

METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN ESTABLECIMIENTOS HOSPITALARIOS

Santiago T. Fondoso Ossola, Joaquina Cristeche, Pedro Chévez, Dante A. Barbero, Irene Martini

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) - Universidad Nacional de La Plata (UNLP)

Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Calle 47 N°162, La Plata, CP 1900, Buenos Aires.

www.iipac.unlp.edu.ar (54) (221) 4236587/90, interno 207. E-mail:

santiagofondoso@iipac.laplata-conicet.gov.ar, joaquinacristeche@iipac.laplata-conicet.gov.ar, pedrochevez@conicet.gov.ar, dantebarbero@iipac.laplata-conicet.gov.ar, irenemartini@iipac.laplata-conicet.gov.ar

RESUMEN: Ante la necesidad de contar con herramientas para la gestión de la energía y proporcionar medidas que reduzcan el impacto ambiental producido por la demanda en edificios, se propone desarrollar una metodología que permita evaluar el potencial solar de los establecimientos pertenecientes a una red de hospitales. Estos últimos se caracterizan por ser edificios energo-intensivos y de una clara connotación social. La metodología propuesta establece 3 índices para la evaluación del potencial solar: el índice de captación, el de sustitución y el de inyección. Posteriormente, con el fin de elaborar hipótesis que faciliten la toma de decisiones y la formulación de políticas energéticas, se analizan los índices propuestos con las variables territoriales, morfológicas, de consumo energético y de captación de energía solar. Los resultados obtenidos para la red de hospitales públicos de la micro-región del Gran La Plata indican que las variables territoriales poseen un mayor peso que las variables morfológicas al determinar el índice de captación. Asimismo, se verificó que los índices de inyección y sustitución resultan fundamentales para obtener conclusiones respecto a la cuantificación de la energía solar captada en relación a la energía consumida.

Palabras clave: Índice solar. Red hospitalaria. Energía solar.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la gestión de la energía se presenta como un tema significativo para abordar objetivos orientados al desarrollo sustentable (Organización de las Naciones Unidas, 2015). El uso de recursos finitos, como los provenientes de fuentes fósiles, y el impacto ambiental que su uso produce, debe ser regularizado y, al mismo tiempo, se deben encontrar otras vías que generen el menor impacto en el ambiente. En este sentido, el aprovechamiento de la energía solar proporciona una alternativa para la sustitución de fuentes convencionales, respondiendo satisfactoriamente a la creciente demanda de energía. Es limpia, barata y está disponible en abundancia durante todo el año (Sansaniwal et al., 2018); aunque también presenta dificultades, tales como la intermitencia del recurso ante la nubosidad o la fluctuación propia de la potencia diaria cuya forma resulta acampanada.

En cuanto a la producción de la energía primaria en Argentina, la matriz energética, expone en su último informe que la energía solar mantiene una participación del 0,16%, superado ampliamente por la participación de la producción de energía proveniente de fuentes fósiles (34,52% correspondiente al petróleo y 54,97% a gas natural). Se percibe, además, un consumo final aproximado al 8% pertene-

ciente al sector comercial y público (Ministerio de Energía y Minería, 2018), el cual incluye el consumo de todas las actividades comerciales y de servicio de carácter privado, los consumos energéticos del gobierno a todo nivel (nacional, provincial y municipal), instituciones y empresas de servicio público como defensa, educación, salud, entre otras (Ministerio de Energía y Minería, 2016). Si bien constituye una demanda menor respecto al sector residencial, transporte e industria, el subsector salud está conformado por edificios energo-intensivos de clara connotación social (Discoli, 1998).

Se estima que la demanda energética de los hospitales constituye una de las más altas de los edificios no residenciales (González González et al., 2018). En un modo semejante lo expresan Alexis & Liakos (2013), quienes sostienen que los hospitales poseen el mayor consumo de energía por unidad de superficie en el sector edilicio. Esto se debe al uso continuado de equipos de calefacción y refrigeración, con el fin de mantener niveles satisfactorios de confort térmico y de calidad del aire interior para los pacientes, así como el uso de iluminación artificial de forma continua en varios equipos sanitarios eléctricos. Asimismo, estudios de diversos países han analizado el consumo energético de distintas tipologías edilicias. En ellos, se observa una amplia diferencia entre los consumos energéticos por unidad de superficie en hospitales respecto a otras tipologías, tales como comercios, restaurantes, escuelas y viviendas (González et al., 2011; Ma et al., 2019; Nematchoua et al., 2020).

Por otra parte, se observa que los edificios hospitalarios disponen en general de una considerable superficie disponible para la incorporación de tecnologías para la transformación de la energía solar en energía utilizable (eléctrica y/o calórica), lo cual permite caracterizar a los hospitales como edificios potenciales para la instalación de sistemas solares (pasivos y/o activos). En función de lo expuesto, el presente trabajo propone establecer tres índices que resultan de utilidad para realizar una evaluación y una detección temprana de la potencialidad que los hospitales pueden ofrecer para el aprovechamiento de la energía solar: el índice de captación, el índice de sustitución y el índice de inyección.

Para el cálculo de los índices resulta importante tener en cuenta los siguientes aspectos: i. La amplia diversidad de tipologías en el subsector salud. En el caso de la red de hospitales estatales de la provincia de Buenos Aires, los edificios han sido construidos en distintos períodos, desde principios del Siglo XX hasta años recientes. Con el objetivo de responder rápidamente al crecimiento poblacional y a la demanda del servicio sanitario, los hospitales se han erigido obedeciendo a distintas directrices y normativas en las etapas proyectuales. Esto ha generado, no sólo la existencia de múltiples “estilos arquitectónicos” en las fachadas de los establecimientos, sino que ha sido la causa del agrupamiento de edificios con distintas tecnologías constructivas, formas y tamaños; ii. La localización territorial de los establecimientos hospitalarios. Los mismos pueden situarse en distintas zonas con características diferentes respecto a su entorno inmediato, ya que persiguen responder a las necesidades en distintos sectores urbanos; iii. La determinación del consumo energético, la cual requiere realizar estimaciones a partir de cálculos, donde se involucran las variables que definen dicho consumo para las distintas áreas hospitalarias, o bien, analizar lecturas de los consumos reales de energía eléctrica y gas natural de los distintos establecimientos; y iv. La necesidad de contar con una herramienta versátil y práctica, para realizar el análisis y/o comparaciones de resultados relacionados a la irradiación solar sobre edificios. Se debe contar con una herramienta digital que permita asociar la geometría de distintos establecimientos con los datos de insolación, propios de un sitio en particular.

En este sentido, el presente trabajo busca aportar soluciones al consumo energético en establecimientos energo-intensivos, como es el caso de las redes de hospitales, proporcionando una metodología para la identificación de aquellos establecimientos hospitalarios con un mayor potencial para la incorporación de sistemas solares. Asimismo, se pretende identificar los atributos de cada hospital que influyen en mayor medida en la captación de la energía solar. Esto posibilitará observar los índices solares y las características pertinentes de una red hospitalaria de manera integrada y desagregada, proporcionando una herramienta para la gestión energética en el subsector salud y brindando argumentos para la formulación de políticas energéticas relacionadas a la implementación

de sistemas para el aprovechamiento de energías renovables.

METODOLOGÍA

Para el análisis y evaluación del potencial solar en establecimientos hospitalarios se plantean las siguientes etapas:

1. Selección y caracterización de hospitales
2. Obtención de Índices para la evaluación del potencial solar
3. Análisis solar

1. Selección y caracterización de hospitales

Este punto se centra en la primera aproximación al objeto de estudio, concebido, en este caso, por un número de hospitales vinculados bajo el concepto de red, donde los edificios (nodos) están vinculados por algún orden jerárquico formal o informal de complejidades (Discoli, 1999). Posteriormente, se elabora una base de datos que permita introducir atributos que incidan directamente en la captación de la energía solar y en el consumo de la energía. En este caso se opta por la información referida a las variables territoriales, morfológicas, de comportamiento energético y de captación de la energía solar. Las primeras dos (territoriales y morfológicas) se relacionan directamente con las posibilidades de captar mayor o menor energía solar, advirtiendo obstrucciones y orientaciones óptimas; mientras que las últimas (de comportamiento energético y de captación de la energía solar) se relacionan con las posibilidades de generar un mayor o menor aprovechamiento de la misma.

En una primera instancia, se seleccionan establecimientos hospitalarios que estén situados en una misma región o que compartan, en cierta medida, una misma área de influencia. Entendiendo que las gestiones para los establecimientos privados y públicos son diferentes desde el punto de vista operativo, se propone una selección de establecimientos pertenecientes a una misma categoría de dependencia (pública o privada). Una vez seleccionados los establecimientos hospitalarios se plantea profundizar en las variables territoriales, morfológicas, de comportamiento energético y, por último, en la de captación de la energía solar.

Variables territoriales

Las variables territoriales hacen referencia a las características del entorno inmediato donde se encuentra el establecimiento hospitalario a analizar. Este análisis se realiza a partir de relevar indicadores tales como: la altura de los edificios, la densidad poblacional y el factor de ocupación del suelo (FOS) del establecimiento analizado. Este último surge del cociente entre la superficie del terreno y la superficie cubierta del mismo. Los valores de dichas variables se obtienen por medio de datos obtenidos en trabajo de campo, el estudio de los códigos urbanos de cada municipio y de imágenes satelitales.

Variables morfológicas

Las variables morfológicas tienen en cuenta el tamaño del establecimiento y la forma en la que se distribuyen los edificios que lo componen. Para ello, se toman indicadores referidos a la cantidad de metros cuadrados construidos, la superficie total expuesta (techos y muros) y la tipología arquitectónica. La cantidad de metros cuadrados construidos puede relevarse a través del análisis de la planimetría obtenida por los ministerios provinciales o del personal a cargo de cada establecimiento. Para hallar la superficie expuesta se trabajó con un modelo tridimensional mediante un programa CAD (diseño asistido por computadora), mientras que, para la identificación de tipologías arquitectónicas, se realizó a partir de estudios previos, en los cuales se detectaron 8 tipologías edilicias: Pabellonal, Claustral, Monobloque, Polibloque, Bloque Basamento, Bloque Coligado, Sistemico y Otros tipos (Czajkowski, 1993).

Variables de comportamiento energético

Las variables del comportamiento energético se refieren al consumo anual de combustibles provenientes de fuentes fósiles. Los valores adoptados son: el consumo energético total (gas natural + electricidad) y la desagregación específica del consumo de energía eléctrica. Estos valores se obtuvieron a partir de la lectura del consumo anual de cada medidor, proporcionada por ministerios provinciales. En caso de no contar con acceso a dicha información se podrán realizar estimaciones de consumo teniendo en cuenta la cantidad de camas disponibles por establecimiento, ya que existe una correlación directa entre estos valores y el consumo energético de los hospitales (González González et al., 2018). Otra alternativa sería realizar cálculos teóricos desagregados, atendiendo al consumo generado por cada área hospitalaria y sus respectivos submódulos (Martini et al., 2000).

Variable de captación de la energía solar

Por último, la variable de energía solar captada se refiere a la irradiación solar sobre la superficie total expuesta de un establecimiento hospitalario en el período de un año (valor expresado en [TEP/año]). Para ello, se construyó una herramienta digital que permite calcular la irradiación solar sobre la envolvente de un modelo edilicio, construido en un entorno CAD 3D, a partir de la irradiación solar del sitio y de las sombras que inciden en su entorno.

Para llevar a cabo esta tarea, se requiere contar con la planimetría o el material necesario para determinar las distintas superficies de los hospitales en estudio. Complementariamente, se plantea la utilización de programas de diseño en 2D y 3D como el software AutoCAD y SketchUp, para realizar la volumetría tanto del establecimiento como del entorno inmediato (Figura 1). Así también, el modelado del entorno puede realizarse a partir de la observación de imágenes satelitales o mediante el código de edificación de cada municipio. Finalmente, para realizar una simulación de la irradiación solar sobre el modelo creado se propone la utilización de un software flexible, que permita importar modelos desde otros programas. El software Rhinoceros 3D, además de permitir modelar tridimensionalmente en él, posee una extensión llamada Grasshopper, la cual habilita un espacio para crear un algoritmo mediante un lenguaje embebido propio de Rhinoceros 3D. El algoritmo creado opera sobre modelos tridimensionales, posibilitando la simulación de la irradiación solar sobre los mismos (Figura 2).

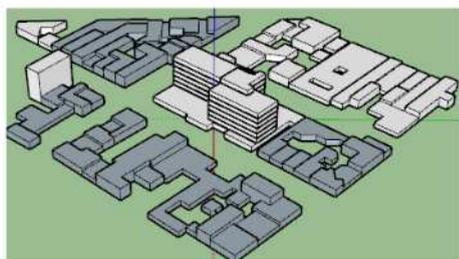


Figura 1: Ejemplo de modelización tridimensional en SketchUp

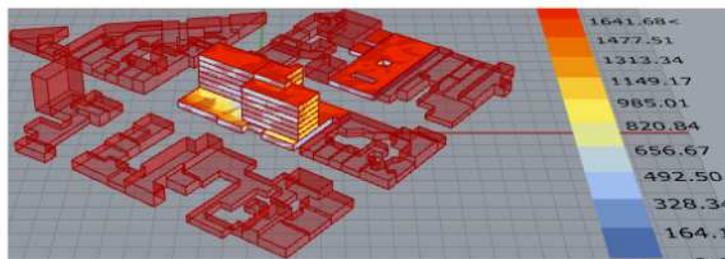


Fig. 2: Ejemplo de simulación de la irradiación solar con Rhinoceros 3D – Grasshopper

Cabe aclarar que, en el diseño del algoritmo, para introducir componentes que traten sobre el análisis de la energía solar, debe contarse previamente con la extensión “Ladybug Tools”. Además, se sugiere que el algoritmo se configure de manera tal que, las únicas acciones requeridas, cada vez que se introduzcan nuevas volumetrías sean: la selección de la geometría en la que se realizará la simulación de la irradiación solar y la selección de aquella que representará su entorno inmediato, verificando que los datos climáticos se correspondan al sitio donde se encuentra el hospital a analizar.

En base a lo expuesto anteriormente, se construyó un archivo ejecutable en Rhinoceros 3D, de tipo “Grasshopper Definition” (.gh), que brinda la posibilidad de establecer resultados de irradiación solar sobre una determinada geometría (importada o creada en el mismo software). El mismo puede descargarse en: <https://drive.google.com/file/d/1J11ffcT-aWIZk7OmJdvb3RxdwN6VAYcu/view?usp=sharing>

La Tabla 1 sintetiza las variables, dimensiones, indicadores y unidades de medida que se utilizan en los establecimientos hospitalarios (unidad de análisis).

Unidad de análisis	Variable	Dimensión	Indicador	Unidad
Establecimientos hospitalarios	Territorial	Entorno (Zona)	Altura de edificios	[m o niveles]
			Densidad	[hab./ha]
		Ocup. de terreno	Factor de ocupación	-
	Morfológica	Tamaño	Superficie construida	[m ²]
			Superficie expuesta	[m ²]
		Distribución de edificios	Tipología arquitectónica	[tipología]
	Comp. energético	Consumo total	Consumo de gas natural y e. eléctrica	[TEP/año]
		Consumo e. eléctrica	Consumo e. eléctrica	[TEP/año]
	Capt. de e. solar	Energía solar total recibida	Irradiación solar total	[TEP/año]

Tabla 1: Síntesis de las variables, dimensiones, indicadores y unidades utilizadas para la caracterización de establecimientos hospitalarios

Obtención de Índices para la evaluación del potencial solar

En esta etapa se plantea asignar a cada establecimiento hospitalario sus respectivos índices para que pueda efectuarse la evaluación del potencial solar de los mismos. Para ello, se utilizaron los siguientes: índice de captación, índice de sustitución e índice de inyección.

Índice de captación

El índice de captación establece el nivel de energía solar que puede ser captado por la superficie expuesta de un establecimiento (vertical y horizontal), teniendo como referencia la irradiación solar global del lugar. La cantidad de energía solar captada por cada hospital dependerá principalmente de su ubicación geográfica, la cual permite determinar la irradiación solar global sobre el plano horizontal. También influirán otros aspectos propios de la implantación del hospital, como la forma arquitectónica de cada edificio y la relación con el entorno inmediato. Entonces, se considera índice de captación a la relación de la irradiación solar global anual recibida por un establecimiento hospitalario (I_{est}) y la irradiación solar global anual sobre el plano horizontal del sitio donde se encuentra dicho hospital (I_{sitio}) (ver Ec. 1).

$$I_{captación} = I_{est}/I_{sitio} \quad (1)$$

Donde:

$I_{captación}$ = índice de captación solar de un establecimiento hospitalario

I_{est} = irradiación solar global anual por unidad de superficie expuesta del establecimiento hospitalario (expresado en [TEP/m²*año]). Esta se calcula a partir del cociente de E_{solar} (energía solar total recibida por el establecimiento en el período de un año (expresado en [TEP/año])) y el valor de la superficie expuesta total de dicho establecimiento (fachadas y cubiertas) (expresado en [m²])

I_{sitio} = es la irradiación solar global anual sobre el plano horizontal del sitio donde se encuentra el establecimiento a analizar (expresado en [TEP/año*m²])

Índice de sustitución

El índice de sustitución indica la posibilidad que tienen los sistemas solares para su inclusión en los establecimientos hospitalarios. Esto implica alternativas de sustitución de la energía proveniente de fuentes fósiles (energía eléctrica y gas natural, provistos por la red pública). Asumiendo que ya se han incorporado medidas de eficiencia energética en los establecimientos en cuestión, queda por determinar cuánta de la energía proveniente de fuentes convencionales puede ser reemplazada por fuentes renovables solares. De esta manera, un establecimiento hospitalario que pueda incorporar más energía solar en relación a la que consume, se considerará potencial para la implementación de sistemas solares, ya sea para la sustitución de energía eléctrica o calórica. Si bien, en este punto se entiende que la eficiencia de las tecnologías para la transformación de la energía solar para usos particulares desempeña un rol importante, se busca proporcionar un valor general para estudios posteriores que profundicen sobre los sistemas a utilizar. Así, el índice de sustitución queda determinado como se observa en la siguiente ecuación (Ec. 2).

$$I_{\text{sustitución}} = E_{\text{solar}} / E_{\text{consumida}} \quad (2)$$

Donde:

$I_{\text{sustitución}}$ = índice de sustitución de un establecimiento hospitalario

E_{solar} = energía solar total recibida por el establecimiento en el período de un año (expresado en [TEP/año])

$E_{\text{consumida}}$ = energía total consumida por el establecimiento en el período de un año (expresado en [TEP/año])

Índice de inyección

Finalmente, el índice de inyección proporciona las posibilidades de introducir energía eléctrica a la red pública. Para ello, el hospital en cuestión debe ejercer el rol de prosumidor, es decir, generar energía eléctrica en mayor medida que la consumida e inyectarla a la red pública. Se establece entonces, un índice cuyo resultado sea el cociente entre la energía solar total recibida y la energía eléctrica consumida (Ec. 3).

$$I_{\text{inyección}} = E_{\text{solar}} / E_{\text{eléctrica}} \quad (3)$$

Donde:

$I_{\text{inyección}}$ = índice de inyección de un establecimiento hospitalario

E_{solar} = energía solar total recibida por un establecimiento en el período de un año (expresado en [TEP/año])

$E_{\text{eléctrica}}$ = energía eléctrica consumida por el establecimiento en el período de un año (expresado en [TEP/año])

La Tabla 2 sintetiza las variables, índices y expresiones que se utilizan en esta etapa.

Unidad de análisis	Variable	Índice	Expresión
Establecimientos hospitalarios	Índices para evaluación	Captación	$I_{\text{est}} / I_{\text{sitio}}$
		Sustitución	$E_{\text{solar}} / E_{\text{consumida}}$
		Inyección	$E_{\text{solar}} / E_{\text{eléctrica}}$

Tabla 2: Síntesis de las variables, índices y expresiones utilizadas para la evaluación de la potencialidad de establecimientos hospitalarios para la incorporación de sistemas solares

Análisis solar

En esta última etapa se relacionan los valores utilizados para la caracterización de los hospitales en estudio junto con los valores utilizados para evaluar el potencial solar en los mismos. De esta manera, se obtiene no sólo una lista de hospitales con sus respectivos índices solares, sino también, el material para elaborar conclusiones orientadas a identificar regularidades entre los establecimientos hospitalarios pertenecientes a una red y la energía solar de la que estos disponen.

RESULTADOS

Aplicación sobre caso de estudio

Para la aplicación de la metodología se tomó como caso de estudio parte de la red hospitalaria de la micro-región del Gran La Plata (MRGLP). La micro-región, conformada por los partidos de Berisso, Ensenada y La Plata se encuentra en la Provincia de Buenos Aires, pertenece a una zona bioclimática III, caracterizada como templada cálida, y a una subzona IIIb, donde se señala que las amplitudes térmicas durante todo el año son pequeñas (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, 2011). También se advierte que esta zona geográfica posee sobre su superficie horizontal una irradiación solar global diaria de 4,56 kWh/m² (NASA, 2018).

Selección e identificación de hospitales

Para este caso se seleccionaron establecimientos de dependencia provincial y perteneciente a la red de hospitales de la región XI de la Provincia de Buenos Aires. Los mismos poseen influencia Zonal o Interzonal, como así también, distintas especialidades y tipos de prestaciones.

Variables territoriales

Las variables territoriales se obtuvieron a partir del análisis de los códigos de ordenamiento urbano de cada municipio (La Plata, Berisso y Ensenada). Para determinar el entorno se asignó un tipo de zona (urbana, semiurbana o periurbana). La Tabla 3 sintetiza a modo de ejemplo las características de cada zona, ofreciendo una imagen satelital del entorno de un hospital para cada caso.

Zona	Urbana		Semiurbana			Periurbana
Municipalidad	La Plata		La Plata	Ensenada	Berisso	La Plata
Código	U/C3	U/C2b	U/R1	SU1	C1a	EUE
Altura [niveles]	6	8	3	3	s/d	s/d
Densidad [hab/ha]	1.600	1.800	400	800	400	s/d
Imagen						

Tabla 3: Características de las zonas urbanas designadas para el caso de estudio (urbana, semiurbana y periurbana)

La Tabla 4 sintetiza los valores de las variables morfológicas, territoriales, de consumo energético y de captación de la energía solar, para cada establecimiento hospitalario.

Establecimientos	Entorno (zona)	Ocupación del terreno	Sup. construida [m ²]	Sup. expuesta total [m ²]	Tipología arquitectónica	Cons. total [TEP/año]	Cons. eléctrico [TEP/año]	Irradiación solar total [TEP/año]
HZGA "Horacio Cestino"	Semiurbana	0,68	3.764,58	4.426,84	Monobloque	72,40	35,18	404,60
HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	Semiurbana	0,44	4.687,88	5.124,09	Otros tipos	42,30	24,38	450,07
HZGA "Dr. Larrain"	Semiurbana	0,70	5.301,13	6.831,68	Otros tipos	103,47	43,05	575,72
HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	Semiurbana	0,40	6.776,88	9.435,77	Claustral	102,71	41,69	905,67
HIGA "Dr. Prof. Rodolfo Rossi"	Semiurbana	0,75	11.863,33	9.593,10	Bloque-basamento	254,09	99,90	784,82
HIEAC "San Juan de Dios"	Semiurbana	0,25	20.864,85	27.358,68	Pabellonal	184,84	88,73	2.423,22
HIGA "San Roque"	Periurbana	0,36	11.126,51	11.251,09	Bloque-basamento	236,58	101,28	1.086,07
HIAEP "Sor María Ludovica"	Urbana	0,71	30.123,50	30.679,51	Otros tipos	603,00	347,15	1.947,81
HIGA "Gral. San Martín"	Urbana	0,73	39.225,62	54.085,63	Pabellonal	867,04	373,82	3.736,29
HIAC "Dr. Alejandro Korn"	Periurbana	0,06	42.943,41	70.799,97	Pabellonal	862,75	143,39	6.966,47

Tabla 4: Caracterización de establecimientos hospitalarios

Índices para la evaluación del potencial solar

A partir de los valores obtenidos en la caracterización de los establecimientos hospitalarios, se obtuvieron los índices para la evaluación del potencial solar para cada hospital, los cuales se sintetizan en la Tabla 5.

Establecimientos	Índice de captación	Índice de sustitución	Índice de inyección
HZGA "Horacio Cestino"	0,65	5,59	11,50
HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	0,62	10,64	18,46
HZGA "Dr. Larrain"	0,60	5,56	13,37
HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	0,68	8,82	21,73
HIGA "Dr. Prof. Rodolfo Rossi"	0,58	3,09	7,86
HIEAC "San Juan de Dios"	0,63	13,11	27,31
HIGA "San Roque"	0,68	4,59	10,72
HIAEP "Sor María Ludovica"	0,45	3,23	5,61
HIGA "Gral. San Martín"	0,49	4,31	9,99
HIAC "Dr. Alejandro Korn"	0,70	8,07	48,58

Tabla 5: Índices para la evaluación del potencial solar en establecimientos hospitalarios

La diversidad de resultados se debe a múltiples factores. Los valores correspondientes al índice de captación son producto del entorno donde se implantan los establecimientos analizados y/o la forma arquitectónica de los mismos. Asimismo, la diversidad de los valores correspondientes a los índices de sustitución y captación se deben a la diferencia existente entre los establecimientos analizados respecto al consumo energético y la energía solar que éstos pueden captar.

Análisis solar

Finalmente, los datos obtenidos en las etapas anteriores se analizan para identificar los atributos que influyen en mayor medida en los índices para la evaluación del potencial solar. En primer lugar, se analizan los aspectos que influyen directamente en la captación de la energía solar sobre las superficies expuestas de los establecimientos hospitalarios y, en segundo lugar, se analizan los aspectos que influyen en el posible uso de la energía solar captada.

Análisis respecto a las variables territoriales

Las variables territoriales influyen directamente sobre irradiación solar generada sobre la superficie expuesta de los establecimientos hospitalarios. En este punto se relacionan los resultados obtenidos de las variables territoriales y los índices de captación de cada hospital.

La Figura 3 muestra que el FOS constituye un aporte significativo, ya que, en cierta medida condiciona a los edificios al momento de obtener mayores niveles de irradiación solar sobre sus superficies expuestas. Además, pertenecer a una determinada zona significa implantarse en un entorno que puede ofrecer situaciones particulares, donde se presenten distintos tipos de obstáculos para la captación de la energía solar. Los edificios situados en las zonas periurbanas, como el HIGA "San Roque" y el HIAC "Dr. Alejandro Korn" poseen mayor índice de captación solar, al mismo tiempo que cuentan con un menor FOS (0,36 y 0,06 respectivamente). En tanto que los establecimientos situados en entornos urbanos, como el HIEAP "Sor María Ludovica" y el HIGA "Gral. San Martín", mantienen valores altos respecto al FOS (0,71 y 0,73 respectivamente) y un bajo índice de captación solar.

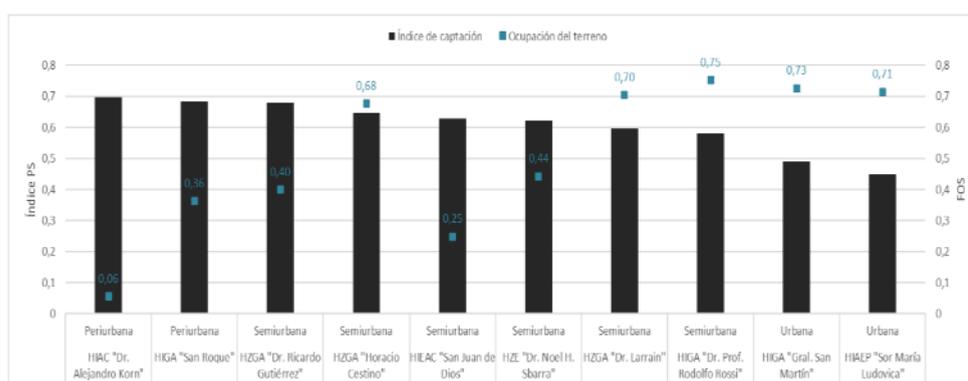


Figura 3: Análisis respecto a las variables territoriales

A partir de lo expuesto, puede interpretarse que las variables territoriales brindan información sustancial a la hora de determinar el índice de captación solar de un hospital.

Análisis respecto a las variables morfológicas

El análisis de las variables morfológicas, al igual que en el caso de las territoriales, influye directamente en la irradiación solar generada sobre la superficie expuesta de los establecimientos hospitalarios.

La Figura 4 muestra que contar con una mayor superficie expuesta (techo y muros exteriores) en relación a la superficie construida, o que el establecimiento pertenezca a una cierta tipología arquitectónica, no representa un hecho que informe directamente sobre el índice de captación solar del mismo. Si bien, los hospitales pabellonales poseen la ventaja de distribuir su volumen en una mayor superficie expuesta, deben, para garantizar una mayor captación de la radiación solar, mantener distancias acordes entre los edificios que componen el hospital. Este fenómeno puede visualizarse en el HIGA "Gral. San Martín", donde se pone en valor aspectos del entorno inmediato, como la ocupación del terreno y la zona urbana donde se implanta el hospital.

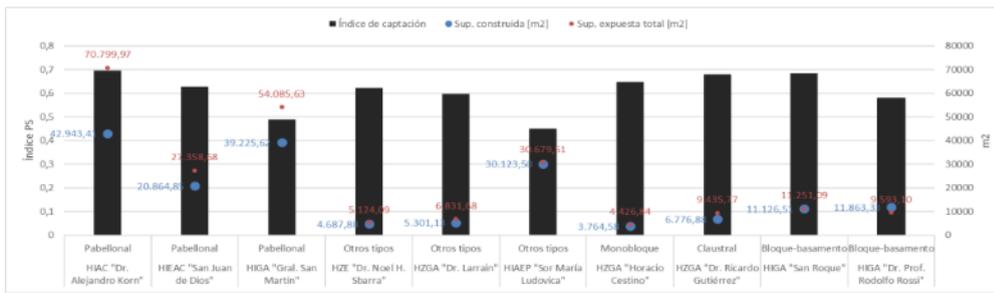


Figura 4: Análisis respecto a variables morfológicas

Al analizar el total de las tipologías estudiadas, puede visualizarse la irregularidad de resultados respecto al índice de captación solar, lo que permite afirmar que las características territoriales poseen un mayor peso para determinar el establecimiento con mayor potencial, según dicho índice.

Análisis respecto a variables de consumo energético y de energía solar captada

El análisis respecto a las variables relacionadas con el consumo energético y la energía solar captada permite, a diferencia de los anteriores, observar las relaciones entre los índices de inyección y de sustitución, ya que involucran directamente aspectos del consumo energético y de la captación de energía solar. Tanto el índice de sustitución como el de inyección no establecen un resultado directo con el consumo energético, lo que indica que no todos los casos el establecimiento con un menor consumo total va a posicionarse como potencial según el índice de sustitución, o el establecimiento con menor consumo de energía eléctrica posicionarse como potencial según el índice de inyección. De igual manera, observar solamente la irradiación solar total captada por un establecimiento no ofrecerá una vía segura de que este sea el valor que represente su potencial para sustituir más cantidad de energía o de proporcionar mayor energía eléctrica a la red. Por lo tanto, se deberá observar la irradiación solar total captada por cada establecimiento y su consumo en simultáneo. En definitiva, se deben analizar en forma conjunta los índices de inyección y/o sustitución. Por ejemplo, El HIGA "Gral. San Martín" ofrece un valor mayor de energía solar captada que el HIAEC "San Juan de Dios". Sin embargo, el esfuerzo que deberá realizar este último para sustituir las fuentes energéticas no renovables, o de inyectar electricidad a la red pública, será menor debido a su bajo consumo energético (Figura5).

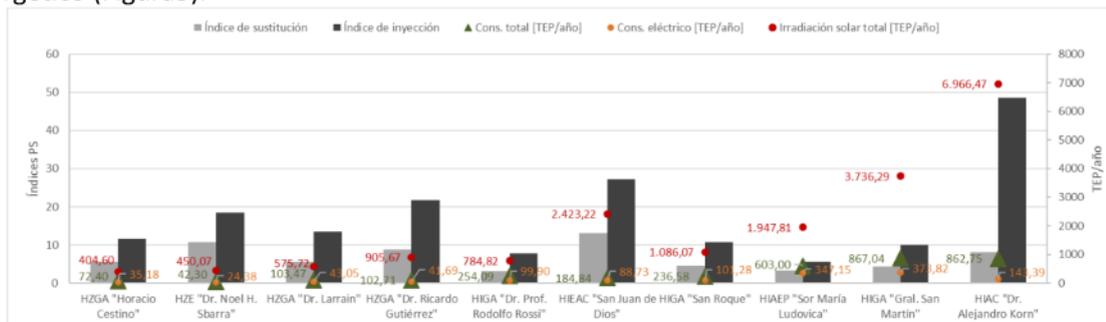


Figura 5: Análisis respecto a variables de consumo energético y energía solar captada

Discusión

La metodología implementada en el caso de estudio permitió evaluar y detectar en forma temprana aquellos hospitales con mayor potencialidad para la incorporación de sistemas solares. Además, el análisis de las variables de caracterización de los establecimientos en estudio con los índices para la evaluación del potencial solar, permitieron detectar regularidades en ciertas variables en relación a la captación de la energía solar, al mismo tiempo que fundamentar la necesidad de establecer índices para la inyección de energía eléctrica a la red pública o sustituir energía proveniente de fuentes convencionales. A partir de la utilización de los índices para la evaluación del potencial solar, los mismos permitieron posicionar los establecimientos hospitalarios en un orden de jerarquía (Tabla 6).

Índice de captación		Índice de sustitución		Índice de inyección	
HIAC "Dr. Alejandro Korn"	0,70	HIEAC "San Juan de Dios"	13,11	HIAC "Dr. Alejandro Korn"	50,54
HIGA "San Roque"	0,68	HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	10,64	HIEAC "San Juan de Dios"	25,26
HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	0,68	HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	8,818	HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez"	19,51
HZGA "Horacio Cestino"	0,65	HIAC "Dr. Alejandro Korn"	8,075	HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	18,58
HIEAC "San Juan de Dios"	0,63	HZGA "Horacio Cestino"	5,588	HZGA "Dr. Larrain"	13,39
HZE "Dr. Noel H. Sbarra"	0,62	HZGA "Dr. Larrain"	5,564	HZGA "Horacio Cestino"	11,74
HZGA "Dr. Larrain"	0,60	HIGA "San Roque"	4,591	HIGA "San Roque"	10,76
HIGA "Dr. Prof. Rodolfo Rossi"	0,58	HIGA "Gral. San Martín"	4,309	HIGA "Gral. San Martín"	10,49
HIGA "Gral. San Martín"	0,49	HIAEP "Sor María Ludovica"	3,23	HIGA "Dr. Prof. Rodolfo Rossi"	8,039
HIAEP "Sor María Ludovica"	0,45	HIGA "Dr. Prof. Rodolfo Rossi"	3,089	HIAEP "Sor María Ludovica"	5,673

Tabla 6: Establecimientos hospitalarios potenciales según índices de captación, sustitución e inyección

En base a los resultados obtenidos se observa que el HIAC "Dr. Alejandro Korn" y el HZGA "Dr. Ricardo Gutiérrez" se posicionan entre los establecimientos con mayor valor en relación a los tres índices. En este sentido, incorporar sistemas para el aprovechamiento de la energía solar en estos establecimientos significará una alternativa viable independientemente del uso que se le asigne en función de la energía solar captada. En tanto, si se desea aprovechar dicha energía solar para sustituir la proveniente de fuentes fósiles, el HIEAC "San Juan de Dios" representará la mejor alternativa. Además, el análisis entre las variables para la caracterización de los hospitales y los índices para la evaluación del potencial solar permitió concluir que las variables territoriales, en el caso de la micro-región del Gran La Plata, priman sobre las morfológicas al momento de determinar el mayor índice de captación solar. Asimismo, el análisis de los índices de inyección y sustitución, con los valores del consumo energético y de captación de energía solar de cada establecimiento; manifestó que en no todos los casos los hospitales con menor consumo, ni tampoco los que captan mayor energía solar, se posicionarán como las mejores alternativas para sustituir energía proveniente de fuentes convencionales o para inyectar energía eléctrica a la red pública. En este sentido, la mejor alternativa se originará a partir de una observación en simultáneo de dichos factores.

CONCLUSIONES

En un período donde es necesario contar con herramientas para la gestión de la energía, las cuales deben brindar alternativas que generen el menor impacto en el ambiente, el aprovechamiento de la energía solar se presenta como una solución factible. Asimismo, se observa que los establecimientos hospitalarios se posicionan como una buena alternativa para la incorporación de sistemas para el aprovechamiento de la energía solar, tanto para sustituir la utilizada (proveniente de fuentes fósiles) o para, eventualmente, ejercer como edificios prosumidores. En este trabajo se desarrolló una metodología que permite la evaluación y detección temprana de hospitales potenciales para la incorporación de sistemas solares, con la posibilidad de realizar un posterior análisis entre las variables de caracterización de cada establecimiento con los índices para la evaluación del potencial solar. Si bien esta metodología brinda los argumentos necesarios para identificar en forma temprana la potencialidad para la incorporación de sistemas solares, se advierte que, para determinar la factibilidad de proyectos que involucren la incorporación de sistemas solares específicos, se requieren estudios que aborden sobre los distintos sistemas disponibles a implementar. Estos se evaluarán según una determinada función o necesidad (calefaccionar, iluminar, etc.), teniendo en cuenta sus respectivas tecnologías. Estas últimas brindarán información más específica sobre la eficiencia de las mismas y las posibilidades de incorporar sistemas en distintos sectores o áreas de un determinado establecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se efectuó en el marco de la realización de dos becas doctorales CONICET bajo los títulos de "Análisis, Ensayo y Evaluación de Estrategias Energéticas Alternativas para el Sector Salud en Escenarios Urbanos" e "Incorporación de Energías Renovables a la Edilicia Existente del Sector Salud en el marco de la Construcción de Escenarios Urbano-Energéticos". Asimismo, se agradece la colaboración y disposición del Dr. Ing. Carlos A. Díscoli.

REFERENCIAS

Alexis, G. K., & Liakos, P. (2013). A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece.

- Economic and environmental impacts. *Applied Thermal Engineering*, 54(2), 488–496. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019>
- Czajkowski, J. D. (1993). Evolución de los edificios hospitalarios. Aproximación a una visión tipológica. *IV Congreso Latinoamericano y 7° Jornadas Interdisciplinarias de La Asociación Argentina de Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria*.
- Discoli, C. A. (1998). *El diagnóstico de la gestión productiva-energético-ambiental de las redes territoriales del sector salud*. Universidad Nacional de La Plata.
- Discoli, C. A. (1999). *Control integral y diagnóstico temprano de las redes edilicias de salud* (Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (ed.); 1° Edición).
- González, A. B. R., Díaz, J. J. V., Caamaño, A. J., & Wilby, M. R. (2011). Towards a universal energy efficiency index for buildings. *Energy and Buildings*, 43(4), 980–987. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.023>
- González González, A., García-Sanz-Calcedo, J., & Salgado, D. R. (2018). A quantitative analysis of final energy consumption in hospitals in Spain. *Sustainable Cities and Society*, 36, 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.029>
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2011). *IRAM 11603/11. Acondicionamiento Térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.
- Ma, H., Li, C., Lai, J., Yang, F., & Li, Z. (2019). Investigation on energy consumption of public buildings in Tianjin. *Energy Procedia*, 158, 3427–3432. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.932>
- Martini, I., Discoli, C. A., Rosenfeld, Y., & Rosenfeld, E. (2000). Análisis edificio energético productivo de los edificios de salud. *IV Congreso Arquisur*, 6.
- Ministerio de Energía y Minería. (2016). *Balance Energaético Nacional 2015*.
- Ministerio de Energía y Minería. (2018). *Balances Energéticos Argentina*. Dirección URL: <<https://www.argentina.gob.ar/produccion/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>> [consulta: 16 de julio de 2021]
- NASA. (2018). *POWER Data Access Viewer*. Multiple Data Access Options. Dirección URL: <<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>> [consulta: 21 de septiembre de 2019]
- Nematchoua, M. K., Orosa, J. A., Buratti, C., Obonyo, E., Rim, D., Ricciardi, P., & Reiter, S. (2020). 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*, 202, 117754. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117754>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Dirección URL: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>> [consulta: 12 de octubre de 2019]
- Sansaniwal, S. K., Sharma, V., & Mathur, J. (2018). Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(January), 1576–1601. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.003>

ABSTRACT: In order to provide tools for energy management and to offer measures with the less environmental impact, a methodology is developed to evaluate the buildings solar potential a hospital network. These are characterized by being energy-intensive buildings with a high social connotation. The proposed methodology establishes 3 indexes for the evaluation of solar potential: the capture index, the substitution index and the injection index. Subsequently, in order to develop hypotheses that facilitate decision and the formulation of energy policies, the indexes proposed are analyzed with the territorial, morphological, energy consumption and solar energy capture variables. The results obtained for the network of public hospitals in the Gran La Plata, indicate that the territorial variables are more significant than the morphological variables in determining the capture index, and that the injection and substitution indexes are essential to draw conclusions regarding the quantification of the solar energy captured in relation to the energy consumed.

KEYWORDS: Solar index. Healthcare network. Solar energy.