



Received: 05/07/2023

Accepted: 03/10/2023

Anales de Edificación

Vol. 9, Nº2, 23-30 (2023)

ISSN: 2444-1309

DOI: 10.20868/ade.2023.5365

## Distribución volumétrica para el aprovechamiento de la energía solar. Caso de estudio en Soria, España.

## Volumetric distribution for the use of solar energy. Case study in Soria, Spain.

Santiago Tomás Fondoso Ossola<sup>a</sup>; Irene Martini<sup>a</sup>; Emanuela Giancola<sup>b</sup>; Silvia Soutullo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC), Argentina; santiagofondoso@iipac.laplata-conicet.gov.ar; irenemartini@iipac.laplata-conicet.gov.ar

<sup>b</sup> Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); emanuela.giancola@ciemat.es; silvia.soutullo@ciemat.es

---

*Resumen*-- En el campo de la construcción resulta necesario diseñar edificios teniendo en cuenta el aprovechamiento de la energía solar. Actualmente las herramientas más utilizadas en la disciplina proporcionan resultados cualitativos a partir de la experimentación y no consideran el ensayo de múltiples opciones en etapas proyectuales. El objetivo de este trabajo es facilitar esta labor y brindar un proceso de evaluación basado en la comparación detallada de diversas situaciones. La metodología propuesta consta de 3 etapas (i. Situación actual, ii. Formulación de alternativas y iii. Comparación de resultados) y se apoya en softwares amigables con el usuario y familiarizados con el tema del hábitat construido. Como caso de estudio se adoptó la ampliación de una estructura modular ligera ubicada en Soria (España). El estudio permitió determinar el impacto de las sombras generadas sobre el edificio de interés, lo que proporcionó nuevas bases a las autoridades del proyecto para tomar decisiones.

*Palabras clave*— Energía solar; análisis de sombras; diseño arquitectónico; herramientas de simulación medioambiental; energía solar; herramientas de simulación medioambiental.

---

*Abstract*— In the field of construction, it is necessary to design buildings taking into account the use of solar energy. Currently, the most commonly used tools in the discipline provide qualitative results based on experimentation and do not consider the testing of multiple options in the design stages. The aim of this work is to facilitate this task and provide an evaluation process based on the detailed comparison of different situations. The proposed methodology consists of 3 stages (i. Present situation, ii. Formulation of alternatives and iii. Comparison of results) and is supported by user-friendly software familiar with the built environment. As a case study, the extension of a light modular structure located in Soria (Spain) was adopted. The study allowed to determine the impact of the shadows generated on the building of interest, which provided new bases for the project authorities to make decisions.

*Index Terms*— Solar Energy; shade analysis; architectural design; environmental simulation tools; solar energy; environmental simulation tools.

---

## I. INTRODUCCIÓN

A partir de la actual situación energético-ambiental a nivel global, se ha fomentado el diseño bioclimático en edificios y el uso de energías renovables. En el campo de la construcción, diseñar edificios eficientes con posibilidades de aprovechar energías provenientes de fuentes renovables resulta cada vez más necesario, ya que éstos son responsables del 40%-45% de la energía total en ciudades modernas (Tarkar, 2022) y del 35% de las emisiones de dióxido de carbono (Nematchoua *et al.*, 2020). En este sentido, el uso de la energía solar resulta una alternativa viable para su posterior transformación en energía utilizable. Esta energía es limpia, barata y está disponible durante todo el año (Sansaniwal, *et al.*, 2018). Aunque presenta dificultades como la intermitencia del recurso ante la nubosidad o la fluctuación propia de la potencia diaria, puede utilizarse para el reemplazo de las energías provenientes de fuentes convencionales. Utilizando sistemas fotovoltaicos puede generarse energía eléctrica y, mediante sistemas solares térmicos, puede obtenerse energía calórica. Incluso puede aprovecharse directamente a partir de recursos arquitectónicos, como la buena orientación de ventanas (lumínica y calórica) y la utilización de lumiductos (Balsari and Boutet, 2020) (lumínica).

En las primeras fases del diseño proyectual uno de los factores a tener en cuenta por los profesionales de la construcción es la incidencia del sol sobre las superficies de los edificios. Sin importar la escala del proyecto, se utilizan modelos que permiten analizar sombras o el nivel de iluminación en espacios interiores. Las escuelas de diseño y de arquitectura, en general, ofrecen laboratorios experimentales con instrumentos analógicos para este tipo de estudios. En la Fig. 1 puede observarse el uso de un cielo artificial y un heliodón sobre edificios a escala.

Los estudios efectuados en esta instancia pueden ofrecer resultados acordes a las fases tempranas de proyecto, utilizando herramientas que facilitan el aprendizaje de nuevos conceptos. Sin embargo, cuando se requiere de la evaluación de múltiples alternativas es necesario contar con valores alfanuméricos que permitan comparar resultados. En este sentido, existen otras herramientas digitales que permiten agilizar el análisis solar sobre diversas geometrías. Actualmente ciertos softwares

permiten, además de diseñar figuras y volumetrías, simular los efectos climáticos de un determinado sitio.

El programa SketchUp (Trimble, “SketchUp 2018,” 2013), por ejemplo, permite diseñar volumetrías y georreferenciarlas en un determinado sitio, de esta manera se tiene una versión digital de un ensayo de sombras utilizando un heliodón. Esta herramienta es preferida por estudiantes y profesionales del diseño por su facilidad en cuanto a la creación de figuras tridimensionales. Sin embargo, carece de complementos para realizar estudios climáticos. A pesar de ello, otros programas especializados en la simulación energética aprovechan su potencial permitiendo importar archivos de extensión “skp”. Estudios como los de (Buonomano *et al.*, 2014) utiliza geometrías realizadas en SketchUp para luego importarlas a TRNSYS (TRNSYS, 2019). Asimismo, existen softwares que permiten el modelado de geometrías y la simulación de los efectos climáticos. El software Rhinoceros3D (Rhino) (Rhinoceros, 2015) cumple con estas características mediante la ejecución de Grasshopper (GH) (McNeel, 2023). GH es un plug-in que se ejecuta dentro de Rhino, y permite el manejo paramétrico de información geométrica proporcionando al usuario una interfaz gráfica para scripting en el lenguaje de programación Python (van Rossum, 2023). De esta forma, el diseñador/modelador necesita desarrollar (o importar) en Rhino sólo un modelo virtual de edificio/urbano, y automáticamente la herramienta GH desarrollada vincula diferentes dominios. Trabajos como los de (Fondoso Ossola *et al.*, 2021); (Choi *et al.*, 2022); (J. Zhang *et al.*, 2019) y (Fondoso Ossola *et al.*, 2021) utilizan esta herramienta para examinar cuantitativamente los efectos de la radiación solar sobre la superficie de un determinado edificio. En contraposición, si no se cuenta con un archivo ejecutable en GH que permita simular los efectos de la radiación solar, se debe tener conocimiento de visual programming para realizar un algoritmo que permita efectuar dicha simulación.

A partir de lo esbozado, se pone en evidencia la necesidad de contar con herramientas que faciliten el estudio de la incidencia solar sobre edificios, de modo que los resultados permitan evaluar múltiples alternativas en un determinado proyecto. El objetivo de este trabajo es establecer una metodología para el estudio de la radiación solar en edificios, de modo que los



Fig. 1. Análisis experimental de sombras y nivel de luminosidad en edificios a escala. (Fuente: extraído de <https://lambda.fau.unlp.edu.ar/equipos>, último acceso: 09/03/2023)

resultados permitan el análisis a partir de valores gráficos y alfanuméricos. Por otro lado, se busca que la misma sea accesible y amigable con el usuario.

## II. METODOLOGÍA

El uso de herramientas de simulación permite cuantificar el comportamiento energético de diferentes configuraciones de edificios de manera dinámica. Estas herramientas proporcionan información que facilita la toma de decisiones en función de los requisitos energéticos del edificio y de los potenciales solares maximizados, optimizando el proceso de simulación en términos de complejidad y coste computacional. Con el objetivo de identificar las alternativas que ofrecen la mayor posibilidad de captar energía solar en las superficies expuestas de edificio, se propone una metodología, la cual consistente en 3 etapas:

- i. Situación actual.
- ii. Formulación de alternativas.
- iii. Comparación de resultados.

La Fig. 2 representa un esquema de la metodología utilizada. Asimismo, se prevé que esta metodología podrá ser aplicable tanto a edificios nuevos como a edificios existentes a través de la construcción y rehabilitación.

### 1. Situación actual

Consiste en representar la situación actual del proyecto. Para ello, se realizan 2 pasos en paralelo a partir de la representación volumétrica: la determinación del alcance de sombras y la verificación de la radiación solar recibida.

Para efectuar la representación actual de la volumetría se realiza un modelo tridimensional en SketchUp. Se dispone,

entonces, de planos de proyecto, fotografías, imágenes satelitales y otra documentación que permita precisar el modelo. Una vez obtenida la volumetría, se debe georeferenciar el proyecto a partir de la opción “Geolocalización” o desde la geolocalización manual, determinando la latitud y longitud del sitio. De este modo, se obtiene el mismo efecto de sombras que en el sitio del proyecto. Paso seguido, con el complemento “Curicsun” se ensayan las sombras para distintas épocas del año con la ayuda de un heliodón virtual. En esta etapa se observan los periodos donde el edificio de interés es afectado por las mismas. Es a partir de esta información cualitativa que se diseñan nuevas alternativas.

Para obtener datos cuantitativos de la situación existente — para su posterior comparación— se procede a la observación de la radiación solar recibida en la superficie expuesta del edificio de interés. Para ello, se importa desde Rhino las geometrías modeladas en SketchUp y, abriendo GH, se ejecuta el archivo “Algoritmo\_potencial\_solar.gh.” Este último se lo reconoce como una herramienta digital para la simulación solar en edificios (HD-SARSE), y puede obtenerse en (Fondoso Ossola, *et al.*, 2022). Consiste en un algoritmo desarrollado en visual programming que, mediante una serie de pasos, permite simular los efectos del clima. Como resultado, la herramienta brinda datos gráficos y alfanuméricos de radiación solar sobre las superficies de una determinada geometría. Por último, cabe destacar que para realizar la simulación es necesario contar con las extensiones de ladybug tools (Rhinoceros, 2015). Éstas permiten procesar datos mediante motores de simulación aprobados por disciplinas orientadas al diseño de espacios para el hábitat (Sadeghipour Roudsari and Mackey, 2018).

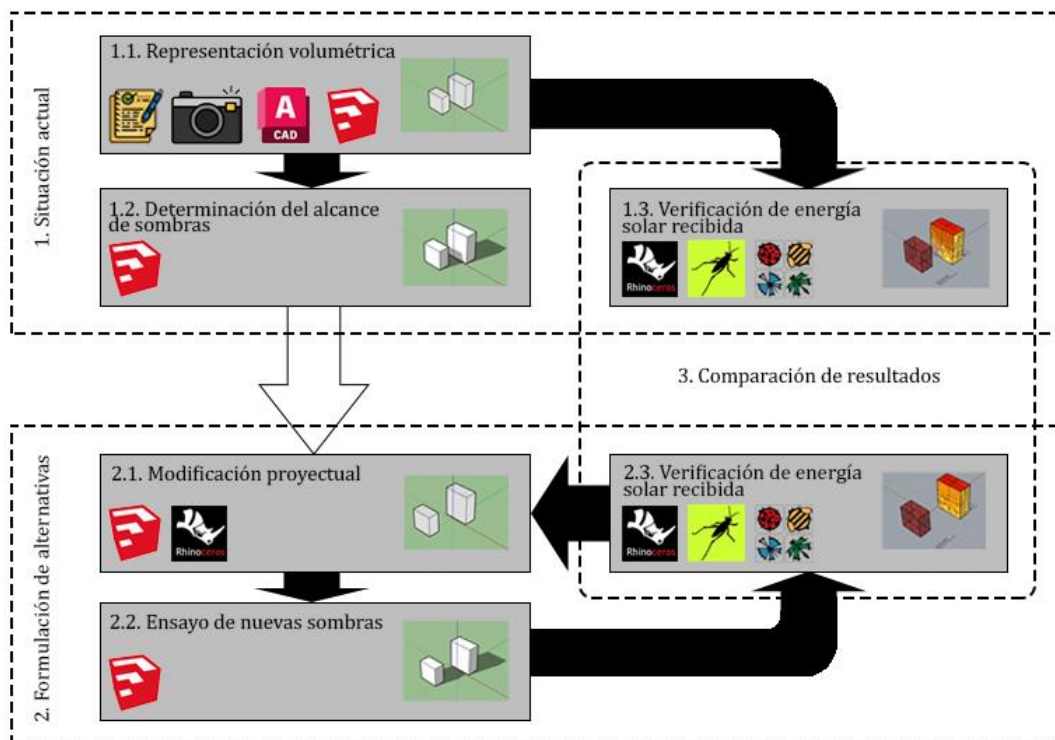


Fig. 2. Esquema de la metodología propuesta. (Fuente: elaboración propia)

## 2. Formulación de alternativas

Una vez realizada la simulación de sombras, y registrados los períodos donde las mismas inciden en mayor medida sobre el edificio de interés, se continúa con el diseño de nuevas alternativas en el proyecto.

En primer lugar, se modifica el proyecto en función del efecto de las sombras analizadas, esta operación puede efectuarse tanto en SketchUp como en Rhino. Posteriormente, se ensayan las nuevas sombras en SketchUp verificando que las mismas se proyecten en menor medida sobre el edificio de interés. Finalmente, con la nueva disposición de volúmenes, se verifica la radiación solar para su posterior comparación con datos cuantitativos. Si se desea, a partir de este punto puede efectuarse una nueva modificación de volúmenes, para luego verificar la proyección de sombras y volver a comparar nuevos datos de radiación solar con la situación existente.

## 3. Comparación de resultados

Finalmente, esta etapa consiste en comparar datos entre la situación actual con una o varias alternativas. Los datos por comparar consisten en la radiación solar recibida sobre la superficie del edificio de interés en un determinado tiempo de análisis. Dichos datos consisten en valores expresados en [kWh].

### III. CASO DE ESTUDIO

Como caso de estudio, se ha considerado la ampliación de un módulo habitacional construido a partir de una estructura modular ligera. Dicho edificio se encuentra en las instalaciones del CEDER-CIEMAT en Soria (España) (Fig. 3). La estructura de dicho módulo está compuesta por un tipo de panel sándwich, siendo configurada bajo un concepto de construcción



Fig. 3. Imagen aérea del proyecto de ampliación en Soria. (Fuente: CIEMAT)

industrializada para conseguir un cambio rápido de componentes. Este diseño permite evaluar una amplia variedad de edificios de tamaño natural variando su compacidad y superficie construida, mediante la eliminación o cambio de elementos móviles dependiendo de la configuración que se quiera analizar.

Cabe destacar que esta región se caracteriza por un clima oceánico (zona Cfb según la clasificación climática de Köppen) (Chazarra Bernabé *et al.*, 2020). Este clima presenta inviernos largos y fríos con frecuentes nevadas, veranos cálidos pero templados con noches frescas y precipitaciones moderadas a lo largo del año. En este trabajo se ha empleado un fichero climático de EnergyPlus (EnergyPlus, 2015) para Soria como variable entrada en las simulaciones sobre el edificio de interés. El mismo fue creado por la Universidad de Sevilla como un fichero SWEC (Spanish Weather for Energy Calculations). Este archivo contiene los valores en los horarios de las principales variables climáticas generados sintéticamente mediante

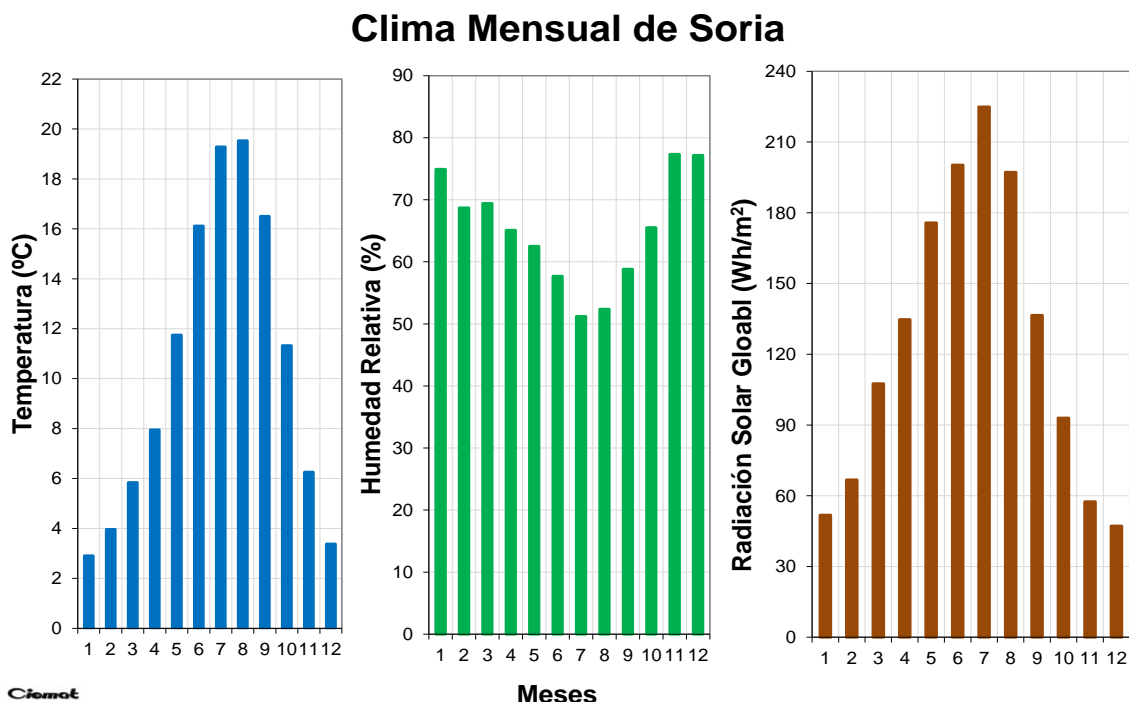


Fig. 4. Media mensual de los valores de temperatura (azul), humedad relativa (verde) y radiación solar global (marrón) del fichero de Soria. (Fuente: CIEMAT)

Climed, a partir de datos medios mensuales provenientes de AEMET (Agencia Estatal de Meteorología española). La Fig. 4 muestra los valores medios mensuales de la temperatura del aire (barras azules), la humedad relativa (barras verdes) y la radiación solar global sobre la superficie horizontal (barras marrones) proporcionados por este fichero. Tal y como se observa, los valores máximos medios mensuales de temperatura se registran en verano en torno a 19 °C mientras que los mínimos se registran en invierno en torno a 3 °C. Por el contrario, la humedad relativa alcanza su valor máximo en invierno, con medias del 77%, y su valor mínimo en verano, con medias del 51%. La radiación solar global sobre la superficie horizontal registra un valor medio anual de 2.040 Wh/m<sup>2</sup>\*año. Este valor anual se distribuye estacionalmente con un 41% en verano, un 28% en primavera, un 19% en otoño y un 11% en invierno.

Atendiendo a los valores de radiación solar incidente sobre cada una de las fachadas de los laboratorios se observa que la correcta orientación de la fachada del edificio tiene un gran impacto en el cálculo del potencial solar. Por un lado, la incidencia de la radiación solar en las fachadas este y oeste tiene una distribución desfavorable debido a una mayor incidencia durante los meses de verano. Sin embargo, la fachada sur alcanza la máxima incidencia de radiación solar durante los meses de primavera y otoño, con valores mínimos en la época estival. Por último, la orientación norte acumula la menor radiación solar a lo largo del año.

#### IV. RESULTADOS

Como aplicación de esta metodología se analiza el posicionamiento de dos laboratorios modulares (contenedores marítimos) ubicados en el CEDER-CIEMAT. Estos elementos son los que inciden en mayor medida a la posible obtención de energía solar en el edificio de interés, el cual consiste en la ampliación de 4 módulos de 2,5 m x 2,5 m, en dos niveles. Mediante la obtención de planos, registro fotográfico y otra documentación se proyectó el modelo tridimensional con la futura ampliación en el módulo habitacional situado al noreste.

Posteriormente se ensayaron las sombras en 3 momentos del día (mañana, mediodía y tarde) en las distintas estaciones del año. Se tomaron como límites las horas 9hs y 15hs suponiendo que en otros horarios puede incidir el alcance de sombras de elementos del entorno lejano no modelados.

Como paso siguiente se analizó la radiación solar recibida en las superficies expuestas de la ampliación utilizando la herramienta HD-SARSE. Se seleccionó el período anual y el invernal, ya que es en este último donde las sombras proyectadas por los elementos del entorno inmediato inciden, en mayor medida, al edificio de interés. El valor de radiación solar en el período anual resulta de 87.261,94 kWh, mientras que la simulación en invierno ofreció un valor de 13.882,91 kWh.

Como parte de la segunda etapa metodológica, se realizaron las modificaciones en el proyecto teniendo en cuenta los resultados cualitativos obtenidos en el ensayo de sombras. De este modo, los laboratorios modulares situados al sur de la ampliación se movieron 7 m hacia el sur, evitando la proyección de sombras en invierno. A partir de este paso, se realizó la simulación de energía solar sobre las superficies del edificio de interés en el período anual e invernal. En este caso, la radiación solar recibida en la superficie fue de 92.160,71 kWh, en el período anual, y de 18.569,56 kWh, en el período invernal.

Comparando los resultados con la situación actual se obtiene una ganancia mayor de radiación solar equivalente a 4.898,77 kWh al año y 4.686,65 kWh en invierno. En la Tabla 1 puede observarse una síntesis de los resultados.

Para visibilizar los resultados de otra posibilidad, desde el modelo de la situación actual se movió solamente el laboratorio con paneles fotovoltaicos 7 m hacia el sur, dejando al otro laboratorio en su lugar de origen. Realizando la simulación se obtuvo que, en la volumetría de interés se obtiene anualmente una radiación solar de 91.527,61 kWh y una de 15.425,16 kWh en invierno.

Comparando las tres situaciones se obtiene que la alternativa 1 ofrece más potencial en cuanto a las posibilidades de

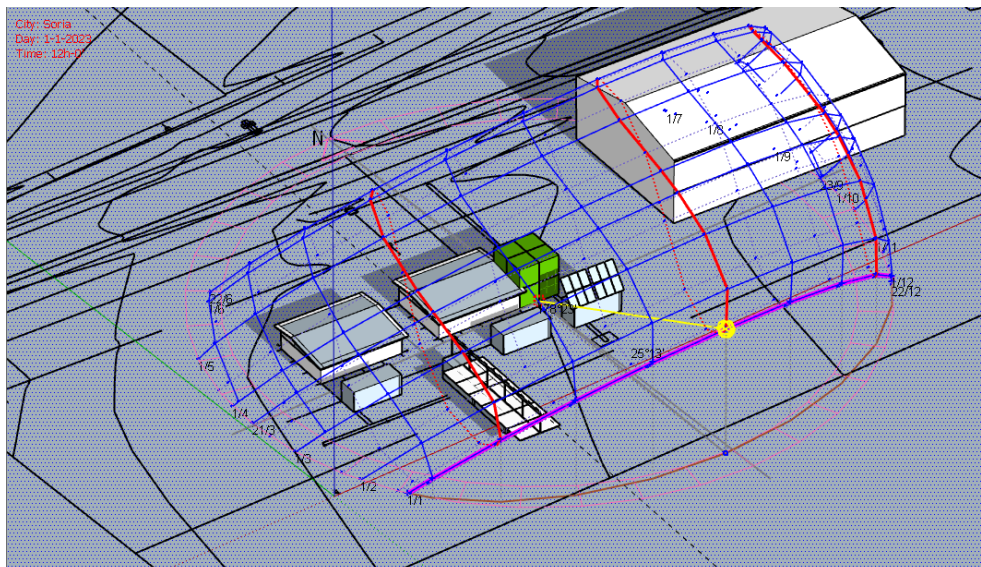


Fig. 5. Determinación del alcance de sombras en la situación actual, ejemplo para el mediodía de invierno (1° de enero). (Fuente: elaboración propia)

aprovechar la energía solar. La Tabla 2 sintetiza los valores de cada situación.

1. *Discusión de los resultados*

La metodología propuesta permite identificar, entre distintas alternativas, cuál de ellas ofrece mayores valores de radiación solar sobre el total de la superficie expuesta de un edificio de interés. De esta manera, se obtiene, en una fase temprana de proyecto, la opción con mayor aprovechamiento. Si bien, puede intuirse sobre la mejor alternativa mediante la simple observación de las sombras proyectadas, la decisión de realizar cambios en un proyecto puede ser tan costosa como para requerir valores detallados para su posterior evaluación.

En el caso de estudio ya era sabido que retirar hacia el sur los laboratorios modulares proporcionarían mejores posibilidades de

aprovechamiento de la radiación solar en el edificio de interés. Sin embargo, restaba determinar hasta qué punto era necesario moverlos, cuánto mayor sería la ganancia solar y si esto último compensaría los costos operacionales para realizar tales modificaciones. Los resultados obtenidos ofrecen valores cualitativos y cuantitativos expresados en forma gráfica y alfanumérica, lo cual proporciona bases para la fundamentación de decisiones.

Moviendo 7 m hacia el sur los contenedores, se observó que, desde las 9hs hasta las 15hs las sombras de estos elementos no se proyectan en la ampliación, obteniendo una mayor ganancia de energía solar en invierno, momento del año donde la ganancia solar directa por ventanas es requerida. Si bien no se establece la cantidad de energía solar obtenida, se tiene, a partir de este estudio, las disposiciones volumétricas en el proyecto

TABLA I  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LA ALTERNATIVA

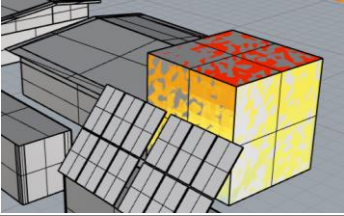
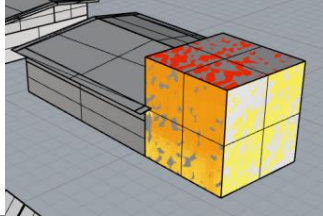
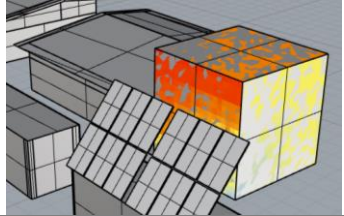
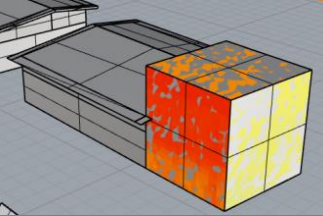
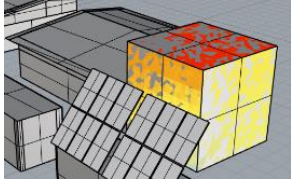
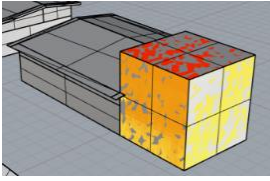
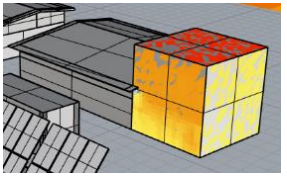
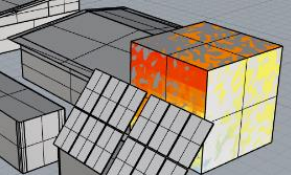
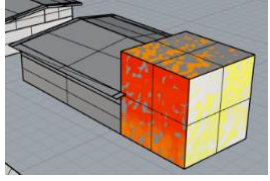
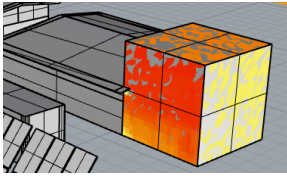
Situación		Actual	Alternativa
Valores de radiación solar anual	Gráficos		
	Alfanuméricos	87.261,94 kWh	92.160,71 kWh
Valores de radiación solar en invierno	Gráficos		
	Alfanuméricos	13.882,91 kWh	18.569,56 kWh

TABLA II  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LAS PROPUESTAS

Situación		Actual	Propuesta 1	Propuesta 2
Valores de radiación solar anual	Gráficos			
	Alfanuméricos	87.261,94 kWh	92.160,71 kWh	91.527,61 kWh
Valores de radiación solar en invierno	Gráficos			
	Alfanuméricos	13.882,91 kWh	18.569,56 kWh	15.425,16 kWh

para el mayor aprovechamiento de esta en un edificio de interés.

Para determinar la cantidad de energía solar posible, resulta necesario avanzar en fases del diseño para establecer cómo utilizar la energía solar. En este sentido, si existe una alternativa que ofrece mayores ganancias en fachadas, pueden diseñarse ventanas, sistemas fotovoltaicos o sistemas solares térmicos con paneles verticales, muros acumuladores de calor (Discoli, *et al.*, 2011) y muros trombe.

## V. CONCLUSIONES

A partir de la actual situación energético-ambiental, los arquitectos y profesionales del diseño se ven con la necesidad de contar con herramientas para el estudio del posible aprovechamiento de energías provenientes de fuentes renovables para la sustitución de las provenientes de hidrocarburos. En este sentido, para la utilización de la energía solar se proporciona una metodología útil para las fases tempranas de proyecto apoyada en softwares amigables con el usuario y familiarizada con las disciplinas del hábitat construido. La misma consta de 3 pasos y utiliza los programas AutoCAD, para la obtención de planimetría (modelo 2D), SketchUp, para la realización de volumetrías y el estudio de sombras (modelo 3D + Curicsun), y Rhinoceros3D, para la simulación energética y realización de volumetrías (modelo 3D + GH-ladybug tools). Asimismo, se ofrece el archivo ejecutable en GH “Algoritmo\_potencial\_solar.gh” para poder efectuar la simulación.

Aplicando la metodología en el caso de estudio se obtuvieron resultados gráficos y alfanuméricos para comparar dos alternativas ante una situación actual. De este modo, se consiguió, para una fase temprana de diseño, una herramienta útil para establecer mejores opciones respecto a las posibilidades para el aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, queda en las autoridades de proyecto tomar decisiones frente a nueva información, la cual deberá ser evaluada considerando otras variables referidas a costos de operación.

Finalmente, se considera que los resultados a partir de la metodología propuesta conforman una base de datos para el diseño arquitectónico más detallado. Considerando los resultados gráficos brindados en el canvas de Rhino, una vez ejecutada la simulación, las superficies de valores más elevados pueden considerarse el espacio para el diseño de alternativas correspondientes a sistemas activos o pasivos para el aprovechamiento de la energía solar.

## REFERENCIAS

Balsari, S. M.; Boutet, M. L. “Estrategias para el aprovechamiento y control de la luz solar en espacios arquitectónicos culturales y patrimoniales de la región NEA,” *Comun. Científicas y Tecnológicas Anu.* 2020, pp. 83–97, 2021, [Online]. Available: <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/30201>.  
Buonomano, A.; Calise, F.; Ferruzzi, G.; Palombo, A. “Dynamic energy performance analysis: Case study for energy efficiency retrofits of hospital buildings,” *Energy*,

vol. 78, pp. 555–572, 2014, doi: 10.1016/j.energy.2014.10.042.  
Chazarra Bernabé, A.; Lorenzo Mariño, B.; Romero Fresneda, R.; Moreno García, J. V. “Evolución de los climas de Köppen en España en el periodo 1951-2020,” 2022. doi: 10.31978/666-22-011-4.  
Choi, Y.; Kobashi, T.; Yamagata, Y.; Murayama, A. “Assessment of Waterfront Office Redevelopment Plan on Optimal Building Arrangements with Rooftop Photovoltaics: A Case Study for Shinagawa, Tokyo,” *Energies*, vol. 15, no. 3, p. 883, Jan. 2022, doi: 10.3390/en15030883.  
Discoli, C. A.; Viegas, G. M.; San Juan, G. A. “Viviendas bioclimáticas en Tapalque. Sistema de climatización por muros acumuladores de calor (MAC): Resultados preliminares,” *Av. en energías Renov. y medio Ambient.*, vol. 15, pp. 1–41, 2011.  
EnergyPlus, “EnergyPlus,” EnergyPlus website, 2015. <https://energyplus.net/> (accessed Sep. 15, 2021).  
Fondoso Ossola, S. T.; Sphar, G.; Anido, G. “Herramienta Digital para la Simulación y Análisis de la Radiación Solar en Edificios (HD-SARSE),” *Mendeley Data*, 2022. <https://doi.org/10.17632/6hvwtnfk8v.7> (accessed Mar. 15, 2023).  
Fondoso Ossola, S. T.; Cristeche, J.; Chévez, P.; Barbero, D. A.; Martini, I. “Metodología para la Evaluación del Potencial Solar en Establecimientos Hospitalarios,” *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 25, pp. 98–108, 2021, [Online]. Available: <https://avermaexa.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/154/39>.  
Fondoso Ossola, S. T.; Cristeche, J.; Chévez, P.; Barbero, D. A.; Martini, I. “Construcción de una Herramienta Digital para la Simulación y el Análisis de la Radiación Solar sobre Edificios,” *Av. en Energías Renov. y Medio Ambient.*, vol. 25, pp. 352–362, 2021, Accessed: Sep. 16, 2022. [Online]. Available: <http://portalderevistas.unsa.edu.ar/ojs/index.php/averma/article/view/2432>.  
McNeel, R. “Grasshopper: algorithmic modeling for Rhino,” *Grasshopper website*, 2023. <https://www.grasshopper3d.com/> (accessed Mar. 15, 2023).  
Nematchoua, M. K. *et al.*, “Comparative analysis of bioclimatic zones, energy consumption, CO2 emission and life cycle cost of residential and commercial buildings located in a tropical region: A case study of the big island of Madagascar,” *Energy*, vol. 202, p. 117754, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117754.  
Rhinoceros, “food4Rhino,” <https://www.food4rhino.com/en>, 2015. <https://www.food4rhino.com/es> (accessed Sep. 19, 2021).  
Rhinoceros, “Rhino - Características,” *Rhinoceros 3D website*, 2015. <https://www.rhino3d.com/features/#administración> (accessed Sep. 16, 2021).  
Sadeghipour Roudsari, M.; Mackey, C. “Ladybug Tools,” *Ladybug Tools website*, 2018. <http://ladybug.tools/about.html> (accessed Dec. 12, 2021).

- Sansaniwal, S. K.; Sharma, V.; Mathur, J. “Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. January, pp. 1576–1601, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.07.003.
- Tarkar, P. “Role of green hospitals in sustainable construction: Benefits, rating systems and constraints,” *Mater. Today Proc.*, vol. 60, pp. 247–252, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.511.
- Trimble, “SketchUp 2018,” SketchUp website, 2013. <https://www.sketchup.com/es/products/sketchup-pro> (accessed Dec. 23, 2021).
- TRNSYS, “Welcome | TRNSYS : Transient System Simulation Tool,” Trnsys website, 2019. <http://www.trnsys.com/> (accessed Sep. 15, 2021).
- van Rossum, G. “Phyton,” Python website, 2023. <https://www.python.org/> (accessed Mar. 15, 2023).
- Zhang, J. *et al.*, “Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city,” *Appl. Energy*, vol. 240, no. January, pp. 513–533, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.033.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.