

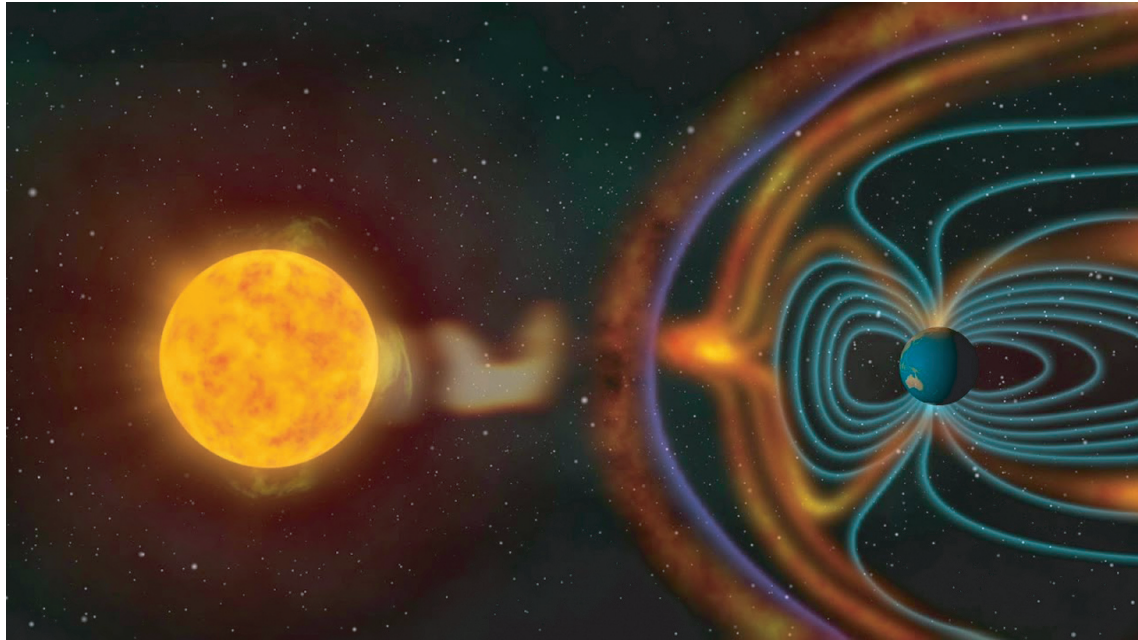
EN PROYECTOS URBANOS

El Sol es la fuente de todas las formas y expresiones de energía en el mundo. La existencia de los seres vivos no sería posible en ausencia de los organismos fotosintéticos, y éstos no existirían si nuestro planeta no tuviese un aporte continuo y efectivo de radiación solar. Los climas del mundo obedecen a esta relación Sol-Tierra, así como muchos fenómenos geológicos y oceánicos.¹ La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el Sol. De esta energía, el motor que mueve nuestro medio ambiente, sólo 0.1% se utiliza en el proceso de la fotosíntesis, pero incluso esta cantidad es diez veces

mayor que el consumo de energía del mundo actual.² El poder solar sigue siendo la más abundante fuente renovable de energía en la Tierra, el aprovechamiento de esta fuente de energía se encuentra como el reto de este siglo.³

El total de la energía radiante del Sol es notablemente constante. De hecho, la emisión de radiación solar comúnmente se ha denominado la *constante solar*, pero el término aceptado actualmente es la *irradiación solar*

* Universidad Autónoma de Nuevo León.
Contacto: clealiga@hotmail.com, jlealiga@yahoo.com.mx



total (TSI), para tener en cuenta la variabilidad real con el tiempo. Hay ciclos en el número de manchas solares (áreas más frescas, oscuras en el Sol) y la actividad solar de aproximadamente 11 años.

La variación en las mediciones de TSI es de $\pm 0.2\%$, las cuales se deben al ciclo de manchas solares. Estas variaciones se supondrían como mínimas, si se considera que la medición de la radiación en el espacio por los radiómetros más precisos es de $\pm 0,5\%$.³

La cantidad de radiación que se intercambian entre dos objetos depende de su distancia de separación. La órbita elíptica de la Tierra (excentricidad 0.0167) nos acerca más al Sol en enero y lo aleja más en julio. Esta variación anual se traduce en una variación de la irradiación solar de la Tierra de $\pm 3\%$. La distancia media del Sol a la Tierra es de 149, 598,106 km (92;955,953 millas), o 1 AU.

La irradiación solar que llega a las capas superiores de la atmósfera se le llama *radiación solar extraterrestre* (Extraterrestrial Radiation ETR). Según lo medido por múltiples satélites en los últimos 30 años, la ETR es $1,366 \pm 7 \text{ W/m}^2$ en 1 AU. Según cálculos astronómicos, como el software de posición solar del National Renewable Energy Laboratory (NREL), la variación de la distancia Tierra-Sol causa una variación típica en la ETR de unos $1,415 \text{ W/m}^2$, alrededor del 3 de enero; a unos $1,321 \text{ W/m}^2$, alrededor del 4 de julio.³

La atmósfera terrestre es un filtro constantemente variable para la TSI que alcanza a llegar al suelo. La cantidad de atmósfera que deben atravesar los fotones solares, también denominada la *longitud del camino atmosférica* o *masa de aire* (AM), depende de la posición solar relativa del observador. En esta masa de aire se genera la absorción de la radiación solar por el ozono, oxígeno, vapor de agua y dióxido de carbono.

El ambiente despejado también contiene moléculas gaseosas, polvo, aerosoles, partículas, entre otros, que reduce la ETR cuando atraviesa la atmósfera. Esta reducción se debe a absorción (captación de la radiación) y dispersión (esencialmente un tipo complejo de reflexión) de los elementos que componen la atmósfera.³

Los rayos de luz del Sol se consideran paralelos para la mayoría de las aplicaciones y se les denomina *irradiación normal directa* (DNI), por lo general se estiman como la cantidad de radiación recibida anualmente por una superficie mantenida normal a la radiación entrante y se miden en $\text{kWh/m}^2/\text{año}$. Esta cantidad es de particular interés para la construcción de instalaciones solares térmicas de concentración, las cuales se basan en seguir la posición del Sol.⁴

Se sigue investigando acerca de las propiedades de constituyentes atmosféricos para estimar su influencia sobre la magnitud de la radiación solar que se encuentra en varios niveles de la atmósfera y a nivel del suelo por

medio de mediciones con satélites, modelos matemáticos,⁵ y que efectúan mediciones de los flujos solares a nivel del suelo. Las mediciones a nivel del suelo permiten obtener un patrón estadístico del comportamiento de la atmósfera más preciso.

Con el objetivo de evaluar el uso de la radiación solar en proyectos urbanos, se presenta el análisis de la potencialidad de aprovechamiento fotovoltaico en un caso de estudio ubicado en la zona de Escobedo, en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Determinando la cantidad de irradiación solar mensual medida a nivel de suelo, y con ella calcular los m² de paneles fotovoltaicos que se requerirían para sustituir el uso de electricidad generada con recursos no renovables, en una casa promedio de un fraccionamiento diseñado con criterios bioclimáticos.

Descripción del clima

Monterrey está geográficamente situado a 25° 40' latitud Norte y a 100° 18' longitud Oeste, a una altitud de 540 msnm, el clima se clasifica como extremoso, principalmente caluroso y seco, pero con temperaturas templadas en las áreas más altas con heladas en invierno. Monterrey tiene una temperatura promedio de 23°C, aunque suele llegar a los 43°C en verano y a menos de 5°C en invierno. La humedad promedio es de 62%, y con lluvias fuertes durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre. Los vientos dominantes provienen del oeste y del sureste; estos últimos del cañón del Huajuco. En el invierno predominan los del norte, que en febrero y marzo soplan con mayor fuerza.⁶ En la figura 1 se muestra la estadística de los promedios de temperaturas medias, máximas y mínimas medidas en la estación "Observatorio Monterrey" de la CNA (Comisión Nacional del Agua) en el periodo de 1991 a 2002.⁷

Caso de estudio

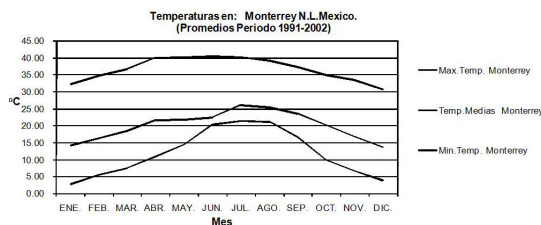


Fig. 1. Temperaturas máximas, medias y mínimas en la Estación Observatorio de la CNA: latitud 25° 44' 01", longitud 100° 18' 17", altitud 515 msnm. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2 se aprecia el caso de estudio (figura de rombo), ubicado en el Fraccionamiento Vida (Vivienda de Diseño Ambiental) en el municipio de General Escobedo, en el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Este fraccionamiento ganó el Premio Nacional de Vivienda 2007, en la categoría desarrollo habitacional sustentable.⁸ En éste se aplicaron principalmente criterios de bioclimatismo y sistemas de energía solar pasiva en su diseño.

Se plantea evaluar la potencialidad de aprovechamiento de sistemas de energía solar activa, al sustituir el total de consumo eléctrico de las viviendas con la energía generada por un sistema de paneles solares, considerando el promedio mensual de los consumos de electricidad de dos casas en la zona de estudio.

Radiación solar en la zona

Las mediciones de radiación solar se tomaron de las dos estaciones del Sistema Integral de Monitoreo Ambiental del Estado de Nuevo León⁹ más cercanas a la zona en estudio.

La posición de las dos estaciones se observa en la figura 2 (círculos). La estación Norte en Escobedo se ubica en el fraccionamiento Santa Luz, y la estación Noroeste en la colonia San Bernabé.

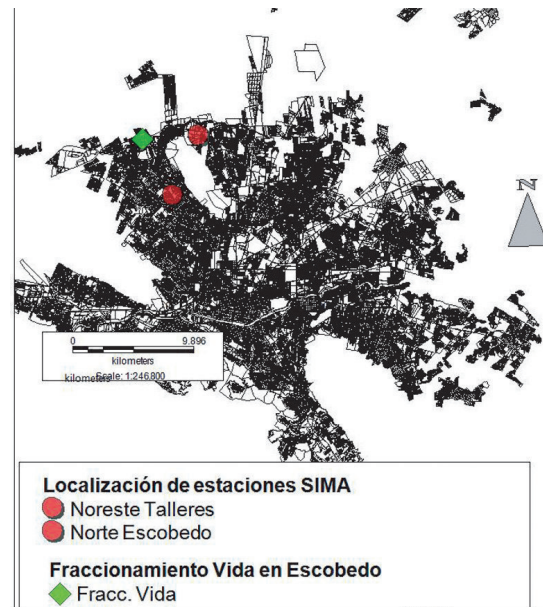


Fig. 2. Localización de las dos estaciones meteorológicas y el caso de estudio en el área metropolitana de Monterrey, N.L. Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIMA e IVN).^{9,10}

Las mediciones se muestran en la figura 3. Como se observa, el comportamiento de la radiación en las dos estaciones es muy similar, sin embargo, la estación Noroeste capta más radiación en verano que la Norte.

En la tabla I se muestran los valores de la radiación solar mensual medida para las dos estaciones consideradas, así como el promedio de las mismas.

Consumo eléctrico en la casa promedio

Para determinar los consumos de la casa promedio del fraccionamiento se realizó una encuesta que arrojará los promedios mensuales de los gastos de energía eléctrica en dos casas. Con base en los consumos reportados en los recibos de la compañía de electricidad, los promedios de consumo por mes en 2012 se presentan en la tabla II.

Cálculo de paneles fotovoltaicos

En el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos de baja potencia, como las casas habitacionales, un concepto útil al trabajar con celdas solares es la unidad denominada *potencia pico* o *watt pico* (Wp).¹¹ La potencia de todos los paneles fotovoltaicos se especifican en Wp, bajo lo que denominan condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés, Standard Test Conditions). El STC es un estándar de medición que permite la comparación de paneles de distintos fabricantes bajo las mismas condiciones de prueba.¹² Un Wp representa la potencia eléctrica que entrega el panel cuando la irradiación sobre éste es de 1000 W/m² (estándar o norma de certificación), con un espectro o composición similar a la radiación solar, y con una temperatura de 25°. ¹³

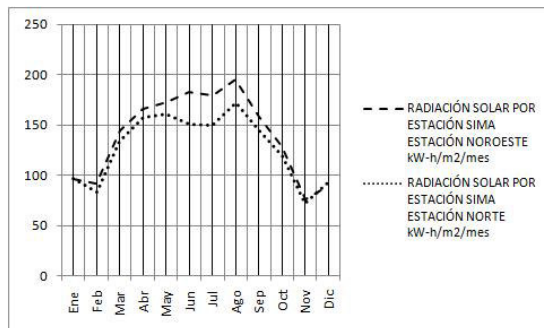


Fig. 3. Mediciones de radiación solar en kW-h/m²/mes 2012 para cada una de las dos estaciones SIMA. Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA).

El área en m² de paneles fotovoltaicos se determinará en función del número de paneles necesarios, para satisfacer el consumo de energía eléctrica para la casa en estudio y la disponibilidad de radiación solar medida en las dos estaciones.

Así, mediante la ecuación (1) se calculará la energía requerida en Wp, al considerar lo mencionado en el párrafo anterior, además de la eficiencia del panel y las pérdidas correspondientes.¹¹⁻¹³

$$Er = \frac{1000 \cdot CoE}{ProR \cdot \alpha \cdot (1 - \phi)} \quad (1)$$

Tabla I. Radiación solar medida por estación y promedio.

Meses año 2012	ESTACIÓN NOROESTE (NO)	ESTACIÓN NORTE (N)	PROMEDIO
	kW-h/m ² /mes	kW-h/m ² /mes	kW-h/m ² /mes
Enero	96.942	96.901	96.922
Febrero	91.855	82.833	87.344
Marzo	144.402	134.185	139.294
Abril	166.509	156.871	161.690
Mayo	172.524	160.511	166.518
Junio	183.244	150.742	166.993
Julio	179.903	149.871	164.887
Agosto	195.151	172.101	183.626
Septiembre	157.749	144.504	151.127
Octubre	129.128	119.141	124.135
Noviembre	76.542	71.59	74.066
Diciembre	90.049	92.779	91.414

Fuente: Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA).

Tabla II. Consumo promedio de energía eléctrica por casa.

Mes de consumo en 2012	kW-h/mes
Enero	132.50
Febreo	145.00
Marzo	145.00
Abril	125.50
Mayo	125.50
Junio	163.00
Julio	163.00
Agosto	246.50
Septiembre	246.50
Octubre	192.50
Noviembre	192.50
Diciembre	132.50

Fuente: Elaboración propia con base en encuestas de campo.

Donde E_r es la energía requerida, en W_p ; CoE el consumo de energía eléctrica promedio en $kW-h/mes$ para la casa en estudio (tabla II); $ProR$ la radiación solar promedio de las dos estaciones en $kW-h/m^2/mes$ (tabla I); ϕ el factor de pérdidas, $Adim$ y α la eficiencia del panel.

Las pérdidas en el sistema fotovoltaico se calcularán mediante la ecuación (2).

$$\phi = \omega + \theta + \mu + \beta \quad (2)$$

Donde ω son las pérdidas por sombras, polvo y suciedad = 8%;^{14,15} θ las pérdidas por envejecimiento de los cables = 3%;^{14,15} μ las pérdidas por baterías = 15%;¹⁴ β las pérdidas por el inversor = 15%.^{14,15}

El panel fotovoltaico propuesto en el presente estudio es policristalino con 0.99 m de ancho, 1.74 m de largo, 1.719 m^2 de superficie de captación y con capacidad de entregar 176 W_p en condiciones estándar SCT. Para este panel se determinó una eficiencia energética α de 0.12, basado en las características dadas por el fabricante.

El número de paneles requeridos N_p se calculará con la ecuación (3).

$$N_p = \frac{E_r}{E_p} \quad (3)$$

Donde E_p es la energía aportada por el panel, en $W_p = 176W_p$.

Así, los m^2 de panel que se requieren para satisfacer el consumo en la casa en estudio se calcularán mediante la ecuación (4).

$$ATPR = N_p \cdot A_p \quad (4)$$

Donde $ATPR$ es el área total de paneles requeridos en m^2 , y A_p el área de un panel, en $m^2 = 1.719 m^2$.

RESULTADOS

Los resultados de calcular el área de paneles necesarios para satisfacer el consumo en la casa en estudio $ATPR$, se muestran en la tabla III.

Suponiendo que la regulación energética gubernamental permitiera sustituir la energía eléctrica completa

Tabla III. Área y número de paneles requeridos.

N_p No. Paneles	$ATPR$ m^2 Panel
13.17	22.85
15.99	27.75
10.02	17.40
7.47	12.97
7.26	12.60
9.40	16.32
9.52	16.53
12.93	22.44
15.71	27.27
14.93	25.92
25.03	43.45
13.96	24.23

de una casa habitación por energía solar, se realiza este ejercicio de sustitución.

En la tabla III se observa que el mes que requiere más cantidad de metros cuadrados de paneles es noviembre, con 43.45 m^2 ; debido a que en ese mes se presenta una menor captación de insolación en el año con un alto nivel de consumo.

La mayoría de los lotes son rectangulares de 6 m de frente por 15 m de largo, con construcción en dos niveles de 42 m^2 por planta, aproximadamente. Con esto se muestra que para instalar el sistema de paneles solares se necesitaría el total de área de losa disponible debiendo agregar aparte 1.45 m^2 , y significaría la instalación de 25 paneles de los citados en el apartado anterior para cumplir con la mayor demanda mensual.

Además, con base en los resultados del estudio, se establece que al considerar las condiciones del mes crítico, noviembre, para la zona de estudio, la proporción de área de panel necesaria por cada Watt-hora de consumo es de 0.226 $m^2/W-h$, siendo útil para evaluar la instalación de paneles fotovoltaicos para otra casa habitación o bien pensando en satisfacer una parte del consumo con paneles y el resto satisfacerlo con fuentes no renovables.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación, el objetivo de evaluar el uso de la radiación solar en proyectos urbanos se realizó con un análisis de la potencialidad de aprovechamiento fotovoltaico, en un caso específico de estudio

ubicado en la zona de Escobedo dentro del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

Esto debido a que la cantidad de irradiación solar que llega al suelo depende de factores propios de cada zona geográfica como la latitud, nubosidad, humedad, polvo y smog entre otros. Además, el aprovechamiento del recurso solar para satisfacer los requerimientos eléctricos de una casa habitación a su vez depende de las condiciones del clima y costumbres de consumo propias del lugar geográfico específico.

Por lo tanto, la cantidad tan grande de factores involucrados y variabilidad de los mismos, estrechamente relacionados con las condiciones climáticas, espaciales y sociales de cada zona geográfica, se determinó evaluar todos estos factores al calcular los m^2 que se requerirían para sustituir el uso de electricidad generada con recursos no renovables en una casa para una zona específica.

Del estudio se estableció que se requerirían 43.45 m^2 de paneles solares para satisfacer totalmente el consumo eléctrico de una casa típica en esa zona de Escobedo, N.L., que representan 0.226 $m^2/W-h$.

Con estos resultados ahora es factible evaluar el uso de paneles fotovoltaicos que aprovechen el recurso solar en proyectos urbanos en esa zona, y que permitan una comparación económica y ambiental, al sustituir parte o el total del consumo generado.

Referencias

1. Nahle Sabag, Nasif. (2011). Radiación solar en la capa exterior de la atmósfera terrestre y sobre la superficie terrestre (suelo y océano). *Biology Cabinet*. 7 de junio de 2011.
2. Sen, Zekai. (2004). Solar energy in progress and future research trends, *Progress in Energy and Combustion Science*, Elsevier, Volume 30, Issue 4, Pages 367–416.
3. Tom, Stoffe, Dave, Renné; Daryl, Myers; Steve, Wilcox; Manajit, Sengupta; Ray, George y Craig Turchi (2010). *Concentrating Solar Power Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data*. Technical Report NREL/TP-550-47465. National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy Operated by the Alliance for Sustainable Energy, LLC. 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado 80401 303-275-3000 • www.nrel.gov





4. Franz, Trieb; Christoph, Schillings; Marlene, O'Sullivan; Thomas Pregger; Carsten, Hoyer-Klick (2009). Global Potential of Concentrating Solar Power. Solar Paces Conference Berlin, September 2009.
5. National Aeronautics Space Administration (NASA). (2012). Surface meteorology and Solar Energy. A renewable energy resource web site (release 6.0). <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
6. INEGI. (1981). Synthesis Geographic of México, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística Geografía e Informática, Secretaría de Programación y Presupuesto, Insurgentes sur 795, planta baja, Delegación Benito Juárez, México D.F.
7. Comisión Nacional del Agua (CNA). (2002). Gerencia Regional Río Bravo, Subgerencia Técnica. Estación Observatorio Monterrey: Latitud 25° 44' 01", Longitud 100° 18' 17", Altitud 515 msnm. Nuevo León.
8. IVNL. (2008). Nuestro Espacio. Boletín Informativo del Instituto de la Vivienda de Nuevo León, número 3, enero-febrero. <http://es.served.com/doc/5438b57/Nu>
9. Sistema Integral de Monitoreo Ambiental (SIMA). (2012). Agencia de Protección al Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno de Nuevo León, México. http://www.nl.gob.mx/?P=med_amb_mej_amb_sima
10. IVNL 2008. Nuestro Espacio, Boletín Informativo del Instituto de la Vivienda de Nuevo León, número 3, enero-febrero.
11. Hermosillo, Juan (1995). Notas del curso: energía solar. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Dpto. Proc. Tecnológicos Ind. Div. Ingeniería. Tlaquepaque, Jalisco.
12. Style Oliver. (2012). Energía solar autónoma. Innovación en tecnología alternativa (ITACA).
13. Sarmiento, Antonio. (2003). La hora pico. CUBASOLAR: Energía y Tu, Vol.22, Art.3. Abr-Jun 2003. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/revista22.htm>
14. Arenas Danny, Zapata Hodman (2011). Libro interactivo sobre energía solar y sus aplicaciones. Proyecto de fin de carrera en técnico en electricidad. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
15. Igual, Enrique (2008). Instalación fotovoltaica de 100KW conectada a red sobre cubierta de nave en Cáceres. Proyecto de fin de carrera en ingeniero industrial. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad Pontificia Comillas. Madrid, España.