración en verano y de calefacción en invierno. Se observa una clara influencia de la calefacción alcanzando consumo de más de 17 KWh en julio. Los consumos de refrigeración en diciembre y enero superan los 5,5 KWh. A continuación, se detallan a qué aspectos se atribuyen dichos consumos en función de las pérdidas y ganancias. De este modo podemos detectar qué variables de diseño se pueden mejorar.

Como se observa en el detalle de ganancias (figura 6 gráfica central), éstas se producen principalmente por las superficies vidriadas (celeste), en especial este impacto negativo se ve en verano. Si sumamos ganancias por superficie vidriada a infiltraciones de aire (verde) estas representan un valor cercano al 70%.

En el caso de las pérdidas (figura gráfica inferior), se destaca que en verano influyen considerablemente las pérdidas por el suelo, ya que es una platea no aislada. No obstante, el impacto mayor se produce por infiltraciones (color verde), es decir el perímetro de las aberturas. Esto sumado a las generadas por superficie vidriada en invierno, alcanzan un 55%.



**Figura 6.** Proyecto original: Cargas de climatización mensuales, ganancias y pérdidas por tipo de envolvente con Energy Plus **Fuente:** E. propia.

## Recomendaciones

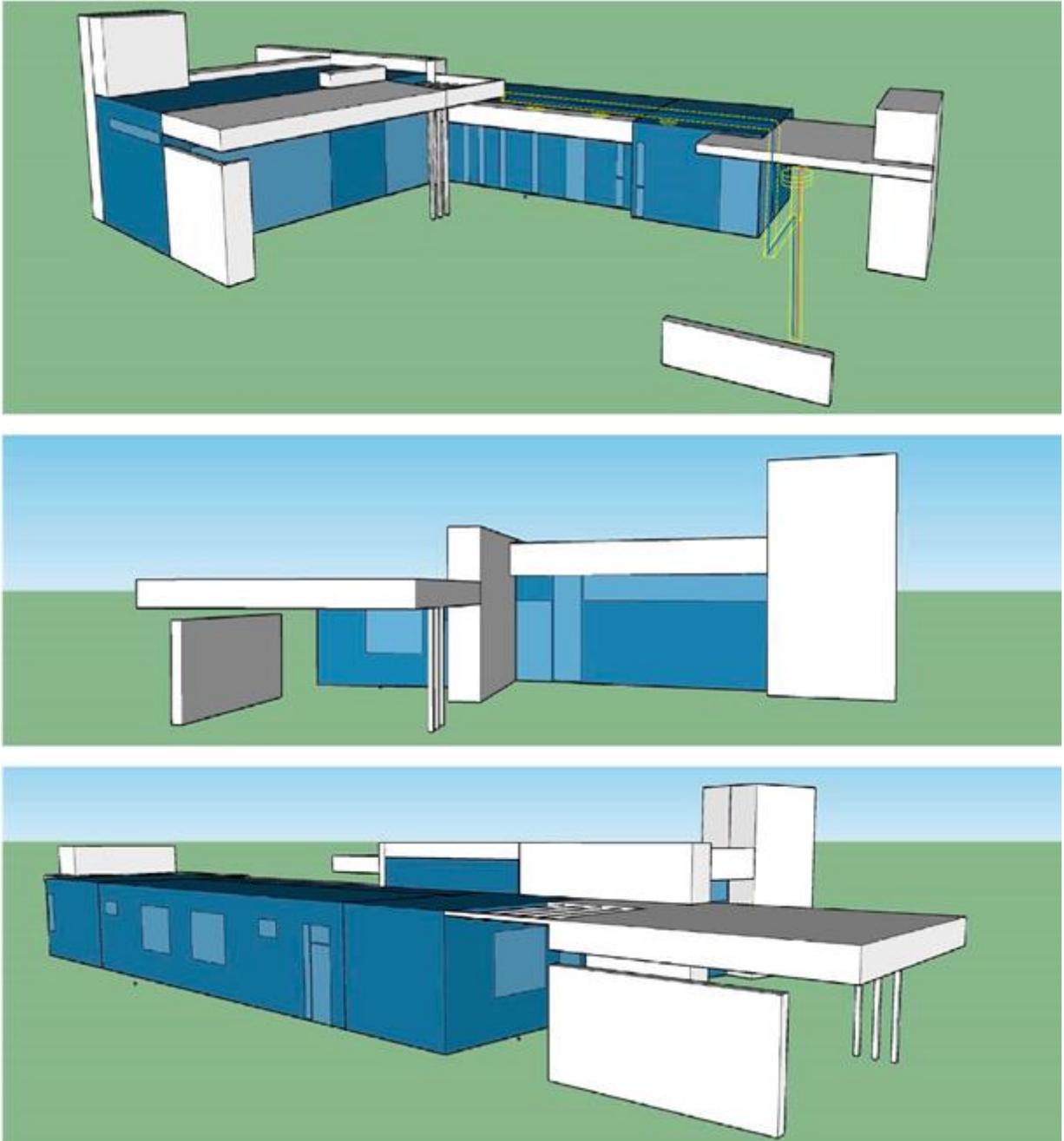
Se recomiendan algunas opciones con diferentes grados de impacto en cuanto a la performance térmica.

- 1- Las superficies vidriadas que sean DVH y, en fachada crítica como la orientación Este, **se recomienda aquellas de tipo low emission (Low-E) con tratamiento interno** que refleja el espectro cercano al infrarrojo.
- 2- La superficie vidriada en orientaciones desfavorables es excesiva. Eliminar superficie vidriada hasta la altura de 1.03 m donde se encuentra la línea de antepecho y construir con muro aislado como el resto de las superficies opacas. Esto permite las visuales incluso desde la cama y en pasillo a la altura del usuario caminando.
- 3- Procurar colores claros en especial en superficies muy expuestas a la radiación solar como la cubierta y las fachadas norte, este y oeste. Evitar materiales de alta masa térmica expuesta.
- 4- Las fachadas norte y oeste pueden ser de DVH sin filtro Low-E ya que se pueden utilizar para ganancia solar en invierno.
- 5- Aumentar la nariz del alero oeste en pasillo unos 0.15 m para evitar el ingreso excesivo de sol en verano. De ser posible implementar la recomendación 2.
- 6- Colocar aleros y/o persianas aisladas del lado exterior, estas últimas de abrir o enrollar por control remoto, por ejemplo.
- 7- Procurar la ventilación cruzada sólo cuando el clima lo permita, tanto en espacios principales como estar y dormitorios como en pasillo oeste.
- 8- Instalar un pozo canadiense vertical de al menos 3 m de profundidad al sureste del dormitorio principal circulando por pasillo para colaborar en la climatización de los dormitorios. Se requieren chimenea de captación de 1m de alto desde suelo natural, filtro de polvo e insectos, caños plásticos de mínimo 20 mm, pozo de drenaje de posibles condensaciones (similar a una sangría), impulsión de aire mediante electricidad o eólica, rejillas en cielorraso de dormitorio principal y 4 en pasillo.
- 9- Poder sectorizar eficientemente el aire del estar comedor cocina del sector privado, tanto en circuitos de aire acondicionado frío-calor como de ductos de aire subterráneo. De ser factible, colocar una puerta aislada entre ellos.
- 10- Vegetación a tresbolillo de árboles y arbustos en el sur para filtrar el polvo en suspensión que llega a la vivienda mediante infiltración.
- 11- Propiciar superficies frías y así evitar la acumulación de calor en la construcción.
- 12- Aislar el techo evitando puentes térmicos de las estructuras hacia el interior de la vivienda.
- 13- Mejorar la eficiencia de las instalaciones sanitarias. Agua Caliente Sanitaria y agua fría: La ubicación de los tanques de agua y termotanque no son óptimas porque se encuentran muy alejadas de los sanitarios, en especial del baño de dormitorio principal. Se recomienda que el tanque se encuentre sobre lavadero y baño. En caso negativo se recomienda dividir el sistema en dos circuitos, en especial el agua caliente de ducha incorporando un colector solar en baño en suite. No sólo por el ahorro energético significativo que se lograría sino también el ahorro de derroche de agua producido al esperar que el agua llegue a la temperatura justa. Además, la inversión en largos tramos de cañería por más que estén aisladas, con su consecuente gasto en materiales y mano de obra.
- 14- Otra solución es un termotanque eléctrico pequeño combinado con el colector solar e independizar el dormitorio principal del sistema general de ACS (agua caliente sanitaria).

- 15- Se recomienda el uso de colectores solares de agua en cubierta, en especial para el dormitorio principal.
- 16- Es factible en la cubierta realizar la instalación de energías renovables como paneles fotovoltaicos y luminarias exteriores solares.
- 17- Es recomendable la instalación de una estufa rusa (eficiente) en el espacio dispuesto para la chimenea.
- 18- No se recomienda muro trombe en fachada norte dado que donde sería óptima su ubicación, es donde se localiza la cava que requiere mantener la temperatura rondando los 22 °C.

### **Proyecto mejorado con pozo canadiense y DVH: Perfiles de cargas energéticas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Detalle de Ganancias y pérdidas**

Para poder dimensionar el impacto de las recomendaciones anteriores se realizaron nuevas simulaciones modificando en el modelo: aberturas, aleros, superficies vidriadas y se incorporó el pozo canadiense como se muestra en la figura 7.

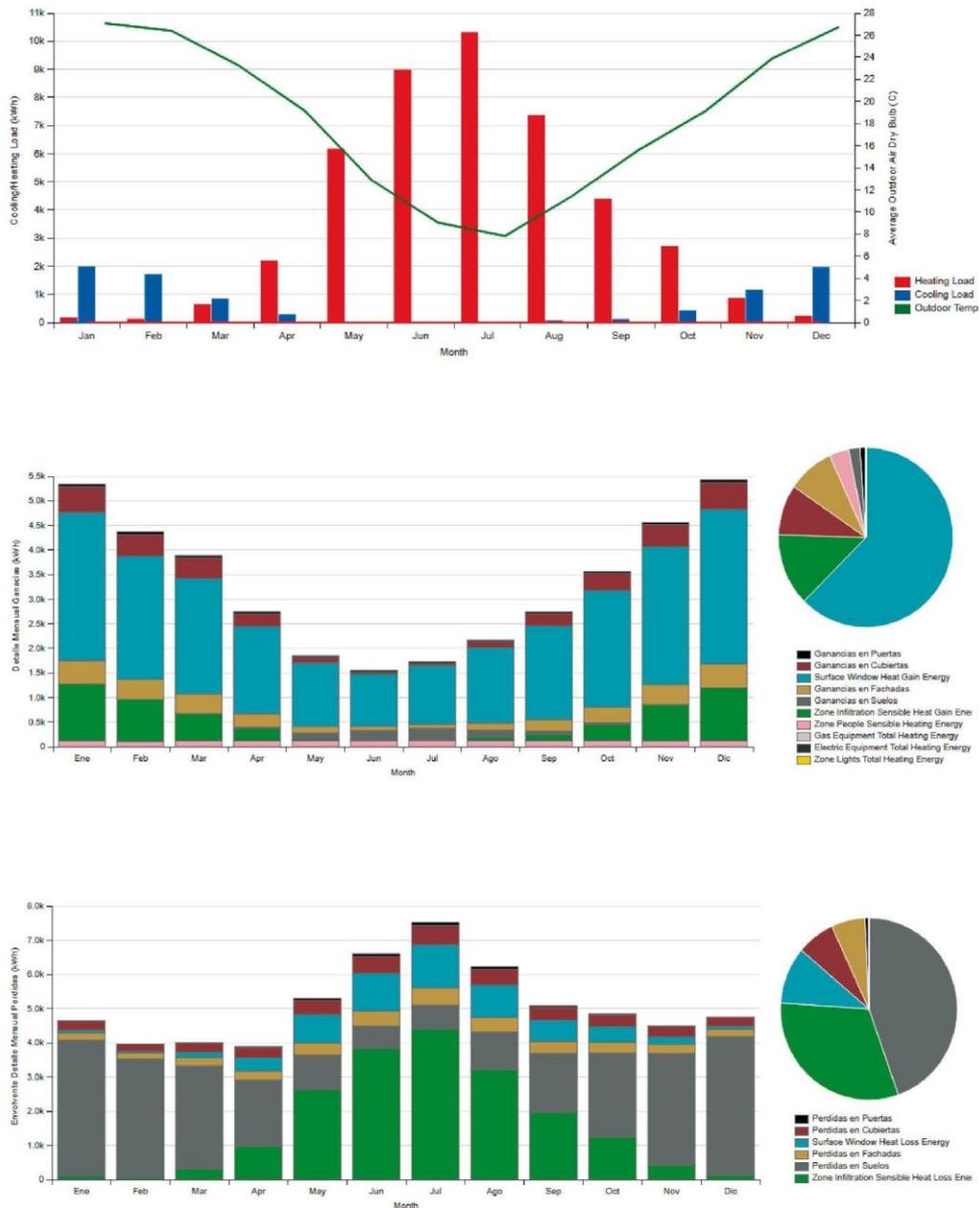


**Figura 7.** Modelo 3D de la versión mejorada con pozo canadiense y DVH.

Para este caso se simula la vivienda mejorada incluyendo dicho pozo con una temperatura constante de aire de 15 °C en la tubería de intercambio de calor de caños de PVC vertical. También se disminuyeron aberturas en fachada oeste, y norte procurando mantener la estética original de las ventanas rajadas verticales. Se reemplazó la puerta vidriada hacia el este del estudio por una puerta opaca.

En la figura 8, la gráfica superior expone un importante ahorro energético cercano al 40% en comparación con el proyecto original. Se destaca la disminución de los consumos de aire acondicionado y la reducción de los picos de demanda energética en invierno. Las cargas totales por m<sup>2</sup> pasaron de 433 a 262 KWh/m<sup>2</sup> año.

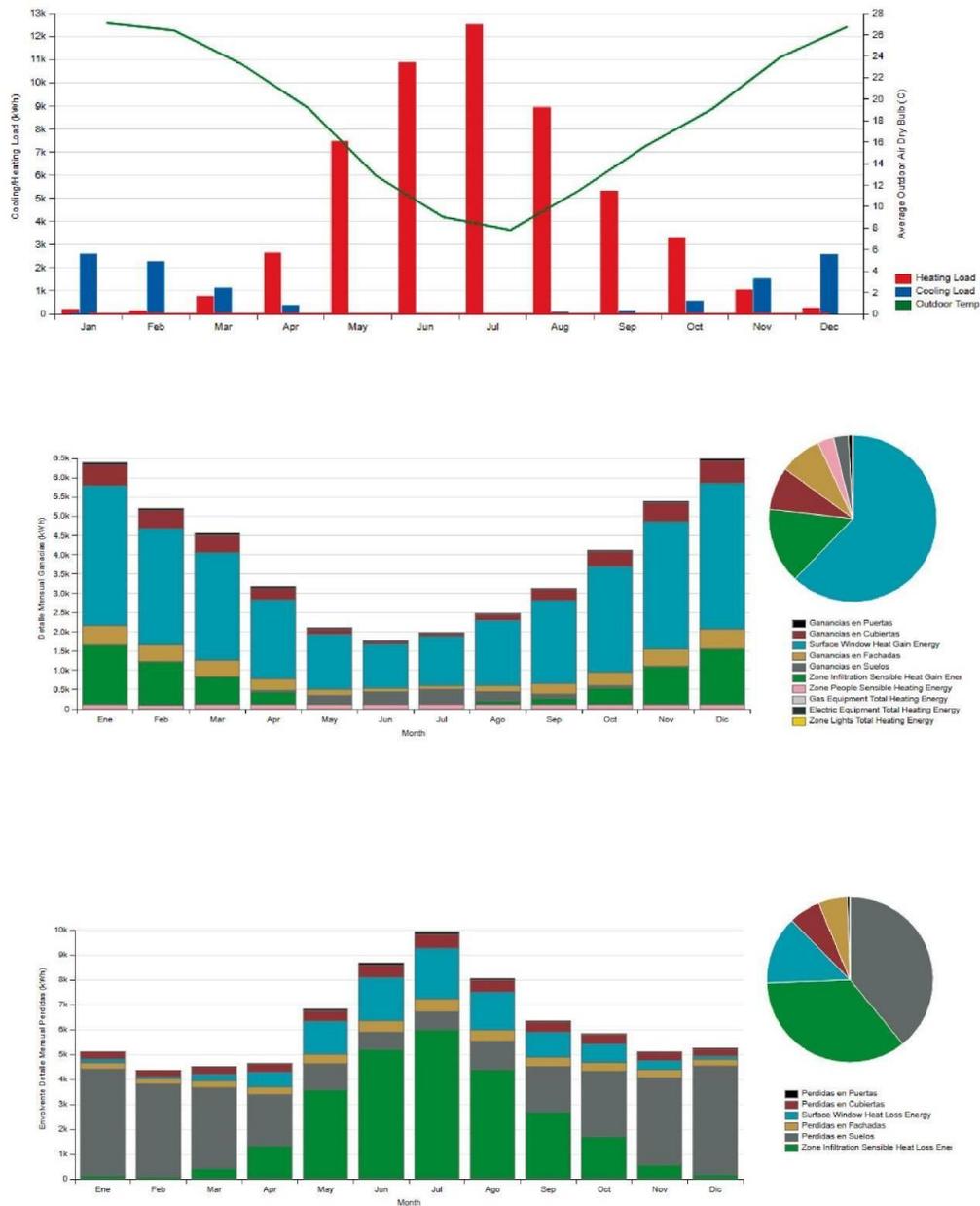
En relación a las pérdidas (figura 8 gráfica inferior) y ganancias (figura 8 gráfica central), se observa una diferencia de aproximadamente el 43.74% y 34,84 % respectivamente entre los valores del proyecto original y el mejorado, siendo 109418 y 66169 KWh año en el primero y 61551 y 40102 KWh año en el segundo.



**Figura 8.** Proyecto mejorado con DVH: Cargas de climatización mensuales, ganancias y pérdidas por tipo de envoltente con Energy Plus. **Fuente:** E. propia.

La mayor parte de las ganancias se dan por las superficies vidriadas (representadas en azul), las pérdidas se dan por infiltraciones y contacto con el suelo (representadas en verde y gris). Se destaca que los valores de la escala de ganancias en las gráficas de las figuras 6 y 8 son la mitad (10k y 5.5k) respecto al proyecto original. Las infiltraciones se han reducido notablemente. La buena calidad de la envoltente opaca colabora positivamente en el impacto que producen las modificaciones en superficies vidriadas. Finalmente, en este proyecto mejorado se percibe un mayor equilibrio entre las fuentes de las pérdidas.

**Proyecto mejorado con pozo canadiense sin DVH: Perfiles de cargas energéticas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado). Detalle de Ganancias y pérdidas**



**Figura 9.** Proyecto mejorado sin DVH: Cargas de climatización mensuales, ganancias y pérdidas por tipo de envolvente con Energy Plus **Fuente:** E. propia.

En este último caso, se reemplazaron los DVH por vidrio simple con carpintería de calidad media en cuanto al grado de infiltraciones. Se observa en la figura 9 un aumento de los consumos, aunque el ahorro de energía es cercano al 25% respecto del proyecto original. Esta evaluación sirve para realizar un análisis de costos al momento de la construcción para evaluar el costo de oportunidad de la inversión en DVH y determinar el posible período de recupero de la inversión en este tipo de carpinterías de alta calidad y si es conveniente colocarla en toda la vivienda, o bien solo en fachadas críticas como Norte y Oeste.

En el caso de las ganancias (figura 9 gráfica central) la diferencia entre el proyecto original y mejorado sin DVH es de 29%, siendo el total de ganancias a lo largo del año 46600 kWh. Por su parte las pérdidas (figura 9 gráfica inferior) se vieron reducidas en un 32 % representando un total anual de 74600 kWh. Cabe destacar que, a pesar de emplear aberturas con vidrio simple de menor calidad, se sigue manteniendo una mejora importante debido a la reducción de superficies vidriadas sumada al correcto dimensionamiento de los aleros.



**Figura 10.** Vista Este y renders de vista Oeste modificadas según las recomendaciones. **Fuente:** Elaboración Propia.

Cargas anuales (KWh/m <sup>2</sup> año)	Proyecto original	Proyecto mejorado con pozo y DVH	Proyecto mejorado con pozo sin DVH
Refrigeración	127,30	42,21	56,08
Calefacción	305,89	220,53	267,25

**Tabla 3.** Comparativa de cargas energéticas anuales por metro cuadrado.

La tabla 3 muestra los resultados numéricos de las simulaciones energéticas de requerimientos anuales por metro cuadrado, para el proyecto original, mejora con pozo canadiense y DVH y finalmente el mejorado con pozo canadiense sin DVH.

### Conclusiones

Una de las principales conclusiones de este trabajo es reconocer la factibilidad de aplicar este tipo de análisis en casos reales de construcción, incluso una vez que el proyecto ya está definido. Mediante la auditoría de proyectos previamente a su aprobación municipal, es provechoso resolver aspectos de diseño cruciales para un mejoramiento en el funcionamiento de la vivienda, evitando problemas de sobrecalentamiento estival, encandilamiento y exceso de consumo energético, aun habiendo definido envolventes que presentan un alto rendimiento energético.

Es importante destacar que para este tipo de trabajos se requiere una celeridad especial y un grado de precisión aceptable donde se evalúan variaciones en distintos casos sin llegar a la optimización integral mediante métodos metaheurísticos. También se debe tener en cuenta que la presentación de los resultados a los clientes debe ser simple, gráfica y sencilla. Es allí donde, la lista de recomendaciones específicas plasmada en una hoja de ruta cobra relevancia para el éxito de la transferencia a la obra construida.

Este trabajo demuestra que con un trabajo no excesivamente minucioso y sólo algunas iteraciones con modificaciones a criterio de los arquitectos especialistas, es factible alcanzar mejoras en la performance de la

vivienda de más del 50% de requerimiento energético. Aplicando soluciones accesibles en el mercado y de simple ejecución en obra. A su vez, este tipo de evaluaciones mejoran sustancialmente el comportamiento higrotérmico energético del edificio evaluado.

No obstante, se insiste que la participación temprana en la etapa de ideas y anteproyecto por parte de los arquitectos especialistas es significativamente valiosa para lograr edificios eficientes de modo integral. Es decir, mejorar la performance energética y también de aspectos como el uso racional del agua fría y caliente, la incorporación de sombras adecuadas y la orientación correcta desde un principio.

Es importante tener presente que este tipo de construcciones como viviendas unifamiliares aisladas con altos recursos disponibles deben lograr un adecuado diseño sustentable dado que su impacto es mucho mayor que viviendas pequeñas compactas y con aberturas acotadas como suele suceder en las viviendas sociales.

Es momento que las normativas nacionales y provinciales exijan la aplicación y evaluación del diseño bioclimático, uso de materiales amigables con el medioambiente, eficientes energéticamente, incorporación de energías renovables y la educación del usuario sobre buenas prácticas para proyectos que superen los 120 m<sup>2</sup>, apuntando a la clase media y alta quienes son históricamente los mayores consumidores en el sector residencial.

Por su parte, son cada vez más de estos comitentes quienes se acercan al arquitecto con la intención de ser más sustentables a la hora de construir sus viviendas familiares y poseen los medios para conseguirlo. Esta afirmación nos lleva a la conclusión que los profesionales arquitectos tenemos que estar capacitados en sustentabilidad en general y en diseño bioclimático y tecnologías eficientes energéticamente para hacer frente a este mercado que crece exponencialmente y se expande en tipologías de menor envergadura como también, de mediana como clínicas médicas, hotelería, y otros.

## Bibliografía

- Badescu V., Laaser N., Crutescu R., Crutescu M, Dobrovicescu A. y Tsatsaronis G. (2011). Modeling, validation and time dependent simulation of the first large passive building in Romania. *Renew Energy*; 36(01), 142-157.
- Banco mundial. (2021). <https://www.bancomundial.org/es/home>
- Carruthers, D. D., Roy, G. G., y Uloth, C. J. (1985). *An evaluation of formulae for solar declination and the equation of time* (Research Report No. 17). School of Architecture, The University of Western Australia.
- Correa Cantaloube, E. (2022). Conceptos fundamentales. En E. Correa Cantaloube (Comp.), *Bioclimatología aplicada al diseño urbano sustentable, herramientas de valoración energética y ambiental*. INAHE-CONICET.
- Curso de certificadores, 2020. Etiquetado de viviendas. Ministerio de Economía. Secretaría de Energía. Cursado en 2020 edición actualizada.
- Dury, A. (2014-2022) WMO Region 3 - South America. EU.: Climate.OneBuilding.Org. [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/ARG\\_Argentina/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/ARG_Argentina/index.html)
- ECOTECH Building Analysis for designers v5 [software]. <https://es.freedownloadmanager.org/Windows-PC/Autodesk-Ecotect-Analysis.html> recuperado el 26/09/2022
- EnergyPlus. (2022). EnergyPlus 22.2.0 [software]. EnergyPlus. <https://energyplus.net/>
- Fachinotti, V. D., Bre, F., Mankel, C., Koenders, E. A. B., & Caggiano, A. (2020). Optimization of Multilayered Walls for Building Envelopes Including PCM-Based Composites. *Materials*, 13(12), 2787. <https://doi.org/10.3390/ma13122787>

- González Leonardo, M., López-Gay, A., Recaño Valverde, J., & Rowe, F. (2022). *Cambios de residencia en tiempos de COVID-19: Un poco de oxígeno para el despoblamiento rural. Perspectives Demogràfiques*, 1-4. <https://doi.org/10.46710/ced.pd.esp.26>
- IPCC. (2022) Synthesis Report of the Sixth Assessment Report. IPCC. <https://www.ipcc.ch/ar6-syr/> [21/10/2022].
- Klößeiko, P., & Freudenberg, P. (2019). Generative reverse-modelling approach to hygrothermal material characterization. MATEC Web of Conferences, 282, 02088. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928202088>
- Lam J.C., Yang L., Liu J. (2006). Development of passive design zones in China using bioclimatic approach. *Energy Convers Manage*; 47(04):746- 62.
- Negrin, I., Negrin, A., & Chagoyén, E. (2019). Optimización metaheurística de conjuntos estructurales de hormigón armado Metaheuristic optimization of structural sets of reinforced concrete. 34.
- Omrany H.; Marsono A.K. (2016). Optimization of Building Energy Performance through Passive Design Strategies. *British Journal of Applied Science & Technology* 13(6): 1-16.
- Open Studio 3.5.0 [software]. <https://openstudio.net/> recuperado el 24/4/2023
- Sadineni SB, Madala S, Boehm RF. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 15(08):3617-31
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable et al. (2016). MANUAL DE VIVIENDA SUSTENTABLE. C.A.B.A. – República Argentina. Recuperado de: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual\\_de\\_vivienda\\_sustentable\\_2.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/manual_de_vivienda_sustentable_2.pdf)
- Sulaiman H, Oga Martinez L, (2022). simulación higrótérmica vs. etiquetado de vivienda nacional, análisis crítico de metodologías y herramientas. XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación de Energías Renovables y Ambiente (ASADES).
- Sulaiman H, Oga Martinez L, (2023). ¿Utopía o realidad? Factibilidad de un proyecto de vivienda multifamiliar con materiales reciclados en el centro de Argentina. [En prensa]. *Revista 180*.
- Sulaiman H.; Sánchez Amono M. P.; Gaggino R.; Oga Martínez L. (2019). Evaluación térmico-energética de un prototipo de vivienda sustentable con materiales reciclados. R, C, S (Ed), Euro elects 2019 III Encuentro Latinoamericano y Europeo sobre Edificaciones y Comunidades Sostenibles.
- Sulaiman, H., Sipowicz, E., Filippín, C. y Oga, L. (2020). Energy Performance of Dwellings in a Temperate Climate Area of Argentina. An Architectural Proposal. *The Open Construction and Building Technology Journal*.
- Taha, H. A., & Navarro Salas, R. (2015). Investigación de operaciones (9a. ed.). Pearson Educación.
- Valentina Garrido Oyarzo (31 de marzo, 2023), tesis magister, Trayectorias y elecciones residenciales de los nuevos residentes de las parcelas de agrado durante la pandemia del COVID-19: el caso de Puerto Varas. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales Pontificia Universidad Católica de Chile
- Tejavathu RU., RavI, P., Shukla, K. (2010) Life cycle energy analysis of buildings: an overview. *EnergyBuild*, 42(10):1592 600.
- Trimble Inc. (2022). Sketchup. [software]. <https://www.sketchup.com/es>
- Valentina Garrido Oyarzo (31 de marzo, 2023), tesis magister, Trayectorias y elecciones residenciales de los nuevos residentes de las parcelas de agrado durante la pandemia del COVID-19: el caso de Puerto Varas. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales Pontificia Universidad Católica de Chile