

Criterios de adaptación e integración de envolventes productoras de energía



Claudia Branco, Arturo Maristany, Marcelo Durán, Marcela Palacios,
Martín Varas

Palabras clave: envolventes, fotovoltaicas, ahorro energético

introducción

Mediante la sanción de la Ley 10.572 de la Provincia de Córdoba se declara de interés provincial el Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE) con el propósito de fomentar el desarrollo sustentable protegiendo y mejorando la calidad de vida de la población y contribuyendo con el cuidado del medio ambiente mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Esta sanción es un avance de la Ley Nacional 27.424 “Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica”. En esta ley aparecen los tres pilares básicos (figura 1) que permiten realizar una integración del sistema solar fotovoltaico en las envolventes de los edificios que harán que tengan un futuro muy prometedor como estrategia energética y medioambiental.

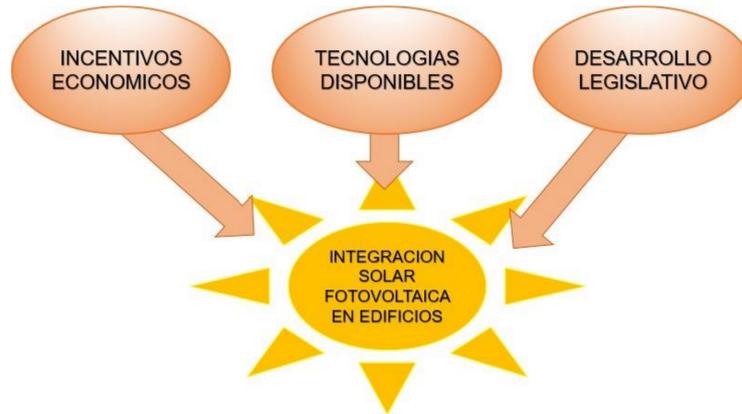


Figura 1. Pilares básicos de la integración fotovoltaica

Es en este marco de la Ley 10.572, en donde el habitante de la provincia de Córdoba, pasa a tener el derecho de acceder a los beneficios del sol como proveedor y consumidor de Energía Eléctrica. Es aquí donde surge la necesidad de estudiar el potencial energético “prosumidor” en alguna zona de Córdoba que nos oriente para fijar los criterios metodológicos de adaptación de los sistemas de captación de energía en las envolventes con la máxima eficiencia. El trabajo tiene como objetivo analizar ventajas y posibilidades reales de integración fotovoltaica en viviendas existentes.

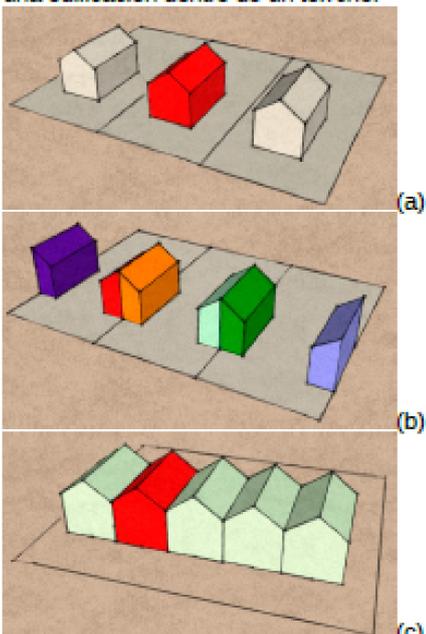
Derecho de acceso al sol

El derecho de una sociedad para acceder al sol requiere de planificación y gestión y forma parte de un ordenamiento territorial, de planificación urbana, actual y futura. La combinación entre diseño arquitectónico y aprovechamiento de la energía del sol, conllevan a un ahorro energético y sobre todo si logramos la rehabilitación de la envolvente a través de una “doble piel” (fachada ventiladas) con paneles fotovoltaicos. Con esta resolución se busca lograr no solo el ahorro energético sino también el confort térmico interior de las viviendas

Para regular el derecho de acceso al sol, integrado a la estética del edificio, se puede disponer de documentos técnicos como un Plan de Desarrollo Urbano Municipal, ya que de acuerdo al Artículo 186 (Competencia material de la Constitución Provincial de Córdoba), advierte que “son funciones, atribuciones y finalidades inherentes a la competencia municipal: Regular y coordinar planes urbanísticos y edilicios”. Dentro de estos planes se pueden disponer de instrumentos normativos para ordenar el uso del suelo y regular las condiciones para su transformación y/o conservación. En el caso de poder integrar la parte de captación de energía solar en una envolvente existente estaríamos hablando de “transformación”.

Muchos de los instrumentos normativos están relacionados de manera directa o indirecta con el acceso solar y es por ello que es útil listarlas a modo de glosario técnico, ver tabla 1, para luego aplicarlas en una zona de estudio, en el contexto de barrios consolidados y sujetos a cambios socio espaciales y con verticalización de la vivienda.

Tabla 1. Instrumentos normativos y acceso al sol

Coefficiente de Ocupación del Suelo (FOS) % máximo del terreno a ocupar con edificación en Planta Baja.	Garantiza zonas libres de obstrucciones lumínicas y una aproximación de la superficie disponible para captar sol.
Coefficiente de Ocupación Total del suelo (FOT) relación del total de la Superficie Edificable y la Superficie total de la parcela.	Esto garantiza zonas libres de obstrucciones lumínicas para acceder al sol.
Tipos de Agrupamiento alternativas en las que se puede ubicar una edificación dentro de un terreno. 	Tiene una relación distinta con el acceso del sol. Edificación Aislada (a) es la que está separada de todos los ejes medianeros, es la más favorable para acceder a más horas y superficie de sol. Suelen tener o no retiros de Líneas de edificación y con alturas de acuerdo a ordenanzas. En barrios abiertos es menos común encontrar este tipo de agrupamiento porque no están incluidas en las ordenanzas municipales. Edificación apareada o adosada (b) corresponde a dos edificaciones que comparten uno de los muros medianeros adosados y el otro lado libre. Infiere en la generación de obstrucciones al acceso solar. Edificación continua (c) corresponde a las edificaciones que comparten todo el ancho del terreno y sus dos laterales se encuentran adosados, las alturas son reguladas con ordenanzas y se disminuye las superficies probables de captación solar.
Alturas máximas de edificación	El alcance de las sombras que arroja un edificio está relacionado con la altura y con el ángulo de inclinación solar.
Distancias a ejes medianeros separación que queda entre los laterales de la edificación y el límite del terreno.	Mientras mayor sea esta distancia menor influencias de sombras de un volumen a otro.
Retiro de frente	espacio libre de edificación entre la línea municipal y la línea de edificación, también llamado jardín de frente.
Ochavas establecen el corte de la esquina para permitir la visión antes de la intersección de dos calles	al eliminar la punta se tiene mayor acceso solar.
Infraestructura de Servicios conjunto de servicios que son considerados necesarios para el funcionamiento y calidad de vida de un barrio o ciudad.	En barrios de la periferia es muy común encontrar que estas redes de infraestructura son aéreas, como los servicios de red eléctrica y de telefonía. Suponen muchas interferencias y sombras sobre los planos de fachadas y algunos sobre los planos de techos.

Descripción de la metodología sobre caso de estudio

Definido un entorno urbano como viable de estudiar, la clave del estudio se encuentra en estimar las pérdidas de irradiación solar producidas por el sombreado entre edificios.

Zona de estudio

Se trata de una manzana del Barrio Altos de la Calera, en la Ciudad de La Calera. Es un barrio de densidad media con un proceso de gentrificación de aproximadamente 12 años. La zona de estudio está comprendida sobre una topografía de sierra pronunciada, los terrenos son entre 250 m² y 300 m². Se observa que la mayoría de los habitantes trabajan y estudian en Córdoba transformándose en un Barrio “dormitorio”, con muy baja ocupación durante el día y completa los fines de semana y horas fuera de trabajos.



Figura 2. Imagen satelital de la zona de estudio

Considerando un sistema Fotovoltaico on-grid (conectado a la red), todo el excedente generado en días y horarios picos durante los días laborables, serán entregados a la red y en ocupación plena de la vivienda será consumida por estos. De noche o cuando este nublado o lluvioso se usará de la red eléctrica de EPEC, considerando que no habrá banco de baterías, ya que es uno de los requerimientos por parte de la Distribuidora para ser un Prosumidor.

Datos de radiación solar

Para la estimación de la radiación solar disponible sobre las envolventes se adoptaron los datos de la página de la Nasa Power Climatology (figuras 3 y 4).

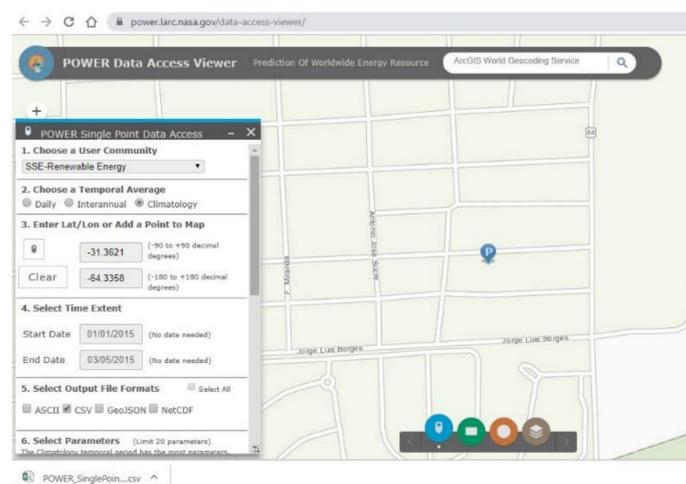


Figura 3. Captura de Power Nasa Climatology

DATOS PARA LA CALERA - NASA POWER Single Point Climatology

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANUAL	ANGULO SOBRE SUPERFICIE
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_0	7,76	7,29	5,9	4,7	3,47	3,19	3,55	4,54	5,9	6,84	7,7	8,42	5,77	0° HORIZONTAL
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_16	7,54	7,38	6,37	5,52	4,36	4,26	4,68	5,57	6,63	7,11	7,55	8,08	6,25	16°
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_31	6,91	7,03	6,44	5,96	4,94	5,01	5,45	6,18	6,91	6,95	6,98	7,3	6,34	31° - LATITUD
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_46	5,99	6,36	6,15	6,05	5,22	5,44	5,88	6,42	6,78	6,39	6,11	6,23	6,09	46°
SI_EF_MAX_TILTED_SURFACE_90	2,16	2,73	3,48	4,33	4,25	4,78	5,04	4,88	4,24	2,96	2,23	2,3	2,89	90°
SI_EF_MAX_OPTIMAL	7,76	7,4	6,46	6,06	5,24	5,55	5,96	6,42	6,92	7,11	7,71	8,42	6,75	Rad. Ang. Opt.
SI_EF_MAX_OPTIMAL_ANG	-1	-11	-26	-42	-52	-58	-56	-47	-34	-17	-3	0	-23	ANGULO OPTIMO

Figura 4. Datos de radiación para la zona en estudio. Power Nasa Climatology

La información permite una aproximación a los datos de la máxima irradiación solar para superficies a distintos ángulos (en KWh/m²/día). Para estimar la radiación solar se adopta como primer dato la radiación solar anual en el ángulo óptimo que en este caso es de 6,75 KWh/m² para 28°.

Condiciones de acceso al sol

La disposición rectangular de la geometría de las manzanas, favorece la orientación hacia el norte de gran parte de las fachadas principales.

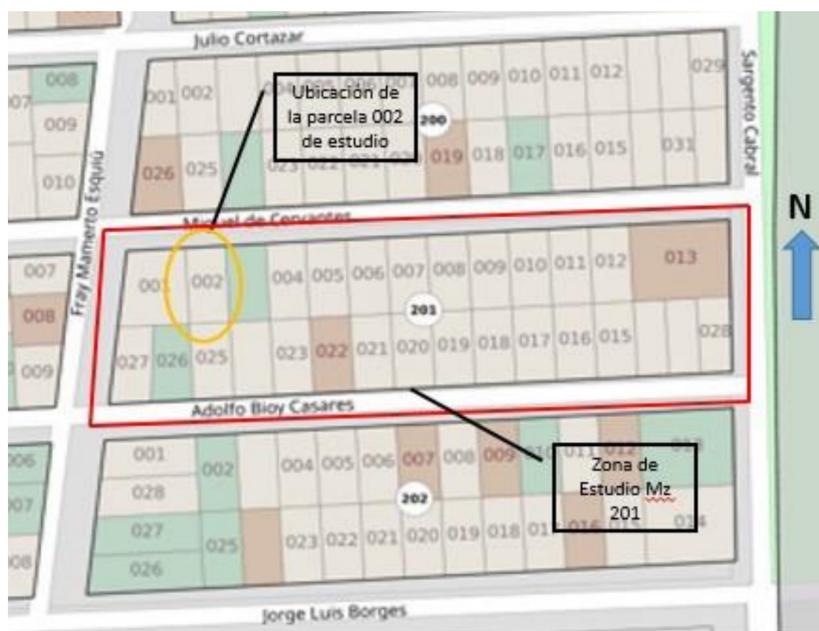


Figura 5. Ubicación de la zona de estudio a analizar

Indicadores de acuerdo a la normativa de Usos del Suelo:

- γ FOS: 60% - Viviendas de 2 a 3 dormitorios y una superficie cubierta que va de los 60m² a 100m² aproximadamente
- γ FOT: 2
- γ TIPOS DE AGRUPAMIENTO: según el código de edificación municipal, permite agrupamiento de manera continua y en el caso de algunos terrenos se

observan viviendas adosadas tipo dúplex (parcela 022) y edificio de departamentos de hasta 3 pisos (parcela 013). Y también se encuentran viviendas aisladas de ejes medianeros como en el caso de la vivienda de la parcela 001 y parcela 027.

γ ALTURAS MAXIMAS DE EDIFICACION: están de acuerdo a Código de Edificación municipal de 6,00 m a excepción de la parcela 013 que supera en altura ya que tiene una altura de aproximadamente 7,50m.

γ DISTANCIAS A EJES MEDIANEROS: por tratarse de terrenos angostos no hay restricciones de retiros laterales. La mayoría de viviendas de la zona de estudio están entre medianeras. Utilizando estos como límites de las construcciones.

γ RETIRO DE FRENTE: se respeta lo dispuesto en la normativa, 3,00 m. de retiro de frente. Se observa que casi todas las viviendas materializan el retiro con cerramientos virtuales como rejas, plantas, ligustros, esto ocasiona que al ser estos altos (de una altura promedio de 2,0 m) ocasiona zona de sombras sobre las fachadas presentando obstáculos para integrar captadores fotovoltaicos.

γ OCHAVAS: en la manzana de estudio se respetan las ochavas y los retiros de esta. Las viviendas no copian tipológicamente la geometría de las ochavas.

γ INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS: todos los servicios se distribuyen de manera aérea a excepción de red de agua y cloacas que son subterráneas. Los servicios aéreos presentes (red eléctrica, telefonía y Tv por cable) junto con los transformadores aéreos de la red eléctrica, complican y representan un obstáculo sobre las fachadas al generar zonas de sombras que perjudican la captación de radiación solar (figura 6).



Figura 6. Infraestructura de Servicios como obstáculo para acceder al sol.

Descripción de fachadas tipo de la zona

Al tratarse de un barrio abierto de la periferia de la ciudad y teniendo en cuenta que, por cuestiones de seguridad y protección, las fachadas se presentan de manera muy heterogénea, respetando en las aberturas al exterior las superficies mínimas que corresponden a iluminación y ventilación de locales de acuerdo al Código de Edificación.

Las fachadas existentes expresan los conceptos y funciones principales que se desarrollan, pasan desapercibidas en cuanto a resoluciones formales y preservan la

intimidad de las personas. Texturas homogéneas de materiales tradicionales la mayoría con terminación de revoque fino y pocas con ladrillo a la vista y varias permiten la posibilidad de ampliación o de cambios formales. En la figura 7 se puede estimar que, haciendo un promedio, en el conjunto de elementos compositivos de la fachada, las superficies opacas corresponden al 65 o 75% de la superficie de fachada, por lo tanto, las superficies de aberturas corresponden al 25 o 35% de la superficie total.

Determinación de pérdidas por sombra

Determinar las pérdidas de radiación provocadas por las sombras es importante para optimizar el rendimiento energético de los paneles. Con un pequeño sombreado u obstáculos en los paneles fotovoltaicos, se produce la disminución de la captación de la radiación solar y el efecto *mismatch* (emparejar mal). El efecto mismatching o de mal acoplamiento se da cuando se unen varios generadores, en paralelo o en serie, que no tienen el mismo comportamiento eléctrico y por lo tanto afecta el rendimiento final del sistema.

El factor de sombras está presente, y a veces resulta inevitable sobre el captador, y en integración fotovoltaica hace que se disminuya la superficie útil para captar y producir energía. La geometría urbana, la altura de edificios, la ubicación del tanque de agua, parapetos, aleros, orientación, vegetación, etc., influyen a la hora de estimar las pérdidas por sombra.



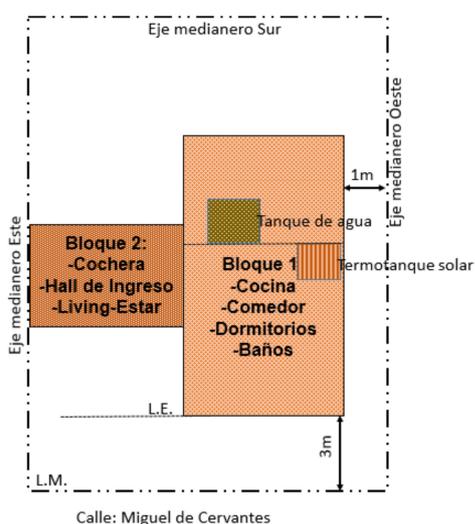
Figura 7. Imágenes de fachadas con orientación Norte sobre calle Miguel de Cervantes. Identificación de obstáculos y sombras.

Análisis y dimensionado para una vivienda

Para la evaluación, y posibilidad de Integración Fotovoltaica en un edificio existente, se toma de ejemplo para el análisis la vivienda de la parcela 002 (figura 8).

Se realizó un relevamiento de la vivienda y un exhaustivo estudio de las costumbres de

los usuarios para definir el perfil de usuario para la instalación de paneles fotovoltaicos para producir energía y entregarla a la red. Se destaca que ya sobre el techo inclinado se ubica un termotanque solar para el agua caliente de uso sanitario. La vivienda está habitada por una familia de 4 integrantes, matrimonio y dos niños. Los adultos son ambos profesionales, con domicilio de trabajo en Córdoba, los niños en edad escolar asisten a colegios de la zona.



- Orientación: Norte
- Superficie de la parcela: 328,96m²
- Superficie edificada: 213,34m²
- Cantidad de habitantes: 4
- FOS: 32% / FOT: 0.65
- Tipo de agrupamiento: Adosada a uno de los lados del eje Este y separada 1.00 m del eje Oeste.
- Retiro de frente: 3.00m.
- Antigüedad de la construcción: 10 a 4 años.

Figura 8. Información general de la vivienda.

En la tabla 2 se muestra el cálculo de la demanda de energía a partir del relevamiento de artefactos eléctricos y usos de estos, dejando de lado el artefacto aire acondicionado, por ser de uso muy esporádico.

Tabla 2. Planilla de cálculo de demanda de energía

APARATO	CANTIDAD DE APARATOS	CONSUMO DEL APARATO EN Watts	SUB-TOTAL CONSUMO EN Watts	HORAS DE USO POR DIA	TOTAL Watts Hora/Día
Lamp. LED Coc-Comedor	3	39,6	118,8	4	475,2
Lamp. LED Dormitorio 1	2	39,6	79,2	1	79,2
Lamp. LED Dormitorio 2 y 3	2	39,6	79,2	1	79,2
Iluminación lectura	1	39,6	39,6	2	79,2
Iluminación baño	1	39,6	39,6	1	39,6
TV Color 20"	2	60	120	2	240
Equipo de Sonido	1	15	15	4	60
Lavavropas Automatico	1	300	300	1	300
Heladera 11"	1	250	250	4	1000
Vent. De techo	1	100	100	1	100
Licudadora	1	500	500	0,1	50
Microondas	1	1200	1200	0,1	120
Computadora	1	150	150	2	300
Plancha automatica (900W)	1	450	450	0,1	45
DTV (Television Satelital)	1	25	25	2	50
		Sub. Pot. Inst.	3466,4	Sub Total	3017,4
				Perdida Inversor 15%	452,61
				DEMANDA TOTAL DE ENERGIA (W hs / Día)	3470,01

Paralelamente se realizó una lectura de medidor de energía para caracterizar el consumo para un día tipo de verano. La curva de consumo se muestra en la gráfica de la figura 9.

Los datos obtenidos a partir de la lectura permiten analizar el comportamiento de los consumos eléctricos y posteriormente evaluar que parte de lo generado por el sistema se destina a consumo propio o para entregar a la red eléctrica. De la lectura se desprende que el consumo diario de la familia en un lapso de 24 hs es de 2685 Wh por día, que representa un 22% menos de la demanda teórica de energía de cálculo realizada. Esto se puede deber a que ese día no se ha usado lavarropas, plancha y microondas y corresponde a un día normal de actividades.

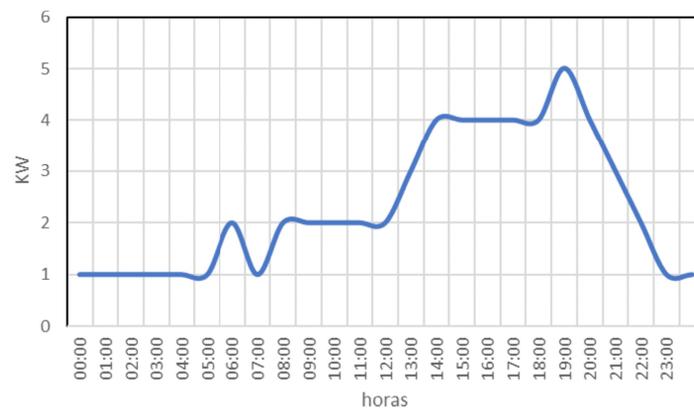


Figura 9. Curva relevada de consumo de energía diario (14/01/2020)

Propuesta de Sistema FV

Para la vivienda analizada se propone una aproximación de cálculo destinada al sistema de dimensionado del sistema Fotovoltaico. En la tabla 3 se muestra la secuencia de cálculo utilizada.

Tabla 3. Secuencia de cálculo del sistema

$C_o = \frac{\text{Consumo [VA . h / día]}}{\text{Tensión nominal}}$ $C_o = \text{Consumo diario (Amp/hora/ día)}$	$C_o = \frac{3470,01}{24 V_{cc}} = 144,58 \text{ Amp . h / día}$
$H_e = \frac{H_{ Lat+20 } \text{ en MJ}}{3,6}$ $H_e = \text{Horas equivalentes de radiación 1 KW/m}^2$	$H_e = \frac{6,75 \frac{\text{KWh}}{\text{m}^2} \times 3,6}{3,6} = 6,75 H_e$ <p>6,75 KW.h/m² - Radiación Solar s/ Nasa Power Climatology</p>
$A_p = F_s \frac{C_o}{H_e}$ $A_p = \text{Ampere pico del Generador FV}$ $F_s = \text{Factor de Seguridad}$	$A_p = 1,1 \frac{144,58}{6,75} = 23,56 \text{ Amp . pico}$ <p>Factor de Seguridad 10%</p>
$N_s = \frac{V_n}{12 v}$ $N_s = \text{N}^\circ \text{ módulos en serie}$ $V_n = \text{Tensión nominal del sistema}$	$N_s = \frac{24 V_{cc}}{12 V_{cc}} = 2$
$N_p = \frac{A_p}{I_m}$ $N_p = \text{N}^\circ \text{ módulos en paralelo}$ $I_m = \text{Corriente máxima del módulo}$	$N_p = \frac{23,56}{8,17} = 3$ <p>$I_m = \text{dato suministrado por panel adoptado}$</p>
$N_t = N_s \times N_p$ $N_t = \text{N}^\circ \text{ total de módulos}$	$N_t = 2 \times 3 = 6 \text{ paneles}$

El panel solar adoptado, con una corriente máxima de 8,17 Amp, corresponde a un

a partir que la radiación es de 1000 W/m². En la grafica de la figura 11 se muestra un esquema comparativo de la curva de demanda en relación a la curva de generación FV y radiación solar disponible, las áreas definen claramente las fracciones de energía entrega a la red, auto consumida y/o consumida de la red en los diferentes horarios.

Como continuidad de esta línea de investigación se observa la necesidad de determinar las superficies necesarias de captación FV de acuerdo a los consumos unitarios de las viviendas y de posible integración arquitectónica desde el inicio del proyecto.

Bibliografía

LEY N°10.572. (2018) Declaración de interés provincial el uso racional y eficiente de la energía Córdoba. Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba. Octubre de 2018.

Cárdenas, L., & Uribe Araya, P. (2012). ACCESO SOLAR A LAS EDIFICACIONES. El eslabón pendiente en la legislación urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo*, (26), Pág. 21-42. doi:10.5354/0717-5051.2012.20922.

Cárdenas-Jirón, L. y Chang Lou, J. (2019). Acceso solar en espacio urbano: simulaciones energéticas para su mitigación en alta densidad inmobiliaria residencial. Santiago Centro Sur. *Revista 180*, 44 (95-109). [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630) DOI: [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630).

Ganem C., Esteves A. (2004). La integración fotovoltaica en la rehabilitación ambiental edilicia. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, N° 1, 2004. ISSN 0329-5184.*