

**HERRAMIENTAS DE PLANIFICACION SOLAR: METODOS DE ANÁLISIS Y  
EVALUACION DE RENDIMIENTO ENERGETICO Y AHORRO DE ENERGÍA  
EN ÁREAS URBANAS**

Dra. Nersa Gómez de Perozo<sup>1</sup>, Dra. Ester Higuera<sup>2</sup>, Dra. Mercedes Ferrer y Arroyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones; Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia (IFAD-LUZ), e-mail: *nersag@yahoo.com*

<sup>2</sup> Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio. Escuela de Arquitectura ETSAM. Universidad Politécnica de Madrid-UPM, e-mail: *ester.higuera@upm.es*

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones; Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia (IFAD-LUZ), e-mail: *ferrer.mercedes@gmail.com*

**RESUMEN**

El objetivo de la ponencia es presentar los resultados de una investigación sobre diversos métodos y herramientas aplicadas a nivel internacional (casos de estudio), procedimientos utilizados en las prácticas desarrolladas y su contribución en la evaluación del potencial solar, rendimiento energético y estrategias de optimización solar desarrolladas. El análisis comparativo de técnicas y procedimientos, directrices de referencia y/o herramientas (software) aplicadas, contribuyeron a la selección de la herramienta con mayor posibilidad de adaptación a los objetivos de investigación que indagan sobre la integración de los aspectos solares en los desarrollos multifamiliares urbanos (Bloque abierto) en Maracaibo (Venezuela). La estrategia metodológica comprende tres fases, Fase 1: búsqueda de literatura relevante sobre fundamentos teóricos relativos a la captación de energía y uso eficiente de los recursos, optimización solar, diseño y rendimiento energético, Fase 2: métodos y herramientas de planificación solar, descripción, descripción y análisis de los métodos y herramientas aplicadas y Fase 3: análisis comparativo y selección de la herramienta. Los resultados obtenidos destacan a ECOTECT como la plataforma más apropiada para la evaluación del potencial solar en los espacios exteriores en desarrollos residenciales multifamiliares a nivel local por su capacidad de adaptación a la condición microclimática local, sus instrumentos de análisis y manejo de geometría compleja.

**Palabras clave:** planificación y optimización solar, potencial solar, diseño y eficiencia energética, herramientas de evaluación.

**INTRODUCCIÓN**

Las ciudades y sus edificaciones tienen un impacto significativo en el uso de la energía y el medio ambiente, por tanto, el fomentar el aprovechamiento extensivo de la radiación solar en las ciudades se presenta como una estrategia viable para un desarrollo sustentable y puede constituir un aporte significativo en la reducción del consumo de las actuales fuentes energéticas fósiles, con la consiguiente disminución de las emisiones contaminantes (Gago et. al. 2013). Es por ello que la cuantificación de la radiación solar incidente sobre las edificaciones es importante para el diseño adecuado de instalaciones de aprovechamiento de la energía solar, de allí la conveniencia de disponer de valores de radiación solar en la

mayor cantidad de localidades, orientaciones e inclinaciones posibles (González, E, 2011). El interés se debe a que parte de esta energía se disipa en forma de calor intensificado por la radiación solar. Bajo ciertas condiciones este calor se acumula y es atrapado por las estructuras urbanas lo cual puede elevar las temperaturas en ciertas áreas producto de la forma en que se estructura la ciudad. Según POLIS Programa de Energía Inteligente Europa-IEE (2001), actualmente estamos cerca del final de la energía barata (fósil) por lo que debemos hacer de la reducción de la demanda de energía una prioridad ya que el abastecimiento futuro de energía no se realizará desde grandes plantas energéticas, sino desde multitud de plantas pequeñas y descentralizadas, alimentadas cada vez con más fuentes de energía renovable.

Además de trabajar intensamente en el ahorro de energía y eficiencia energética, nos enfrentamos al reto de asumir el potencial de las diversas fuentes de energía disponibles a nivel local e implementar políticas para su aprovechamiento. Según Caamaño et. al. (2011) dentro de las distintas tecnologías de energías renovables los sistemas solares tienen el potencial único de integrarse directamente con el entorno urbano, pudiendo transformar las ciudades en instalaciones centrales de producción masiva de energía verde (energía producida mediante fuentes primarias con respeto al medio ambiente).

La energía solar está estrechamente ligada a la forma, función y distribución de los edificios más que a ninguna otra fuente de energía renovable, por ello se requiere implementar detallados procedimientos de planificación solar que tomen en cuenta todos estos requisitos especiales. Sin embargo, los sistemas solares también pueden desempeñar un papel en los edificios ya existentes ya que pueden garantizar el potencial solar del entorno. Con este fin se han desarrollado nuevas técnicas e instrumentos de análisis con tecnología de escaneo láser integrada a sistemas de información geográfica GIS o en proyectos piloto en el contexto de la tipología urbana actual (POLIS, 2011). Por tanto, es conveniente utilizar las cifras ya disponibles para evaluar el potencial efectivo integrando las tecnologías solares en las áreas urbanas, poniendo en práctica las investigaciones, proyectos piloto y estrategias integradas al campo de la planificación urbana. Por ello es importante analizar las experiencias aplicadas con el fin de conocer los métodos y herramientas de planificación solar utilizados para la selección de la plataforma más adecuada para evaluar del potencial solar en la microescala urbana y a futuro determinar estrategias clave de optimización solar en los desarrollos residenciales, acorde a la condición energética local.

El objetivo de la ponencia es presentar los resultados de una investigación que indaga los diversos métodos y herramientas aplicados a nivel internacional (software) y su contribución a la evaluación del rendimiento energético y estrategias de optimización para el uso óptimo de los recursos solares. El propósito es realizar un análisis cualitativo de las herramientas seleccionadas, comparar los métodos y procedimientos utilizados a fin de seleccionar la más adecuada para el estudio energético y planificación solar en las áreas exteriores de los desarrollos multifamiliares (Bloque abierto) a nivel local. El trabajo comprende tres fases, Fase 1: búsqueda de literatura relevante relativa a captación de energía y uso eficiente de los recursos, optimización solar; diseño y rendimiento energético

Fase 2: métodos y herramientas de planificación solar, descripción, descripción y análisis de los métodos y herramientas aplicadas, y Fase 3: análisis comparativo y selección de la herramienta para el estudio del potencial solar. Los resultados obtenidos destacan a ECOTECT como la plataforma más apropiada para la evaluación del potencial solar en los desarrollos residenciales a nivel local debido a su capacidad de adaptación a la condición microclimática, sus instrumentos de análisis y el manejo de geometría compleja.

## 6. REVISION DE LITERATURA

A fin de garantizar el acceso y aprovechamiento solar algunos países de la Unión Europea han empezado a pensar en la planificación solar analizando los aspectos teóricos asociados a la temática energética y la adopción de herramientas a fin de regular e integrar dispositivos de captación solar y la optimización y rendimiento energético en el diseño urbano como respuesta a la crisis energética, reducción de contaminación y ajuste de costos. En este sentido se desarrollan algunos conceptos clave vinculados a la temática relativos a captación de energía solar, optimización solar y rendimiento energético, métodos y herramientas de planificación solar.

### 6.1 Captación de energía y uso eficiente de recursos en el medio urbano

Tal como lo reflejan los estudios, algunos investigadores han abordado el problema de acceso solar en los entornos construidos densamente urbanizados las que han arrojado directrices que buscan garantizar o controlar la entrada solar en los espacios exteriores urbanos. Los estudios destacan que la consideración de los derechos solares en el diseño urbano es esencial, permite el rendimiento solar activo y pasivo de las edificaciones y mejora las condiciones de los habitantes en las calles, aceras y los espacios abiertos. Un diseño que no considere los derechos solares puede generar condiciones no favorables en los edificios y su contexto. El diseño urbano es vital para cualquier noción de sostenibilidad ya que permite hacer uso de fuentes de energía para aumentar la comodidad en espacios exteriores. Esta noción ayuda a conocer cómo afecta la estructura del entorno construido la condición microclimática derivada de la interacción entre el clima y componentes del microespacio (Gómez, N, 2012).

De acuerdo a Gago et al. (2013), desde las primeras fases y decisiones del diseño es necesario considerar la implantación del edificio y los parámetros sobre relación parcela verde, factor de vista de cielo, densidad de construcción, área de superficie de pared, zona de pavimento, albedo, entre otros. Estos factores condicionan la adaptación microclimática, determinan el grado de respuesta a los requerimientos de habitabilidad de los usuarios y perfilan el consumo energético durante el ciclo de vida. Según Sosa, M. (2011), la integración del aprovechamiento de energía solar a nivel urbano pasa por estudiar la adaptabilidad que presentan las superficies para recibir y aprovechar la energía. Las fachadas, terrazas y cubiertas, así como los elementos arquitectónicos deben concebirse acorde a la sostenibilidad y autonomía energética. Plantea que en los próximos años se incrementará la introducción de tecnología solar en los entornos urbanos a fin de cubrir las necesidades de consumo adaptadas a los consumos reales, mediante el aprovechamiento de superficies no utilizadas (cubiertas, fachadas), ahorro en materiales de revestimiento (tejas,

vidrios, cubiertas), ahorro en pérdidas o ganancias por conducción. Igualmente la consideración de las condicionantes arquitectónicas de orientación, sombreado entre edificios, ventilación y complejidad de las instalaciones.

En la actualidad las morfologías urbanas favorecen las geometrías verticales las cuales configuran un complejo escenario donde se distribuye la radiación solar de manera irregular producto de los efectos dinámicos generados por las sombras sobre las edificaciones, su ocurrencia puede mitigar eventuales ampliaciones o reducciones de disponibilidad de radiación solar (Freitas et. al. 2014). Asimismo la distribución de los edificios y la estructura urbana afectan las condiciones energéticas, actúa en el ahorro energético y condiciona los aspectos de absorción de energía solar, flujos de radiación solar y aire entre los edificios y formación de corrientes de viento que favorecen la dispersión y absorción de energía. Los estudios de Liu et. al. (2012) tratan los aspectos de diseño urbano asociados al concepto de eco-eficiencia, señalan que la atención de los aspectos de energía en el diseño de ciudades más compactas podrían aumentar la eco-eficiencia. Esta posición sugiere que un aumento de densidad reduce el consumo de energía.

En cuanto a la densidad construida, las investigaciones de Cheng et. al. (2006) analizan las diversas influencias de esta variable en el acceso de luz urbana y potencial solar. Los resultados revelan que los factores luz del día, factor de vista al cielo y potencial solar dependen de la relación con la parcela, mientras el potencial solar de las fachadas se relaciona con la cobertura del sitio y al grado de obstrucción horizontal.

En relación a la acumulación solar, Compagnon (2004) analiza los efectos de la geometría, el diseño y la orientación vinculados al potencial de fachadas y techos para fines energéticos. El resultado refleja que más del 30% de la superficie de fachadas y techos son adecuadas para uso de las técnicas solares pasivas y el 50% para técnicas solares activas.

## 1.2 Optimización solar y rendimiento energético

La optimización solar es una oportunidad para mejorar el rendimiento energético solar pasivo y recurso solar activo (fotovoltaico y térmico) utilizando los edificios como apoyo de tecnología de producción energética solar activa y de control de áreas sombreadas (POLIS, 2011). El análisis de optimización solar provee una oportunidad para evaluar los desarrollos urbanos existentes y los nuevos desarrollos en términos de puntos fuertes y débiles de rendimiento solar.

Uno de los parámetros a considerar en optimización solar es el flujo del aire y su relación con el diseño urbano, en la combinación de edificios altos y calles estrechas se atrapa el aire caliente, se reduce el flujo de viento y disminuye su velocidad lo que afecta la captación de energía y favorece el efecto de calor urbano (Gago et. al. 2013). Diversos métodos estiman la rugosidad aerodinámica urbana y la vinculación del flujo del aire, corredor urbano y absorción de energía, y comprueban que los edificios altos generan múltiples reflexiones de radiación horizontal lo cual aumenta la probabilidad que la energía permanezca en la superficie del suelo.

Otros elementos como techos, pavimentos y espacios verdes, pueden favorecer el enfriamiento de las superficies y reducción del consumo de energía. El verde urbano se destaca como moderador de temperaturas y de los procesos de evapotranspiración y sombreado de superficies (Bowler, et. al. 2010). Al igual que la refrigeración por evaporación y sombreado de los árboles genera enfriamiento de la atmósfera por interceptación de la radiación solar que previene el calentamiento de la superficie del suelo y del aire.

Conforme a Wong et. al. (2011), existen tres elementos que afectan la temperatura urbana a escala local, los edificios, espacios verdes y pavimentos. Afirman que el 100% de cobertura de vegetación en sistemas de verdor vertical resulta eficaz en la reducción de la temperatura media radiante en fachadas de cristal. Existe correlación lineal entre el coeficiente de sombra y el índice de área foliar, un índice de sombreado inferior conduce a mayor aislamiento térmico.

En cuanto al factor albedo, Taha (1997) sostiene que la distribución de temperatura en las zonas urbanas es afectada por el balance de la radiación urbana. La radiación solar incidente sobre las superficies urbanas se absorbe y se transforma en calor sensible, los techos y superficies forman una masa donde se acumula el calor que es emitido al medio ambiente. La intensidad de la onda depende de las superficies visibles al cielo y características de los materiales. El uso de materiales de alto albedo reduce la radiación solar absorbida por las envolventes y estructuras urbanas.

En los análisis sobre los pavimentos y materiales comúnmente utilizados en los espacios urbanos al aire libre, los estudios de Doulos et. al. (2004) destacan las variaciones de temperatura media diaria producto de las diferencias del factor albedo de cada material. Los autores plantean que las superficies ásperas y colores oscuros (materiales calientes) tienden a absorber más radiación solar que las superficies planas lisas y de colores claros (materiales fríos). Sugieren el uso de materiales fríos preferiblemente en entornos urbanos de clima cálido y utilización de materiales calientes en climas fríos.

## **MÉTODOS Y HERRAMIENTAS DE PLANIFICACIÓN SOLAR.**

El objetivo principal del proceso de planificación solar es facilitar en las áreas urbanas la integración del aspecto solar en cada fase del proyecto para tratar de garantizar niveles mínimos en la demanda de energía y el uso óptimo de los recursos solares mediante el uso de técnicas pasivas y activas. Sin embargo, uno de los principales problemas para el estudio solar en un espacio urbano es la determinación de la escala a estudiar, ya que existen grandes diferencias entre los procesos que se generan en las diversas escalas que impiden definir un único sistema multiescalar aplicable a todos los casos. Se opta por la utilización de diferentes herramientas, por tanto es necesario indagar los diversos sistemas de aplicación y sus limitantes, algunos requieren mediciones especiales in situ; otros son aplicables a lugares concretos. La opción de aplicar diferentes sistemas o mezcla de datos simulados con datos reales aumenta la incertidumbre por la suma de errores intrínsecos.

De ahí que el uso de determinados instrumentos permite alcanzar optimización solar mediante directrices de referencia y/o herramientas de software adaptados a las condiciones urbanas y objetivos de la evaluación. El cálculo computacional ha permitido el desarrollo de metodologías de simulación cada vez más elaboradas, capaces de considerar un número mayor de variables y de mejorar el conocimiento y la previsión de procesos que se generan en el entorno urbano. Diferentes programas informáticos han ido perfeccionando sus herramientas de evaluación solar y cuantificación de fachadas con radiación solar directa. Un método muy utilizado para la optimización solar y el rendimiento energético es la técnica de simulación que permite evaluar las situaciones de la realidad y comparar diferentes situaciones con el plan original o con soluciones óptimas simuladas. El uso de las simulaciones en 3D ayuda a predecir condiciones como horas de sol directo en las fachadas y zonas sombreadas, al igual que los cambios de un edificio o conjunto de edificios que pudiesen intervenir en la captación del potencial solar mediante la manipulación de las edificaciones, cambios en las dimensiones, volumen y densidad, variación de la orientación, altura y de la vegetación circundante.

### 6.2 Descripción de herramientas de estudio del potencial solar urbano.

En este estudio se presenta la descripción y análisis de algunos herramientas aplicados en diferentes contextos y experiencias de evaluación y planificación solar en función de los objetivos planteados para el análisis y comprensión de la condición energética a diversas escalas del espacio urbano mediante diversos métodos de modelación energética. Con este propósito se seleccionaron las herramientas SUNtool, Solene, RayMan, Autodesk Ecotect Analysis 2010, ENVI-met, dadas sus características es posible la evaluación del potencial solar en las áreas exteriores y determinar las técnicas adecuadas para captación y aprovechamiento solar en los espacios urbanos, objeto del estudio.

#### Herramienta SUNtool

Consiste en un enfoque multiescalar propuesto por Robinson (2011) desarrollado con doble función, para la definición de pautas de diseño bioclimático y con fines educativos. Facilita el análisis y comprensión de los procesos producidos en el espacio construido y considera la integración de dos sistemas: la mesoescala que simula las condiciones a nivel de ciudad y a escala más detallada los barrios en estudio (Tabla 1).

**Tabla 1. Herramienta SUNtool**

OBJETIVO	Realizar una modelación energética a partir de la estimación de las obstrucciones solares calculadas en el espacio urbano.
METODO	Es una interface donde el usuario puede seleccionar la localización y datos inteligentes incluyendo valores climáticos y características de los edificios (ocupación, tipología, sistemas de acondicionamiento, etc.). En la interfaz se define la geometría 3D de edificios, características de la simulación y los datos de salida.
	El primer componente, interfaz gráfica, es compatible con los principales software de diseño: CAD, ArchiCAD, Sketchup, Rhino, y

SOFTWARE	con herramientas de modelación ambiental como LT, Ecotect y Tas. El segundo componente el motor de simulación ‘Solver’, constituido por diferentes módulos que pueden calcular separadamente el comportamiento microclimático, térmico, estocástico y de vegetación
MODELO DE CALCULO	<p>Integra un modelo de cálculo dinámico del espacio urbano y el edificio basado en las teorías de fluido dinámico e intercambio radioactivo compuesto por diferentes módulos de simulación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Microclimático: basado en aplicación de principios de hidrodinámica, intercambio de radiación solar de onda larga y corta, calor antropogénico y evapotranspiración.</li> <li>-Consumo energético: evalúa la demanda energética de los edificios según características, ocupación, influencia del microclima y sombras.</li> <li>-Modelo estocástico: Referido a modificación del flujo de aire y temperatura y/o ocupación del espacio, generación de residuos, energía y biogás y uso de iluminación natural asociada a la ocupación.</li> <li>-Plantas: dimensionamiento plantas de distribución de energía y agua.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Robinson 2007

### Herramienta SOLENE

La herramienta aplicada por Miguet (2008) se basa en el diseño de un modelo 3D para evaluar la concepción climática de los proyectos de arquitectura. El sistema se aproxima al comportamiento real del espacio urbano pero la calidad de resultados depende de la calidad y precisión de los datos de entrada, lo que limita el modelo. El objetivo es apoyar el diseño de nuevos espacios urbanos y generar pautas para disposición y morfología de edificaciones, calles, distancias entre bloques y permitir el aprovechamiento solar e iluminación natural (Tabla 2).

**Tabla 2. Herramienta SOLENE**

OBJETIVO	Soportar el diseño bioclimático de los edificios en el espacio urbano y formular conocimientos teóricos que constituyan una base referencial en el diseño arquitectónico.
METODO	El modelo 3D integra diferentes módulos de cálculo que incorporan la radiación solar, iluminación y efectos térmicos, condiciones exteriores y confort de los usuarios. El modelo está compuesto por una malla que define el espacio urbano y cielo hemisférico simula la radiación difusa
	<p>Calculo de radiación solar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Radiación solar e iluminación: cantidad de radiación solar (W/m<sup>2</sup>) y de iluminación (lux) recibida por las superficies urbanas, directa, indirecta y reflejada.</li> <li>-Mapas de repartición: distribución de la radiación, zonas sombreadas.</li> <li>-Iso-shadow: representación en un mapa de isolíneas del ratio de la radiación solar incidente en edificios y zonas no obstruidas.</li> <li>-Rosa de orientación: exposición solar de fachadas por orientación.</li> </ul>

<p>MODELO DE CALCULO</p>	<p>-SVF: expresado en un mapa con valores de 0 a 1. Cálculo de simulación energética: -Temperatura superficial y flujo de energía de las fachadas y entre las superficies horizontales y la atmosfera; cálculo de emisiones de superficies, flujo de calor entre aire y superficie y transferencia de calor por conducción. Datos de entrada: indicación temporal, datos meteorológicos in situ (temperatura del aire, velocidad y dirección del viento, nebulosidad o cobertura de nubes) y descripción detallada de materiales y propiedades físicas.</p>
--------------------------	---

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Miguet 2008

### Herramienta RayMan

El instrumento propuesto por Matzarakis et. al. (2007) es sencillo y capaz de proporcionar una buena resolución del balance del flujo radioactivo y la evaluación termo fisiológica de las personas. Suministra el valor de Temperatura Media Radiante (TMR) utilizada para determinar índices de confort térmico, PMV38, el PET39 y SET40.

El software es empleado para conocer el grado de confort proporcionado por los árboles en parques urbanos, la ventaja es que permite el cálculo computacional en muchos escenarios y con baja inversión de tiempo pero de uso limitado por la exigencia de datos climáticos medidos in situ. La herramienta representa una alternativa complementaria ya que no permite determinar valores climáticos predictivos (Tabla 3).

**Tabla 3. Herramienta RayMan**

<p>OBJETIVO</p>	<p>Proporcionar el balance del flujo radioactivo y la evaluación termo fisiológica de las personas.</p>
<p>METODO</p>	<p>Los datos de cálculo requeridos son; temperatura del aire, humedad y velocidad de viento, y definición de la geometría del espacio. Es una interfaz gráfica sencilla que permite definir la geometría del espacio.</p>
<p>MODELO DE CALCULO</p>	<p>La herramienta incorpora el cálculo del SVF y su visualización en una imagen de ojo de pez. El software también puede emplearse para la determinación de sombras, radiación solar media y máxima diaria y las horas de sol.</p>

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Matzarakis 2007

### Herramienta Autodesk Ecotect Analysis 2010

El software de simulación y análisis energético Autodesk Ecotect Analysis 2010 (Tabla 4) orienta a los proyectistas en las primeras fases de diseño de edificios y en las fases sucesivas en la evaluación de demandas y consumos energéticos. Integra un módulo de estudio urbano enfocado a obtener la mejor orientación con fines de aprovechamiento solar.

Ecotect se utiliza en el estudio energético de los edificios, sin embargo, el sistema realiza una buena aproximación al análisis de radiación solar, componente de cielo y estudio de sombras, elementos importantes en el diseño bioclimático de los espacios urbanos (Marsh, 2010). El método ha sido empleado como sistema complementario para estudiar la componente radioactiva y del SVF en la fase de análisis del estado actual. Sin embargo, el uso del software es limitado en rehabilitación urbana pues no prevé modificación sustancial de los volúmenes de los edificios.

**Tabla 4. Herramienta Ecotect**

OBJETIVO	Estudiar los diferentes comportamientos energéticos de los edificios, incluye módulos de análisis de la radiación solar, iluminación natural, consumo de agua y propagación del ruido. Asimismo, analizar los componentes del exterior para el diseño bioclimático de los espacios urbanos.
METODO	Incorpora valores climáticos específicos a través de la herramienta Weather Tool, también datos de temperatura, radiación solar, intensidad y dirección de los vientos. Estos datos pueden consultarse con diferentes sistemas de visualización y permite superposiciones con otros diagramas de aprovechamiento solar.
MODELO DE CALCULO	Realiza cálculos avanzado de la componente solar analizando dos parámetros, factor vista al cielo y radiación solar incidente y reflejada en el espacio urbano. Los modelos geométricos 3D de los casos de estudio pueden realizarse directamente a través del módulo de diseño o desde otros programas como Autocad, Revit o Sketchup.

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Marsh 2010

### Herramienta ENVI-met

Se emplea en numerosas investigaciones de simulación microclimática del espacio urbano y ha sido diseñada para simular las condiciones en la micro-escala (Tabla 5). De acuerdo a Wong et. al. (2010), el instrumento permite evaluar el efecto de la vegetación en el espacio urbano y el efecto de absorción y reflexión de radiación solar y evapotranspiración en diversos escenarios de rehabilitación para mitiga el microclima.

**Tabla 5. Herramienta ENVI-met**

OBJETIVO	El propósito es modelar la interacción entre superficies-plantas-aire en un entorno urbano, basado fundamentalmente en modelos de fluidodinámicos y termodinámica (Bruse, 2012).
METODO	Modelización 3D del espacio para obtener un amplio abanico de resultados sobre parámetros meteorológicos, calidad del aire y confort. Los datos de entrada sobre geometría y datos climáticos de partida pueden recopilarse fácilmente de estaciones meteorológicas cercanas.

MODELO DE CALCULO	Cálculo avanzado de la componente solar en áreas específicas analizando dos parámetros: el factor de vista al cielo y la radiación solar incidente y reflejada en el exterior. Los modelos 3D a simular pueden realizarse directamente en el programa a través del módulo de diseño o desde otros programas como Autocad, Revit o Sketchup.
-------------------	---

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de Wong 2010

### 3. ANÁLISIS COMPARATIVO Y SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA

El cuadro 6 presenta la comparativa entre propiedades y características destacadas en los sistemas analizados. Se observa que la mayoría de herramientas presentan ciertas coincidencias en el cálculo, variables y datos requeridos en la evaluación solar urbana.

**Tabla 6. Comparativa de herramientas**

Herramienta	Objetivo	Método	Modelo de calculo
SunTool	Estima intercambio de calor entre superficies y el aire, obstrucciones solares espacio urbano.	Define geometría 3D de edificios, la simulación y los datos de salida	Se basa en teorías de fluido dinámico. Apoya sistemas 3D, CAD, Ecotec ArchiCad, Sketchup.
SOLENE	Simula claridad del cielo y dirección de radiación onda directa y reflejada en diseño bioclimático de edificios espacio urbano	Modelo 3D y visualización en 2D. Incluye cálculo de radiación solar, iluminación, efectos térmicos y confort.	Calculo de radiación solar e iluminación. Cálculo de temperatura y flujo de energía. Cálculo de emisiones, flujo y transfer. de calor.
Rayman	Estima transmisión de onda e intercambio radioactivo, efectos de las nubes y obstáculos sólidos	Modelo en 3D y visualización en 2D. Datos: temperatura, humedad, vel. viento, flujos de radiación.	Incorpora Factor vista al cielo (SVF). Determina sombras, radiación solar media y máxima diaria y las horas de sol.
Ecotec	Evalúa comportamiento energético de edificios y componentes exteriores del diseño bioclimático espacio urbano. Permite exportar datos a otros modelos	Modelos 3D, exporta datos de módulo de diseño o desde AutoCad, Revit o Sketchup. Datos: temperatura, radiación intensidad y vientos.	Incluye módulos de análisis de radiación solar, iluminación. Analiza el factor vista al cielo y la radiación solar incidente y reflejada en el espacio urbano.
ENVImet	Simula la radiación directa, reflejada y emitida por el entorno urbano. Incluye mecánica de fluidos y termodinámica.	Modelo transmisión de calor. Datos: velocidad de viento, temperatura, humedad flujos radiactivos, dispersión de contaminantes.	Modelado de cuatro interfaces: mapas digitales, editor base de datos, área de modelado y datos de salida con posibilidad de edición a otros programas.

Fuente: elaboración propia

En la revisión de los métodos y herramientas se evidencia que la mayoría de instrumentos utilizan cálculos numéricos que contribuyen a la predicción de horas de sol en fachadas, zonas sombreadas y cambios edificatorios intervinientes en la captación solar. Asimismo, coinciden en el uso de algunas variables y de modelos 3D que son los que más se adaptan a la evaluación de escenarios de la realidad local (casos de estudio). El estudio comprueba que las herramientas son de un alto nivel de complejidad, la realización de un modelo es laboriosa y compleja por la cantidad de factores intervinientes. Sin embargo, el cálculo computacional ayuda al avance hacia modelos más complejos cercanos a nuestra realidad.

### 3.1 Selección de la herramienta

Una vez analizados los sistemas se propone el programa ECOTEC como alternativa que satisface el compromiso entre la dificultad de realización del modelo y la consecución de resultados considerando los recursos técnicos disponibles. Por la fuerza de los instrumentos de análisis y su capacidad en el manejo de geometría compleja, ECOTECT es la plataforma elegida para analizar el potencial solar y consumo energético adaptado al clima tropical local. El programa facilita la transferencia de geometría y aumenta la velocidad de cálculo de ganancia solar por la simplicidad de entrada y capacidad de importar geometría, gráficos, y exportar resultados en herramientas más avanzadas. Ecotect aplica la simulación del patrón de intensidad y distribución de la radiación solar en las superficies, combina una interfaz gráfica con herramientas de análisis disponibles en el software para el análisis de las cargas térmicas, flujo del aire, iluminación, sombras y reflexión, protecciones solares, radiación solar y acústica.

## 4. CONCLUSIONES

El tema analizado sobre aplicación de métodos y herramientas en experiencias prácticas de evaluación aplicadas a nivel internacional y latinoamericano (casos de estudio), conllevó a conocer y evaluar los procedimientos utilizados y orientó la selección de la herramienta adecuada para evaluar el potencial solar a nivel local. La indagación muestra la aplicabilidad de los instrumentos en el análisis del comportamiento térmico-energético (casos de estudio) y la contribución del cálculo computacional en la obtención de datos relativos a consumo energético, condiciones climáticas y ganancia solar en las áreas exteriores urbanas. El proceso destacó a ECOTEC como la plataforma más apropiada por sus ventajas técnicas para análisis, retroalimentación de la información y predicción de la condición energética exterior. El sistema proporciona beneficios cuando se conocen sus alcances y limitaciones. El uso de equipos sencillos y de acceso gratuito al programa también influyen en la selección como herramienta de cálculo solar prevista para el estudio.

## 5. REFERENCIAS

Bowler, D.; Buyung, A.; Knight, T.; Pullin, A. (2010). Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 97, pp. 55-147.

Bruse, M.; Wania, A.; Blond, N.; Weber, C. (2012). Analyzing the influence of different street vegetation on traffic-induced particle dispersion using microscale simulations. *Journal of Environmental Management*, Vol. 94, pp. 91-101.

Caamaño, M.; Higuera, E.; Neila, J. (2011). *Hacia un Urbanismo solar. Proyecto europeo POLIS Energías renovables 2010-2020*. Instituto de Energía Solar-Universidad Politécnica de Madrid. Extraído en agosto 2015. Disponible en: [http:// www.polis-solar.eu](http://www.polis-solar.eu)

Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings*. Vol.36, pp. 321–338.

Cheng, V.; Steemers, K.; Montavon, M.; Compagnon, R. (2006). Urban form, density and solar potential. *PLEA 2006*, pp. 6-18, Geneva, Switzerland.

Doulos, L.; Santamouris, M.; (2004) Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar and Energy*. Vol. 77, pp.49-:231.

Freitas, C.; Catita, C.; Redweik, P.; Brito, M. (2014). *Modelling solar potential in the urban environment*: Reed Elsevier, Pennsylvania.

Gago, E.; Roldan, J.; Pacheco, R.; Torres, J.; Ordóñez, I. (2013). The city and urban heat islands: Are view of strategies to mitigate adverse effects. Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería. *Renewable and Sustainable Energy Reviews Journal*. España. Disponible en: <http://www.elsevier.com/locate/rser>

González, E. (2011). *Estimación de la irradiancia solar global en las envolventes de un edificio estándar en la ciudad de Santiago, región metropolitana, mediante un modelo de simulación*. Doctorado en Ciencias meteorológicas. Universidad de Chile, Santiago.

Gómez, N. (2012). *Control ambiental del espacio urbano. Estrategias para el control microclimático del espacio entre edificaciones en clima cálido-húmedo*. Doctorado en Ciencias Ambientales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid-UPM, Madrid.

Liu, Y.; Song, Y.; Arp, H. (2012). Examination of the relationship between urban form and urban eco-efficiency in China. *Hábitat International*. Vol. 36, pp.7-17.

Marsh, A. (2010). *Thermal Modelling: The AUTODESK - ECOTEC (Version 5.6)*. Extraído en enero 2016. Disponible en: <http://www.squ1.com>

Matzarakis, A.; Rutz, F.; Mayer, H. (2007). Modeling Radiation Fluxes in Simple and Complex environments-application of the RayMan Model. *International Journal of Biometeorology*. Vol. 51, pp. 323-334.

Miguet, F. (2008). A further step in environment and bioclimatic analysis: the software toll Solene. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. Vol. 2, pp. 58-67.

POLIS Programa de Energía Inteligente Europa (IEE) (2001). *Identificación y movilización del potencial solar mediante estrategias locales. Directrices basadas en las experiencias piloto de Lisboa, Lyon, Malmö, Múnich, París y Vitoria-Gasteiz*. Documento en línea: [https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/ieeprojects/files/projects/documents/polis\\_guidelines](https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/ieeprojects/files/projects/documents/polis_guidelines)

Robinson, D. (2011). *Computer Modeling for Sustainable Urban Design: Physical Principles, Methods and Applications*. Earthscan Publications Ltd. London, Routledge Publisher, London and USA.

Sosa, M. (2011). Desarrollo de método paramétrico para determinar índices de eficiencia energética para fachadas en edificios con sistema de acondicionamiento activo. *Revista Ambiente y Sostenibilidad*. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, pp.19.

Taha, H. (1997). Urban climates and hest islands: albedo, evapotranspiration and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*. Vol. 25, pp. 99–103

Wong, N.; Kwang, T. (2010). Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls. *Building and Environment*, Vol. 45, No. 3, p. 663-672.

Wong, N.; Jusuf, S.; Chen, Y.; Sathyanarayanan, H.; Manickavasagam, Y. (2011). Evaluation of the impact of the surrounding urban morphology on building energy consumption. *Solar and Energy*. Vol. 85, pp. 57–71