

EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS PARA ESTIMAR EL POTENCIAL SOLAR DISPONIBLE PARA ÁREAS URBANAS.

ASSESSING THE TOOLS TO ESTIMATE THE SOLAR POTENTIAL AVAILABLE FOR URBAN AREAS.

Ing. Figueira, A¹, Mg. Arq. Miguel, S¹, Arq. Maggi, A¹

Laboratorio Bio-Ambiental de Diseño - Facultad de Planeamiento Socio-Ambiental Arquitectura - Universidad de Flores.

Pedernera 288 2do piso- C.P. 1406 –Ciudad de Buenos Aires

Tel: 011 4610-9300 int: 326 e-mail: anifigueira@gmail.com

Recibido 27/09/2019; Aceptado: 02/12/2019

Resumen: Hoy en día, las ciudades consumen el 75% de la energía demandada y funcionan como refugio del 80% de la población. Lo que conlleva a ejercer una alta presión sobre el medio ambiente. Por lo tanto, en esta investigación se intenta promover las energías sustentables, y así acercar a la urbanización cada vez más al objetivo 17 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) *Energía Asequible y No Contaminante*. Para ello, es importante disponer de datos de radiación solar en varias escalas. Este trabajo presenta un relevamiento de herramientas, casos de estudio y métodos disponibles para estimar el potencial solar (caso de estudio: Ciudad Autónoma de Buenos Aires). Finalmente se comparan las técnicas utilizadas para seleccionar la herramienta más adecuada para el caso de estudio.

Palabras Claves: Energía Solar, Planificación urbana, Potencial Solar

Abstract: Nowadays, cities consume 75% of the energy demanded and function as a refuge for 80% of the population. Which leads to exerting high pressure on the environment. Therefore, this research attempts to promote sustainable energies, and thus bring urbanization closer to objective 17 of the SDGs (Sustainable Development Goals) Affordable and Non-Pollutant Energy. For this, it is important to have solar radiation data on several scales. This work presents a survey of tools, study cases and methods available to estimate the solar potential (case study: Autonomous City of Buenos Aires). Finally, the techniques used to select the most appropriate tool for the case study are compared.

Key Words: Solar Energy, Urban planning, Solar potential

¹ Director del laboratorio Bio-ambiental de Diseño de la Facultad de Planeamiento Socio - Ambiental de la Universidad de Flores.

1. Introducción

Las ciudades albergan al 80% de la población mundial y suponen un consumo del 75% de la energía demandada, siendo responsables de un alto porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero (Gómez, et al., 2017). Por ende, el planeamiento urbano es una variable muy importante a tener en cuenta en lo que respecta al cambio climático. Además, el desarrollo urbano modifica las condiciones climáticas provocando el fenómeno Isla de calor urbana: aumento de las temperaturas, disminución de la humedad del aire y la velocidad del viento de las ciudades. Para mitigar estos efectos ambientales, debemos considerar de qué manera deben crecer las ciudades en desarrollo.

Por otra parte, al aumentar la densidad urbana y las actividades a partir de usos mixtos del suelo, es mayor la demanda y consumo de energía para satisfacer las necesidades esenciales para el desarrollo de los habitantes. Por lo tanto, se genera la necesidad de acceder al potencial de recursos de fuentes renovables para generar energía en las ciudades. Teniendo en cuenta el objetivo 7 de los ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) *Energía Asequible y No Contaminante*, resulta pertinente proponer y desarrollar un “mapa solar urbano” que determine la potencialidad que poseen las ciudades para subsanar el consumo energético y conseguir ciudades sustentables.

Por eso mismo, el presente estudio pretende analizar y mostrar algunas ~~sobre~~ herramientas de estimación y cálculo del potencial solar, que servirán- luego para sistematizar y plasmar de manera gráfica, clara y precisa sobre un plano de sector urbano en estudio. De este modo, se podrá incorporar variables de producción energética y condiciones vinculadas al “derecho al sol” en Códigos de Planeamiento y Edificación de las ciudades de estudio, para que en un futuro se puedan proponer legislaciones al respecto y desarrollar ciudades más sostenibles. (Figueira et al, 2019)

2. Marco Teórico.

La obtención y el consumo de combustibles fósiles serán cada vez más costosos y representará un mayor riesgo desde los aspectos económicos y ambientales para los ciudadanos (Caamaño et al., 2011). Más aun, La Organización de las Naciones Unidas reporta (2019) que un 90% de la población mundial tiene acceso a la energía eléctrica, pero será necesario redoblar los esfuerzos para alcanzar a aquellos que todavía no tienen acceso a ella.

Actualmente en Argentina, se sancionaron una serie de Leyes y reglamentaciones que incentivan la utilización de energías renovables. Un ejemplo de estas leyes fue Ley 27.919/2015 modificando la Ley 26190 - “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energías Destinada a la producción de Energía Eléctrica”. Fijando un objetivo del 20% de energía renovable para el año 2025 y lograr una contribución de las fuentes renovables de energía en el consumo de energía eléctrica nacional al 31 de diciembre 2025.

En 2017 se promulgó la Ley de Generación distribuida de energías renovables integrada a la red eléctrica pública (Ley 27.424 bajo el Decreto 1075/2017), reglamentada por el Decreto 986/2018, donde cada consumidor tiene posibilidades de ser generador de energía eléctrica (autoconsumo) e inyectar al sistema de la red el excedente de lo producido. Así se contribuye a fijar nuevas políticas energéticas e incentivar a los usuarios a cambiar su forma de consumo.

Para mitigar el impacto sobre el crecimiento urbano y promover un desarrollo sustentable de las ciudades, una de las medidas a considerar es el aprovechamiento extensivo de la radiación solar en áreas urbanas. Para ello, se deben estudiar distintos sectores de la ciudad en relación al acceso al sol y dimensionar el potencial solar con el objeto de obtener un diagnóstico y resultados certeros (Viegas, 2011).

Un estudio realizado para la ciudad de Buenos Aires en el 2018, plantea la creación de Macromanzanas, con el objeto de contribuir a la propuesta del Nuevo Código Urbanístico-2018 para la ciudad. En uno de los análisis sobre el crecimiento de densidad y, en consecuencia, modificación de la forma urbana y consumo energético, se plantea la posibilidad de generación de energía eléctrica y térmica aprovechando la disponibilidad solar de cubiertas de los nuevos edificios. A través de estimaciones y desarrollo de un modelo teórico, se logró proponer y alcanzar un porcentaje aceptable para la generación energía limpia para compensar el aumento de la demanda energética que se produciría a partir del crecimiento urbano. (Miguel et al., 2017).

El recurso solar en gran medida está condicionado por las características del entorno, la altura de las edificaciones, la separación entre volúmenes y las proporciones del espacio exterior, como también por las obstrucciones de construcciones. En altas densidades además de necesitar un buen diseño hacia el aprovechamiento solar se requiere medidas establecidas por organismos de gestión. En Argentina, estas medidas están plasmadas en los Códigos de Planeamiento Urbano y Edificación de cada ciudad, que a partir de este enfoque, deberían someterse a consideraciones relacionadas con la disponibilidad de superficies en los edificios, que cuenten con la capacidad de permitir y garantizar la radiación solar en estas superficies para el aprovechamiento de producción de energía térmica y fotovoltaica (Mesa et. al., 2013).

3. Metodología

La agencia internacional IRENA (International Renewable Energy Agency) recomienda el aprovechamiento de las grandes áreas de envolventes y techos para el emplazamiento de sistemas de captación de energía como complemento a medidas de eficiencia energética en edificaciones, implicando la producción de energía de forma distribuida (IRENA, 2016). En el caso de tecnologías solares fotovoltaicas o solar térmica deben considerarse aspectos de impacto urbanístico, por ello la opción es que las superficies de captación estén coplanares en la edificación; formando parte de la envolvente. (Wall et al., 2012).

De este modo es necesario el estudio de estas superficies construidas y analizar como es la exposición solar sobre las mismas, con el fin de garantizar dicha exposición para la producción de la energía (solar térmica o solar fotovoltaica, según sea el caso)

4. Herramientas para el estudio solar urbano.

La investigación que se está llevando a cabo² se realiza un relevamiento de las herramientas que fueron utilizadas en algunos casos de estudio para generar el

² Estudio de la disponibilidad del recurso solar en zona urbana con énfasis en la influencia de las sombras de la trama urbana. Caso: Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Financiada por la UNLZ – Bajo la beca Doctorar del Gobierno de la Nación Argentina. Director: Dr. Ing. Luis Christian Navntoft. Co-Director: Arq. Sebastián Miguel.

mapa que estima la potencial solar urbano. En primer lugar se utiliza el Tabla 1 para comenzar con una breve reseña y luego se describen algunos de ellas.

Tabla 1: Características más relevantes de las herramientas para modelar radiación solar – elaborado por Freitas, S et al (2015).

Tool	Main purpose	Related solar potential	Starting year
GOSOL	Energy balance on particular surfaces using building data source of German housing types	Physical/ geographical	1991
SHADOWPACK	Contour maps of shading evaluations for the direct radiation	Physical	1990
ATM	Image processing framework can generate topoclimatologies for large areas at arbitrary time intervals	Geographical	1992
Sky view factor	Percentage of visible sky for diffuse radiation calculation	Physical/ geographical	1987
Solei-32	Potential energy income to slopes with different orientations and cloudiness, shadow from surrounding topography	Geographical	1993
SolarFlux	Topographic GIS capabilities deliver total direct and diffuse radiation, direct sun duration, SVF and fisheye projections of sky obstructions	Geographical	1993
Kumar et al.	Direct clear-sky short-wave radiation for the DEM of a large area, latitude and time interval	Physical/ geographical	1997
RADIANCE	Light-backwards ray-tracing algorithm for direct radiation, diffuse and specular reflections from urban obstructions in a volumetric 3D model	Physical	1994
Cumulative sky approach	Global irradiance at the centroid of a scheme of patches 145 patches subtending a similar solid angle	Physical	2004
Daysim	Illuminance profile at each point in and around buildings using a daylight coefficient and RADIANCE-based backward ray-tracing	Physical	2000
ArcGIS Solar Analyst	ArcView GIS extension delivers a set of various radiation maps, fisheye equivalent photograph and a viewshed analysis	Geographical	1999
SRAD	Circumsolar radiation derived from within 5 degrees of the direct solar beam and an isotropic portion of the diffuse, monthly average cloudiness and sky view factor	Physical	2000
Solar Envelopes	A zoning device to achieve the largest volume that a building can occupy, regulates the development within limits of solar obstruction	Physical	1976
Albedo calculator and Albedo viewer	Simulation of albedos within 3D urban structures and web database	Physical	2004
ESRA clear-sky model	Beam irradiance at ground level from satellite images and data fitting techniques	Physical/ geographical	2000
r.sun	Irradiance raster maps, reflectance and shadow maps for horizontal or inclined surfaces, fitting to overcast and clear-sky conditions	Physical/ geographical	1997
RayMan	Detailed simulation for the short- and long-wave radiation flux densities from the three-dimensional surroundings	Physical/ geographical	2010
Preferable sky window	Sky section which has the greatest daylight potential in a horizontal plan located inside a building	Physical	2009
Tooke et al.	Fraction of incoming radiation that is transmitted through the semi-transparent vegetation canopy	Physical	2012
Solar3DBR	Google SketchUp plug-in for shading factor and the irradiation determination on surfaces of 3D models	Physical/ geographical	2013
SORAM	Direct and diffuse solar radiation incident on a sloping PV cell in an urban environment by ray-tracing	Physical/ geographical	2014

SUNtool: (Robinson, 2007 de Gómez et al, 2017) estima en el espacio urbano las obstrucciones solares a través de un modelado energético. Facilita el análisis y la comprensión de procesos generados en áreas construidas. Interface de entrada que tiene en cuenta la localización, los valores climáticos, las características de los edificios (geometría 3D). En un primer componente se obtiene un gráfico compatible con AutoCAD, ArchiCad, Sketchup, Rhino, Ecotect y Tas. A modo del segundo componente posee un motor de simulación Solver, y calcula el comportamiento microclimático, estocástico y vegetación.

Solene: (Miguet, 2008 de Gomez et al., 2017) Diseña modelos 3D para evaluar la concepción climática de proyectos de arquitectura. Está integrado por varios módulos de cálculo: radiación solar, iluminación, efectos térmicos y confort. Contiene una malla con el espacio urbano y el cielo hemisférico que simula la radiación difusa. Solene es adecuado para computar radiación en pequeño grupo de edificios o es barrios de pocas dimensiones.

RayMan: (Matzarakis et al, 2007 de Gomez et al., 2017) posee como objetivo entregar un balance de flujo radiactivo y evaluación del confort térmico de las personas. Es una simulación detallada de las densidades de flujo de radiación de onda corta y onda larga del entorno tridimensional en ambientes simples o complejos. En la interface de entrada las variables necesarias son: temperatura del aire, humedad, velocidad del viento y geometría del espacio. Entrega una imagen de ojo de pez. El software puede utilizarse para la determinación de sombras, radiación solar media y máxima diaria y horas de sol.

Autodesk Ecotect Analysis 2010: (Freitas, S et al., 2015) el objetivo es dar orientación a los proyectistas en la fase inicial del diseño. Evalúa comportamiento energético de los edificios. Contiene un módulo de estudios urbanos enfocado a obtener la mejor orientación con fines de aprovechamiento solar. Presenta interesante aproximación al análisis de la radiación solar, componentes factor cielo y estudios de sombras. Incorpora valores climáticos a través de la herramienta Weather Tool, incorpora variables de temperatura del aire, humedad, velocidad del viento y geometría del espacio. Y los modelos geométricos pueden realizarse directamente o importarse desde otro programa (Auto CAD, Revit o Sketchup)

ENVI-met: (Wong et al, 2010 de Freitas, S et al., 2015) esta herramienta permite modelar la interacción entre superficie, la vegetación y el aire en un entorno urbano. Analiza el efecto de absorción y reflexión de la radiación solar, evapotranspiración y vegetación en diversos escenarios urbanos para la mitigación del microclima. Los datos de entrada sobre geometría y datos climáticos de salida pueden recopilado desde estaciones meteorológicas cercanas. Los modelos pueden realizarse directamente en el programa mediante modelos de diseño o desde AutoCAD, Revit o Sketchup. Y se obtiene el cálculo avanzado de la componente solar en áreas específicas con el factor de vista al cielo y la radiación incidente y reflejada en el exterior.

ArcGIS Solar Analyst: (Britos, M et al., 2012) Es una extensión del ArcView GIS (Geografic information system) utilizando lenguaje ESRI³ (que logra calcular con precisión y velocidad un modelo de radiación del espacio terrestre. La entrada más relevante para el modelo es la orientación, la elevación del terreno (DEM⁴) y la transmisión atmosférica. El modelo de radiación consiste en una aproximación geométrica que divide la bóveda celeste en dos partes el ángulo cenital y el azimut. Este modelo calcula varios mapas de radiación, fotografías de ojos de pez análisis de cuenca visual. Además resulta un modelo muy flexible en términos de resolución espacial y temporal. Existen varios estudios publicados de recurso solar y disponibilidad en azoteas para instalaciones fotovoltaicas.

R.sun: (Hofierka, 1997 de Freitas et al., 2015) Fue desarrollado para un cielo limpio. El modelo de base el GRASS GIS, que fue mejorado para superar limitaciones de antiguos modelos presentados previamente. El R.sun utiliza imágenes ráster de mapas de terreno, latitud, radiación, índice del cielo limpio. Y produce mapas ráster de irradiación, mapas de sombras para superficies planas o inclinadas.

³ ESRI: Empresa pionera en dar soluciones para GIS. Creando también un lenguaje con ese mismo nombre.

⁴ DEM: Modelos Digitales de elevación. Son datos que se utiliza como entrada para cuantificar las características de la superficie del suelo. DEM es una representación de ráster de una superficie continua

PVsyst: (Mermoud, 1995). Está diseñado para arquitectos, ingenieros e investigadores. Posee un gran número de gráficos que se generan de inmediato en pantalla, imprimible o en documentos. Además, es una herramienta aplicable a la educación. Esta herramienta simula sistemas fotovoltaicos con mucho detalle. Suministra mucha información meteorología, geográfica y comercial de los componentes. Se puede visualizar la geometría solar, el comportamiento de los paneles en caso de haber algún tipo de sombreado.

PV *Sol premium 2019: (Najibhamisu, 2018) Es un software Alemán desarrollado por Valentine Software como un programa simulador dinámico con una visualización 3D y con detalle de sombras y el análisis de sistemas fotovoltaicos. Está diseñado para ingenieros, consultores, arquitectos e instaladores. Entrega una predicción precisa y entrega información sobre la mejor amortización de las inversiones. Este software tiene un diseño 3D de visualización de edificios.

Sunny Desing: (Rawea, Urooj, 2017) Se utiliza para el cálculo y diseño de una instalación fotovoltaica. Se permite planificar plantas solares fotovoltaicas y simular sistemas energéticos.

5. Análisis de casos.

A continuación se enumeran algunos de los casos de estudio que se analizaron para ejemplificar las herramientas antes descritas.

Caso 1: Ciudad Alcabideche, Municipio de Cascais, Portugal.

En los países Europeos, para el 2020 existen reglamentaciones y exigencias que indican que todos los nuevos edificios deben ser cero energía consumida (ZEB – Zero energy Buildings) (Amado, Poggi, 2012). Si bien es una meta técnicamente alcanzable, se debería contar con varias condiciones en la estructura urbana. Una de ellas es planeamiento solar urbano sustentable. Amado y Poggi (2012) armaron un programa de intervención y definición del modelo energético en una ciudad pequeña de Portugal, Alcabideche situada en el municipio de Cascais (Imagen 1). El área urbana seleccionada tiene aproximadamente 1.88 hectáreas. Distribuida de la siguiente manera (Tabla 2 -Imagen 1):



Imagen 1 - Distribucion urbana de la Ciudad de Alcabideche, Cacais, Portugal (Amafo, Poggi, 2012)

Tabla 2 – Uso del suelo de la Ciudad de Alcabideche, loteos y cuantificación de Edificios (Amado, Poggi, 2012)

Urban area	Total intervention area	18790 m ²	-	Lot	Nº of parcels	47
	Road and parking	4319 m ²	23%		Area Minimum	42 m ²
	Residential use	5455 m ²	29%		Area Maximum	996 m ²
	Service use	424 m ²	2%		Mean size	286 m ²
	Industrial use	532 m ²	3%	Building	Nº of existing buildings	93
	Residential/Commercial use	624 m ²	3%		Nº of dwellings	58
	Private exterior spaces	6424 m ²	34%		Population	170
	Public spaces and sidewalk	1012 m ²	6%			

La propuesta promueve la utilización del ArcGIS que ordena la información del sitio que ha sido recolectada, por ejemplo el sistema de cobertura de uso de tierra, lotes y cuantificación de edificios, información económica. Además de recopilar datos de radiación solar. Para obtener la estimación del potencial solar urbano de debe construir un modelo 3D de la ciudad y generar simulaciones solares de los edificios modelos. Con las imágenes satelitales y el software antes mencionado se realizaron la clasificación de tipos de techos identificando 34 con solución plano y 59 con soluciones inclinadas. La superficie más frecuente es está en el rango entre 50 y 100 metros cuadrados. El área mínima de techo utilizable para el sistema fotovoltaico elegido, determinada por la relación entre la eficiencia del módulo fotovoltaico y la máxima potencia, es aproximadamente 7,6 m². Estudios estadísticos muestran que en Portugal el consumo anual de electricidad por persona es 4587.4 kWh por habitante. Considerando el sistema, un área neta de techo de 35 metros cuadrados es necesario para producir dicha cantidad, que durante este estudio ha sido definido como la producción mínima anual fotovoltaica que una superficie de techo debe garantizar.

Pero el sistema fotovoltaico también requiere un área adicional para permitir la instalación y mantenimiento, y espacio sobre las filas evitando la sombra. La superficie de techo neta antes de las necesidades referidas es aproximadamente 20% mayor que su área. El tamaño mínimo final es de 42 metros cuadrados. El análisis del porcentaje de sombra ha sido simulado con Ecotect, con una incidencia de sombras por otros edificios mayores que el 30%, reduciendo el total de horas de luz desde 9 a un número inferior a 5 que fue considerado como otro factor de reducción. Elementos como chimeneas o aire acondicionado frío calor son otros aspectos con influencias considerables en la instalación fotovoltaica. Se simplificó el modelo paramétrico considerándose todos los techos de edificios existentes con techo plano. Simulando la radiación solar en el mismo modelo construido con techos planos y techos inclinados los resultados se han comparado, con un error de 9.7% en los resultados de la diferencia de la incidencia de radiación global en una superficie horizontal respecto de una inclinada (Imagen 2).

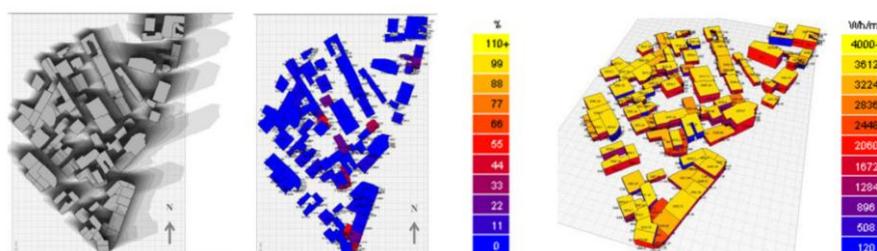


Imagen 2- Rango de sobras globales de la Ciudad de Alcabideche - porcentaje de techos existentes sombreados - radiación global en techos existentes. (Amado, Poggi, 2012)

La orientación aconsejada de los equipos fotovoltaicos deben ser del sudoeste hasta el sureste para poder aprovechar la mayor eficiencia posible. El análisis de techos existentes se realizó de acuerdo con el diagrama de orientación óptima para paneles solares fotovoltaicos. El ángulo óptimo se obtiene como igual a la latitud de donde está ubicado el proyecto. En este sentido, las áreas de techo orientadas al suroeste y sureste han sido consideradas con el 95% de la eficiencia y aquellos orientados directamente al sur (por encontrarse en el hemisferio Norte) con 100%.

El acercamiento al nuevo layout urbano ha sido encargado a partir de necesidades de la población, actividades funcionales relacionadas espacios públicos y conexiones inteligentes para un sistema de movilidad con respuesta ecológica, obteniendo un modelo urbano global más funcional y balanceado. Con la herramienta 3D Max una distribución de volúmenes paramétricos se utilizó para estudiar la relación entre la altura y la distancia del edificio y su integración con el nuevo modelo urbano. Todos los edificios nuevos han sido diseñados con techos planos Y tamaños mayores a 42 m². Las nuevas formas urbanas, respecto a las reglas del Código de Edificación portugués entre las ventanas y muros que se enfrentan, garantizan acceso a solar en los patios de edificios colectivos y minimizan la sombra de otros edificios.

Caso 2: Ciudad Concepción, Chile.

Recientemente se ha divulgado un proyecto de catastro urbano del consumo energético y captación solar aplicado en la ciudad de Concepción, Chile (García Alvarado et al., 2014). Proyecto de la Universidad de Bio-Bio que obtiene resultados de una investigación que tiene en cuenta la categorización de consumos energéticos de la zona, la distribución de tipologías residenciales y el potencial solar urbano. En la tabla 3 se muestra el esquema metodológico de la investigación. Se observa que el mapa de potencial solar necesitó la integración de varias fuentes de información por lo tanto se utiliza SIG (Sistema de Información Geográfica) para generar una base de datos territorial. El Análisis de captación solar de las tipologías residenciales se realizó a partir de simulaciones de algunos modelos de edificación seleccionados por fotografías aéreas y la verificación in situ de las características reales. Cada modelo se simuló a través de un software de simulación energético ambiental Ecotect (de autodesk). Allí se contabilizaron la cantidad de horas de asoleamiento. Se tuvieron en cuenta las obstrucciones generadas por edificaciones propias y vecinas pero no se tuvo en cuenta la vegetación. De este modo, se prorratea la cantidad de energía anual según las horas sol y finalmente se ha dividido por la cantidad de viviendas individuales o colectivas, dependiendo del caso.

Tabla 3: Esquema Metodológico de la investigación – Proyecto Universidad Bio Bio, Ciudad de Concepción, Chile (García Alvarado et al., 2014)

Fuentes de Información	Procesamiento de datos	Rangos	Catastro	Resultados
Restitución Aereofotogramétrica (GORE, SECTRA, IGM, 2009; Actualizado Laboratorio de Estudios Urbanos, 2011)	Topografía e hidrografía	Perímetro de manzanas urbanizadas y superficies residenciales	Mapa de manzanas por consumo energético eléctrico, ACS, calefacción y total	Cuantificar el potencial solar por manzana según tipologías y zonas urbanas por manzana
	Trazado vial, Límites prediales y área urbana			
Manzanas Censales de la Comuna (Instituto Nacional de Estadística, 2012)	Cantidad de viviendas existentes	Categorización de consumos energéticos por manzana		
	Densidades habitacionales			
	Niveles socioeconómicos predominantes			
Encuesta de Consumos Energéticos por Viviendas (CDT, 2010)	Consumo eléctrico			
	Consumo de calefacción			
	Consumo de ACS			
	Niveles socioeconómicos			
Fotografía Aéreas y Callejeras (Google Earth-Streetview, 2013)	Altura de edificación por cuarto de manzana	Tipologías residenciales	Tipologías residenciales con captación solar por elemento	
Simulaciones Dinámicas de Modelos (ECOTECT)	Asoleamiento horario por elemento en cada modelo	Radiación solar captada por modelo		

De este modo, se concluye que los sectores de mayor densidad de la ciudad presentan una menor captación solar y los sectores de menor densidad poseen un sobre potencial. Por lo tanto, se considera que la elaboración de los catastros solares es sumamente importante para lograr un óptimo planeamiento urbano.

Caso 3: Campus de la Universidad de Lisboa, Portugal.

Es un modelo solar urbano 3D para calcular el potencial energético de los edificios, integrando a los techos y las fachadas (Redweik et al, 2013). Correspondiendo así, a las medidas europeas (directive: 2010/31/EU) que establece que todos los nuevos edificios deben generar su propia energía para autoabastecerse. Para acceder a este potencial energético un modelo de superficie digital (DSM) del campus de la universidad de Lisboa, Portugal, fue construido con datos obtenidos LiDAR⁵, que

⁵ **LiDAR DATA:** (de light detection and ranging) es una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo

proporciona las imágenes satelitales de la zona. Y aplicando un modelo de radiación solar basado en observaciones climatológicas. Asimismo, se creó un algoritmo para determinar las sombras y generar un mapa de las mismas para techos y fachadas. Se obtiene así la radiación difusa y directa en cada punto del suelo, techo y fachada con una resolución espacial e 1m y una resolución en tiempo de 1 hora. Se observa en el siguiente esquema (Figura 3 y 4) como se diagrama la conexión de los datos obtenidos de las imágenes satelitales LiDAR con el mapa de sombras y el modelado de radiación en la figura 1. Mientras que la figura 2 procede al mismo análisis pero de las fachadas.

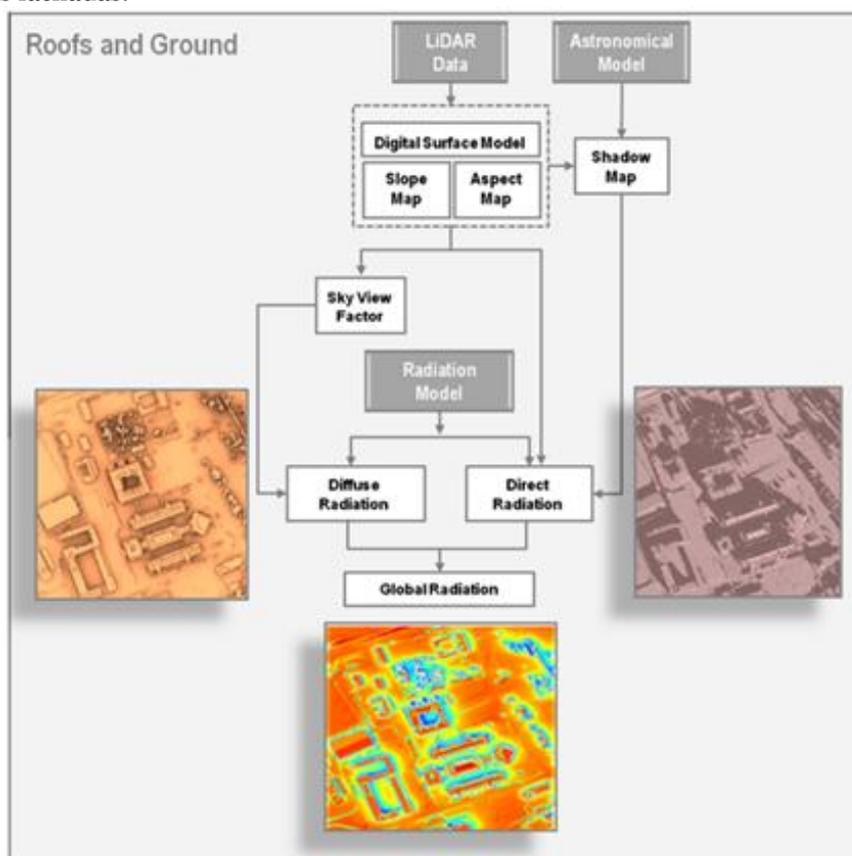


Figura 3: Flujo de trabajo del cálculo de la radiación global de las fachadas – las ilustraciones que se observan refiere a un tiempo específico en el tiempo y un día en particular en el año. – (Reweik et al, 2013).

mediciones exactas de x, y y z. LIDAR, que se utiliza principalmente en aplicaciones de representación cartográfica láser aéreas, está surgiendo como una alternativa rentable para las técnicas de topografía tradicionales como una fotogrametría. LIDAR produce datasets de nube de puntos masivos que se pueden administrar, visualizar, analizar y compartir usando ArcGIS.

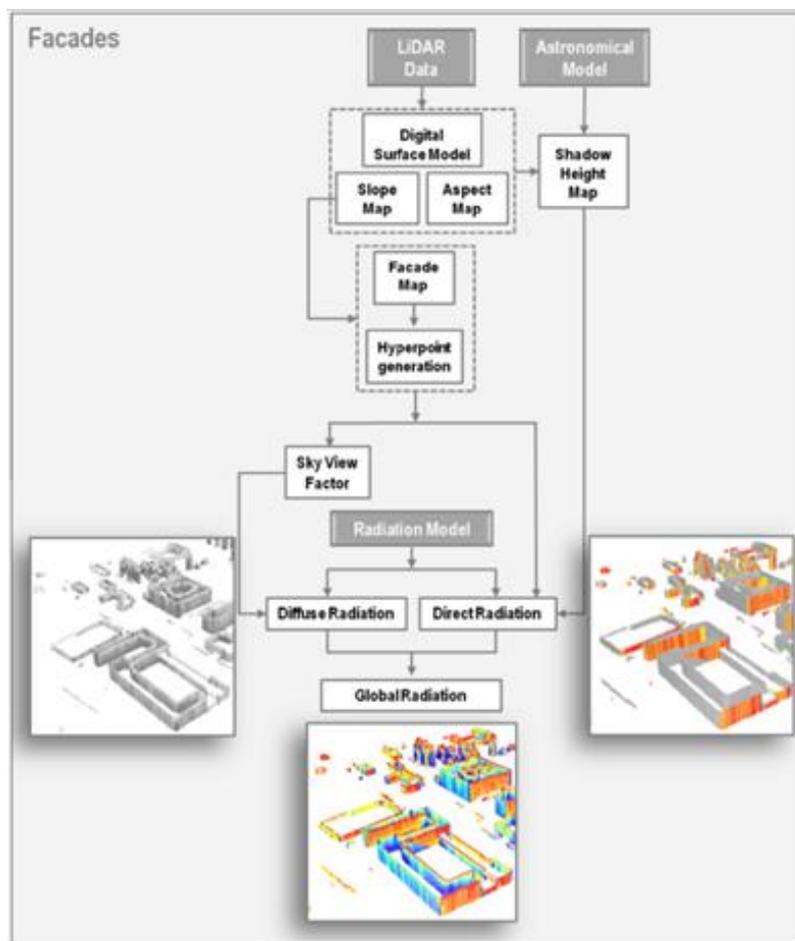


Figura 4: Flujo de trabajo del cálculo de la radiación global del suelo y los techos (no incluye las fachadas) – las ilustraciones que se observan refiere a un tiempo específico en el tiempo y un día en particular en el año. – (Reweik et al, 2013)

Caso 4: Valparaíso, Chile.

Como otro ejemplo interesante de analizar es un algoritmo que fue creado para evaluar el potencial solar en los techos de Valparaíso, Chile. En este caso de estudio se adiciona una mirada social ya que está destinado a un sector de la sociedad de escasos recursos económicos. También, se hace la observación de la posibilidad de que los gobiernos de países pobres o en vías de desarrollo puedan acceder a bases de datos como LiDAR. Igualmente, los investigadores del proyecto en cuestión consideran que es posible mapear este potencial energético sin acceder a esta información, logrando resultado menos precisos. Utilizando para acceder a la información necesaria imágenes aéreas y estudios topográficos. La metodología divide en dos al proyecto. En primer lugar se buscan información geográfica, y se

construye un modelo 3D de los hogares. Luego, en segundo término se arma una base de datos de los hogares. De esta manera, se completan la bases de datos digitales: espacial, geográfica, y socioeconómica. Considerando, también que los hogares son construidos sin un lineamiento de diseño estandarizado y sin prever cual es la mejor orientación. Entonces se analizan cada uno de los vértices de los techos y para el diseño del algoritmo que interrelacione la información recolectada que utiliza el programa de Matlab⁶. Obteniendo como resultados el rango de superficie promedio de metros cuadrados disponibles para la instalación de dispositivos solares. Y se obtienen resultados de la cantidad de energía solar incidente sobre 366 casas del área de estudio considerando la orientación de cada techo y cada ángulo, zona caracterizada por la alta heterogeneidad de geometría de los techos y orientación espacial. (Figura 5)

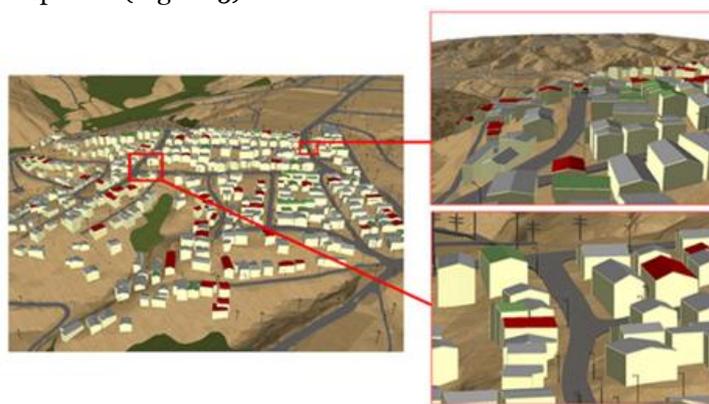


Figura 5: Imagen instantánea del modelo 3D del área en estudio– (Araya Muñoz et al, 2014)

Caso 5: Barrio de Flores, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Este proyecto, que está en sus inicios del Laboratorio Bio-ambiental de diseño de la Universidad de Flores, propone una metodología para aprovechar el potencial solar urbano para la producción de energía de base renovable en el Barrio de Flores en Ciudad de Buenos Aires (Figueira et al., 2019). Comienza con un relevamiento de los usos del suelo, la forma urbana y las tipologías de las cubiertas (figura 6 y 7) y finalmente se calcula de manera teórica las superficies disponibles. Para este caso de estudio se utilizó como reseña los edificios públicos, educativos, hospitales y clínicas, el sector óseos de la Autopista 25 de Mayo. Se sumaron todas las superficies relevadas disponibles con el objeto de dimensionar el potencial energético. Dos puntos a tener en cuenta, 1) se reduce un 20% la superficie disponible debido al espacio que requiere la instalación de paneles fotovoltaicos (Amado y Poggi, 2012) y 2) se calcula a través de la carta de distribución anual del promedio de la irradiación solar global acumulada sobre la superficie plana es 1,5 Mwh/m² (Grossi Gallegos y

⁶ **MATLAB**: es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. Integra: Análisis numérico, Cálculo matricial, Procesamiento de señales, Gráficos, en un entorno fácil de usar, donde los problemas y las soluciones son expresados como se escriben matemáticamente, sin la programación tradicional. El nombre MATLAB proviene de "MATrix LABoratory" (Laboratorio de Matrices)

Righini, 2007). Y por eso se obtiene que la energía disponible y teórica es 349.417,5 MWh por año. Que subsana el 12% de la demanda eléctrica del Barrio de Flores.

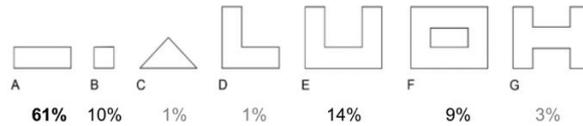


Figura 6: Categorización de tipo de cubierta e implantación (planta)– (Figueira et al, 2019)

1: Cubierta cañón, 2: Cubierta a dos aguas, 3: Cubierta shed, 4: Cubierta a un agua, 5: Cubierta plana o superficie plana disponible a nivel cero

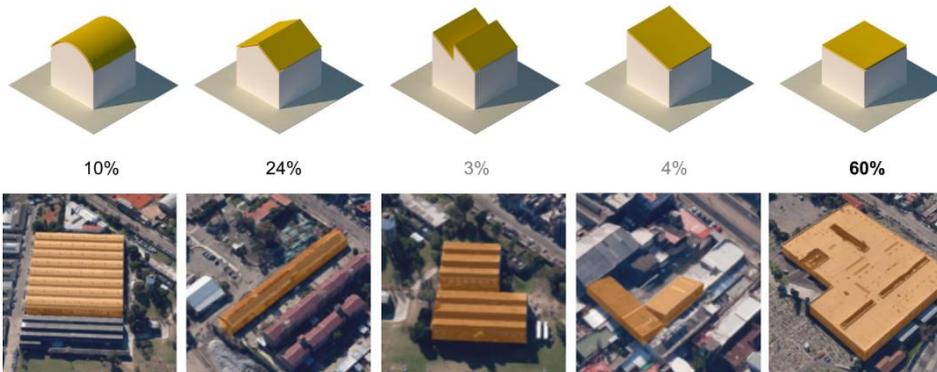


Figura 7: Categorización de tipo de cubierta según su forma volumétrica– (Figueira et al, 2019)

5. Conclusión.

Para esta investigación se hizo un relevamiento de las herramientas y los modelos disponibles que son aplicables para lograr una aproximación del potencial solar urbano. Estas herramientas y modelos se vieron reflejadas en experiencias prácticas citándose distintos casos de estudio, en los que se describía como se utilizan, cuales están disponibles, cuales son las más sencillas de utilizar.

Luego de este análisis, se observó que los estudios más completos poseen la utilización de dos tipos de herramientas: el ArcGIS sumando al ECOTEC en la Ciudad Alcabideche, Municipio de Cascais, Portugal (Caso 1). También de los casos citados una gran parte generan el mapa de potencial solar con la misma herramienta el ArcGIS solar Analyst. Por lo tanto, la manera sería utilizando el ArcGIS Solar Analyst, generando una imagen Raster o LiDAR que se transforman en un DEM (Modelo Digital de Elevación).

Se considera que el estudio sobre la energía solar es un tema complejo y muy extenso. Por lo tanto, este trabajo como un avance parcial. Finalmente, se considera que los

avances de las próximas investigaciones deberían generar programas, software y modelos de libre acceso para que realmente pueda ser utilizado ampliamente.

Referencias

Gómez, N; Higuera, E; Ferrer y Arroyo, M; (2017) Herramientas de evaluación del potencial energético y optimización solar en el planeamiento de las áreas urbanas. Trienal de Investigación FAU UCV 2017, Caracas. ISBN: 978-980-00-2879-7. Dirección URL: http://trienal.fau.ucv.ve/2017/publicacion/articulos/AS/extenso/TIFAU2017_Extenso_AS-03_NGomez.pdf [consulta: Abril 2018]

Caamaño, E; Higuera, E; Neila, J; [en línea] (2011) Hacia un urbanismo solar. Proyecto europeo polis Energías Renovables 2010-2011. Instituto Energía Solar-Universidad Politécnica de Madrid. Grupo Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible – Universidad Politécnica de Madrid. <http://www.polis-solar.eu/solar-urban-planning-in-polis/>

Viegas, G; (2011) Desarrollo metodológico a partir de mosaicos urbanos para evaluar la eficiencia energética el aprovechamiento de la energía solar en el marco de la sustentabilidad urbana. Ambiente Construido, Porto Alegre, v11, pp. 139-155. ISSN 1678-86213

Miguel, S; Mora, F; Figueira, A; Faggi A; Fernández, E; (2017) Herramientas urbanas y ambientales que contribuyen a definir el modelo de Macromanzana para Buenos Aires. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol1. Pp.01.125-01.132; ISBN: 978-950-605-862-3. IRENA [en línea] (2016) Renewables Energy in Cities. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, Dirección URL: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Statistics_2016.pdf [consulta: 26 de Junio 2019]

Wall, M; Probst, M.C.M.; Roocker, M.C.; Dubois, M; Horbat, M; Jorgensen, O.B, Kappel, K; [en línea] (2012) Achieving solar energy in architecture-IEA SHC Task 41; Energy Procedia, vol.30, pp. 1250-1260, Dirección URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610212016542?token=6BBA2154E090F2203D24DF6AA8CC92A87313572C83C63BBD4F4B2D14FF6A7EC1E28D0DCE4AA286ECB13974B40877A728>

Freitas, S, C. Catita, P. Redweik, M.C.Brito, “Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art- review”, 2014 Elsevier Ltd. All rights reserved - 17 paginas.

Mermoud, A. (1995) Use and Validation of PVSYST a user-friendly software for PV-system desing. 13eth European Photovoltaic solar Energy Conference, Nice, 23-27. Octubre 1995.

Najibhamisu, U; Birinchi, B; Chandan, B; Panwar, S, (2018) Comparison of different PV power simulation software: case study on performance analysis of 1MW grid-connected PV solar power plant. International Journal of Engineering Science Invention (IJESI) ISSN (on line) 2319-6734. Volumen 7 Issue 7 ver II Julio 2018.

Britos, M. C., Gomes, N., Santos, T., Tenedorio, J.A., (2012) Photovoltaic potential in a Lisbon Suburb using LiDAR data. Solar Energy. Volumen 86, issue 1, Pages. 283-288.

Rawea, A; Urooj, S (2017) Remedy of Chronic Darkness & Enviromental effects in Yemen Electrification System usin Sunny Desing. International Journal of Renewable Energy Research. Vol. 7, Nro 1, 2017.

Amado, M; Poggi, F; [en línea] (2012) Towards solar urban planning: a new step for better energy performance. Energy Procedia 30, 1261-1273; Dirección URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1876610212016554?token=0DCCEEE EACEE410DEB1DC50A6434F316AE9FBF78FCC6E18F4B5A8F991DEC66246C18EE842725627AFFD75D2D52ACCD81> [consulta: Abril 2016].

García Alvarado, R; Wegertseeder, P; Baeriswyl, S; Trebilcock, M; (2014) Mapa energético-solar de Concepción: cartografía urbana del consumo energético y captación solar en edificaciones residenciales de Concepción, Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 59: 123-124

P. Reweik, C. Catita, M Brito, “Solar energy potencial on roofs and facades in an urban landscape” - Associate Editor David Renne – 10 paginas.

Araya-Muñoz, D; Carvajal, D; Saez-Carreño, A; Bensaid, S; Soto-Marquez, S (2014) Assassing the solar potencial of roofs in Valparaiso (Chile). Energy and Buildings 69-62-73.

Figueria, A; Maggi, A; Miguel, S; Fernandez, E; Grosso, D; Santamaría; (2019) Metodología para determinar el potencial de generación de energías renovables de base solar a escala urbana. Caso de estudio: Barrio de Flores – CABA. Revista Averma, Asades

Grossi, H; Righini, R; (2007) Atlas de energía solar de la República Argentina. Argentina, APF suma.

Santos, T; Gomes, N; Freire, S.; Brito, M.C., Santos, L.; Tenedório, J.A.(2014)“Aplication of solar mapping in the urban environment” Elsevier Ltd. All rights reserved. Applied Geography 51 -48-57.