

## Escuelas productoras de energía: Cosechando una nueva generación

Daniel Sosa Ibarra

*Universidad del Bio-Bio, Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Concepción, Chile*  
[danielsosaibarra@gmail.com](mailto:danielsosaibarra@gmail.com)

Rodrigo García Alvarado

*Universidad del Bio-Bio, Departamento de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Concepción, Chile*  
[rgarcia@ubiobio.cl](mailto:rgarcia@ubiobio.cl)

**RESUMEN:** ¿Podemos imaginar una nueva generación de edificios productores de energía? Visualicemos futuros escenarios energéticos donde los establecimientos educacionales, fundamentados en sus condiciones de dispersión urbana, extensión territorial y ocupación estacional, sean concebidos como nuevos nodos urbanos de generación energética. Orientado a promover el desarrollo de energía solar en zonas urbanas, este artículo presenta una herramienta de evaluación paramétrica de las morfologías arquitectónicas de infraestructuras educacionales, para determinar la capacidad solar activa de cubierta y sugerir formas con mejores desempeños, para la implementación de sistemas solares activos en establecimientos educacionales en la comuna de Concepción, Chile. A partir de una caracterización formal y energética de los establecimientos, se desarrolla una definición abierta de diseño paramétrico en *Grasshopper+Ladybug* denominada *iGUANA*, que permite tomar decisiones en etapas tempranas de diseño sobre la implantación, configuración espacial y optimización formal de cubierta de nuevos establecimientos educacionales, con el objetivo de maximizar la radiación solar para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos. Mediante la definición, se ha podido comprobar que los sistemas fotovoltaicos presentan mayor sensibilidad a las variaciones de inclinación que a las de orientación y que la superficie de cubierta de un establecimiento promedio, podría producir hasta casi 8 veces el consumo eléctrico actual requerido, con remanentes que permitirían cubrir el consumo eléctrico total anual de hasta 77 viviendas; lo que permite imaginar escenarios de distribución inteligente de los excedentes energéticos, hacia una sincronización urbana como nuevo modelo educativo de descentralización energética.

**Palabras clave** *Potencial solar, Establecimientos educacionales, Optimización formal energética, Energía fotovoltaica, Ladybug*

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población urbana -90 por ciento en Chile (UN, 2014)- y el aumento anual del consumo energético, acoplado en el contexto nacional al desarrollo socio-económico (MINERGIA, 2014), invitan a reflexionar sobre la utilización de energías renovables no convencionales, como alternativa para el desarrollo energético de las ciudades. La energía solar en particular, ofrece quizás una de las mejores posibilidades de utilización en zonas urbanas, por sus posibilidades de interconexión, entre otras ventajas (Lund, 2012). Iniciativas como el Mapa Energético-Solar de Concepción (García et al., 2014), evidencian estrategias energéticas de análisis urbano, demostrando que el recurso solar disponible en la ciudad, podría abastecer el consumo mediante la transferencia entre sectores de baja densidad con sobre-potencial y sectores de alta densidad con menor captación.

Dentro de este contexto, los establecimientos educacionales constituyen una oportunidad como espacios significativos de generación de energía distribuida a escala local, fundamentada en sus características intrínsecas de dispersión urbana equilibrada -como servicio proyectado en función de áreas de influencia-, extensión territorial y ocupación estacional. Estas características propicias para la captación de energía solar, pueden ser potenciadas mediante la optimización de las condiciones de forma, como varios autores han sugerido. Algunos trabajos (Hachem et al., 2011), han investigado los efectos de las variaciones de forma de la configuración espacial y diseño de cubierta, sobre el potencial solar de viviendas unifamiliares de latitudes medias. En el contexto local, la creciente demanda energética residencial, ha llevado a estudiar el potencial de captación solar asociado a las características de cubierta en viviendas unifamiliares, demostrando que la generación solar puede suplir ampliamente el promedio de consumo eléctrico anual de una vivienda (Zalamea & García, 2014). Si bien estos estudios muestran las relaciones entre forma y potencial solar, ninguno de ellos se centra en el análisis de establecimientos educacionales como programa particular.

Actualmente, estas exploraciones formales arquitectónicas han adquirido una nueva dimensión en base a herramientas de diseño paramétrico, donde la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de sus relaciones, permite obtener resultados que puede adaptarse a múltiples requerimientos y criterios de evaluación (Salcedo, 2012). Estas herramientas, pueden ser combinadas con una serie de plugins de análisis energético, que permiten sortear la brecha existente entre el modelado de diseño paramétrico y el software de análisis o simulación. Estas nuevas modalidades de trabajo integrado permiten que, desde etapas tempranas de diseño, los profesionales realicen una integración activa del análisis energético en el desarrollo de la forma arquitectónica. De esta manera, el producto de arquitectura se transforma en una respuesta basada en análisis y desempeño, generada a partir de múltiples variables fundamentadas en datos de la realidad (Anton & Tănase, 2016).

Alineado con estas premisas, este trabajo estudia las relaciones de forma y potencial solar activo de establecimientos educacionales de la comuna de Concepción, Chile. A través de una definición paramétrica, que puede orientar decisiones de implantación, configuración espacial y forma de cubierta, en etapas tempranas de diseño.

## 2. ESTABLECIMIENTOS EDUCACIONALES EN LA COMUNA DE CONCEPCIÓN

La comuna de Concepción, es una de las diez que componen el área metropolitana del Gran Concepción, está localizada en la latitud  $36^{\circ}49'37''S$  y longitud  $73^{\circ}02'59''O$ , dentro de la zona centro-sur de Chile, con una población de 216,061 habitantes [Instituto Nacional de Estadística de Chile, 2002]. Posee un clima templado húmedo, altamente influenciado por la proximidad al océano, que modera las oscilaciones térmicas diarias y anuales, y una radiación solar global horizontal de  $1642.5 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$  [Ministerio de Energía de Chile, 2014]. Un catastro realizado, permite identificar 83 establecimientos educacionales -correspondientes al 83 por ciento del total-, su distribución según nivel formativo y las generales de los establecimientos; como puede verse en la Figura 1.

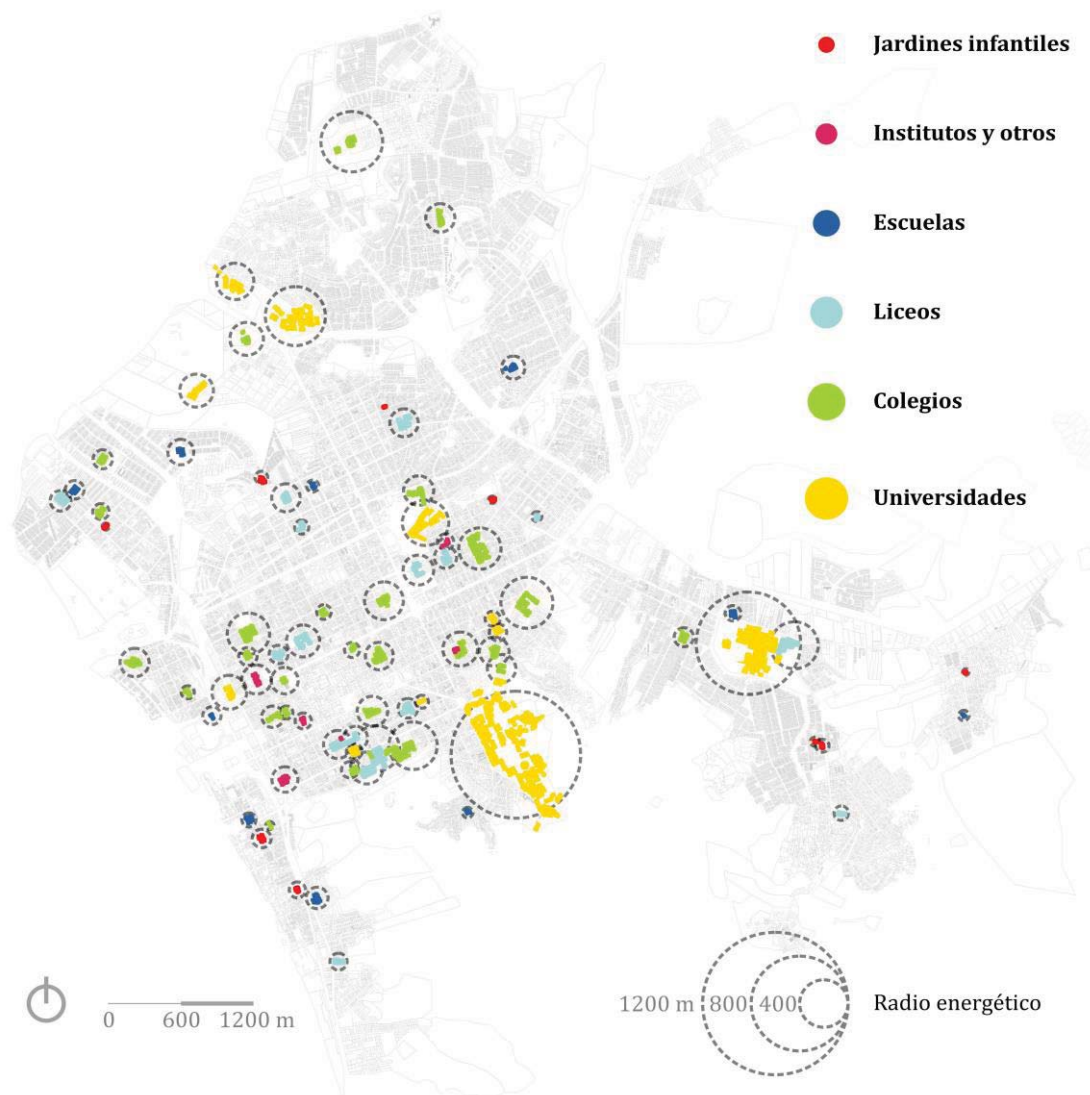


Figura 1. Establecimientos Educativos en la comuna de Concepción.

La superficie total de cubierta de los establecimientos educacionales es de 403,296 metros cuadrados; como puede apreciarse en la Tabla 1, más adelante. Esto permite comprobar que existen casi 2 metros cuadrados de superficie educativa por persona, lo que presume un alto número y representatividad, del sector educativo dentro de la comuna.

Tabla 1. Características de establecimientos educacionales en la comuna de Concepción

Nivel educativo	Establecimientos	Superficie de cubierta		
	u	m <sup>2</sup>	%	promedio m <sup>2</sup>
Jardines infantiles	9	6367	1.6	500
Escuelas	10	19,313	4.8	1364
Liceos	17	64,628	16.0	2852
Colegios	31	136,902	33.9	3118
Universidades	10	165,684	41.1	16,568
Institutos y otros	6	10,402	2.6	1224
Total	83	403,296	100	-

La distribución urbana, muestra que las Universidades presentan habitualmente superficies extensas pero concentradas en manchas dentro del territorio, conformadas por agrupaciones de diez o más edificios y asociadas en su mayoría a la modalidad de Campus Universitario. Las escuelas, colegios y liceos, aparecen de forma dispersa en la trama urbana, compuestas por grupos de uno a cinco edificios como máximo y ocupando superficies generalmente menores a una hectárea. Los jardines infantiles y salas cuna, presentan también un patrón disperso, pero con agrupaciones de solamente uno a dos edificios y promedios de cubiertas mucho menores.

Una caracterización de 15 establecimientos de dependencia municipal -5 escuelas, 5 colegios y 5 liceos-, permite decodificar las características formales y energéticas más representativas de los establecimientos de nivel básico-medio. Comprobando que los bloques de aulas tienen largos más representativos entre 30 y 40 metros, anchos recurrentes entre 9 y 11 metros -asociados a crujeas simples- y menos frecuentes entre 15 y 17 metros -asociados a crujeas dobles-, proporción de lados de 1 a 3.5, igual distribución de plantas entre 1, 2 y 3 pisos, cubiertas normalmente a 2 aguas y configuración espacial predominante en forma de C; pero que además en todos los casos estudiados es posible asimilar a formas simples, sean lineales, en L o en forma de patio.

Tabla 2. Consumo de energía eléctrica en establecimientos de nivel básico-medio

Establecimiento	Superficie construida	Consumo total anual	
	m <sup>2</sup>	kWh-año	kWh/m <sup>2</sup> -año
Escuela Rene Louvel Bert	3484	40,597	11.7
Colegio Gran Bretaña	3125	42,830	13.7
Colegio España	5841	65,448	11.2
Liceo Andalién	4948	37,542	7.6
Promedio simple de consumo	-	-	11.1

Mediante un análisis de facturación de energía eléctrica, realizado para 4 establecimientos de nivel básico-medio de dependencia municipal, se reconoce un claro comportamiento estacional, con un consumo eléctrico promedio de 11.1 kWh/m<sup>2</sup>-año; como puede observarse en la Tabla 2. Se ha podido comprobar que los establecimientos de dependencia municipal, carecen normalmente de climatización, por lo que el consumo se distribuye entre iluminación y electricidad, principalmente. Comprobando mediante una estimación de carga, una importante representatividad de los equipos informáticos, con una incidencia del 55 por ciento en el mes de Diciembre y un 26 por ciento en Julio.

### 3. METODOLOGÍA

La revisión de registros solarimétricos (CDT et al., 2008) y bases de datos Meteonorm del Aeropuerto Carriel Sur de Concepción (*WMO Index number 85682*), permiten comprobar que la máxima radiación anual, se produce para acimut norte y 25 grados de inclinación, mientras que la máxima radiación para el mes de Julio -que presenta el mayor consumo-, se produce para acimut norte y 51 grados de inclinación. Esta información, permite realizar simulaciones energéticas mediante *Design Builder* [v.4.2.0.054], en casos de estudio representativos. Considerando la implementación de sistemas fotovoltaicos con acimut norte e inclinación de 0, 25 y 51 grados; de acuerdo a los datos de radiación expuestos. Un análisis comparativo multi-factorial, considerando la generación eléctrica, el tiempo de consumo directo y la compra y venta de electricidad, permite comprobar que la posición con acimut norte y 25 grados de inclinación, presenta mejor desempeño en todos los aspectos; demostrando la posición óptima de instalación de sistemas fotovoltaicos para programas educacionales, en la ciudad de Concepción.

Los resultados de la simulación y la información recopilada en la caracterización formal y energética, se integran en una definición paramétrica denominada *iGUANA*, que permite calcular el potencial solar activo de cubierta, en relación a las condiciones formales de los establecimientos educacionales. La definición se desarrolla en *Grasshopper* [v.0.9.0076] e incorpora el plugin de análisis ambiental *Ladybug* [v.0.0.62] (Sadeghipour & Pak, 2013); utilizando el módulo *Radiation Analysis* para los análisis de radiación solar y *Photovoltaics Surface* -basado en *NREL PVWatts v1* (Dobos, 2013)-, para el cálculo de generación energética de sistemas fotovoltaicos. Mientras que el módulo *Galapagos Evolutionary Solver* (Rutten, 2010), se utiliza para optimizar la forma de cubierta en función de la radiación solar, a partir de soluciones evolutivas y algoritmos genéticos.

Antecedentes de estudios de eficiencia energética en establecimientos educacionales (ACHEE, 2014), definen que la orientación constituye el segundo parámetro en incidencia en la demanda energética, para la ciudad de Concepción; determinando que la orientación norte presenta menores demandas energéticas, seguido por la este, la oeste y finalmente la sur, con mayores demandas. Esta información, se integra a la definición paramétrica, estableciendo un patrón de crecimiento de acuerdo a la demanda por orientación, y considerando que el crecimiento puede asimilarse a formas simples; de acuerdo a las características formales relevadas. El patrón de crecimiento considera en primera instancia una configuración lineal al norte, seguida de un crecimiento en L al este, un crecimiento en C al oeste, para terminar con una configuración tipo patio al sur. También se incorporan reglas paramétricas de variación formal de cubierta, en base a la posición óptima de paneles fotovoltaicos y con distintas consideraciones para bloques con orientación predominante norte-sur y este-oeste, para evitar efectos de auto-sombreado.

La Figura 2, más adelante, permite apreciar el entorno visual y la secuencia de definición paramétrica en *iGUANA*. A partir de datos de entrada interactivos, donde se establece contexto, perfil urbano, características formales -largo, ancho, configuración espacial- y número de plantas, entre otros, la herramienta evalúa en tiempo real la radiación solar disponible, total de energía generada, porcentaje cubierto de consumo, excedente de energía, tamaño de la instalación, número de paneles y costo estimativo de la instalación.



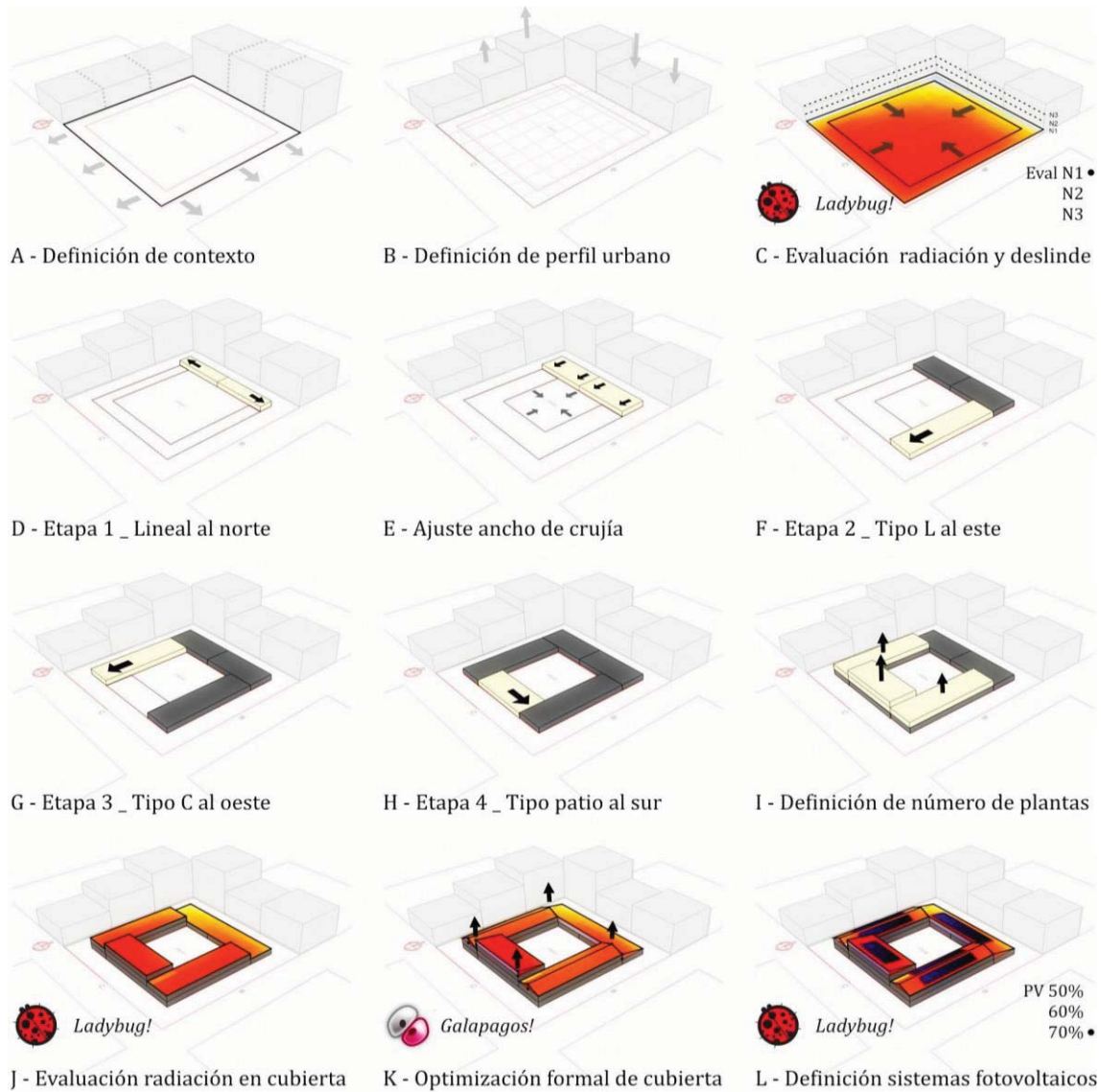


Figura 2. Entorno visual y secuencia de definición paramétrica en *iGUANA*.

La definición también permite realizar una optimización de la forma de la cubierta, a partir del módulo *Galapagos Evolutionary Solver*. Que puede utilizarse para maximizar la superficie de captación con máxima radiación solar por metro cuadrado -priorizando la instalación de sistemas con acimut norte y 25 grados de inclinación, que presenta el mejor desempeño por unidad de superficie-, o para maximizar la generación anual de energía eléctrica -priorizando la extensión de superficie, por sobre la posición optimizada-.

#### 4. RESULTADOS

El desarrollo de la definición a partir de variables paramétricas, permite realizar distintas exploraciones formales en relación al potencial solar activo. Esta sección presenta los resultados de dos ensayos realizados -presentados a modo de ejemplo-, para ilustrar las capacidades de la herramienta desarrollada. Un primer ensayo, explora la incidencia en la generación de energía eléctrica, por variaciones de acimut e inclinación; ofreciendo una gama de valores a considerar, cuando no sea posible tener en cuenta la posición óptima de

sistemas fotovoltaicos. Los resultados obtenidos -presentados en variación porcentual-, se comparan con datos de radiación solar para la ciudad de Concepción, de la base de datos Meteororm del Aeropuerto Carriel Sur (*WMO Index number 85682*); a los efectos de validar los resultados de la definición.

Tabla 3. Variación porcentual de radiación y generación según acimut e inclinación

Inclinación (°)	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25
Acimut (°)	Radiación solar						Generación de energía eléctrica					
40 al este	-7.9%	-5.9%	-4.5%	-3.5%	-3.1%	-3.2%	-7.2%	-5.4%	-4.4%	-3.8%	-3.8%	-4.1%
30	-7.9%	-5.6%	-3.9%	-2.7%	-2.0%	-1.9%	-7.2%	-5.1%	-3.7%	-2.8%	-2.5%	-2.6%
20	-7.9%	-5.4%	-3.5%	-2.0%	-1.2%	-0.9%	-7.2%	-4.9%	-3.2%	-2.1%	-1.5%	-1.3%
10	-7.9%	-5.3%	-3.2%	-1.6%	-0.7%	-0.2%	-7.2%	-4.7%	-2.9%	-1.6%	-0.8%	-0.4%
0 norte	-7.9%	-5.2%	-3.1%	-1.5%	-0.5%	0.0%	-7.2%	-4.6%	-2.7%	-1.3%	-0.4%	0.0%
-10	-7.9%	-5.3%	-3.1%	-1.6%	-0.5%	-0.1%	-7.2%	-4.6%	-2.8%	-1.4%	-0.5%	-0.1%
-20	-7.9%	-5.3%	-3.4%	-1.9%	-1.0%	-0.6%	-7.2%	-4.7%	-2.9%	-1.6%	-0.8%	-0.5%
-30	-7.9%	-5.6%	-3.7%	-2.5%	-1.7%	-1.4%	-7.2%	-4.9%	-3.3%	-2.2%	-1.6%	-1.5%
-40 al oeste	-7.9%	-5.8%	-4.3%	-3.2%	-2.7%	-2.6%	-7.2%	-5.2%	-3.8%	-3.0%	-2.6%	-2.8%

En la Tabla 3 puede apreciarse que las diferencias de variación porcentual de radiación solar y generación de energía eléctrica, son en todos los casos menores al 1%, lo que valida los resultados de la definición. Con respecto a la generación máxima -acimut norte y 25 grados de inclinación-, desviaciones de acimut de 40 grados, disminuyen la generación en hasta un 4.1% por ciento; relativizando la importancia de una orientación plena al norte. Mientras que variaciones de 25 grados en la inclinación, disminuyen en un 7.2% la generación de energía eléctrica, con respecto a la posición optimizada. Estos resultados, demuestran una mayor sensibilidad de los sistemas fotovoltaicos, a variaciones de inclinación que de orientación. Incentivando a formular criterios de diseño, que al menos consideren la inclinación óptima de los sistemas -fuertemente influenciada por decisiones de diseño-, cuando no sea posible considerar la orientación óptima; de menor incidencia en la generación energética y ligada a factores más rígidos, como la trama urbana.

Con el objetivo de evaluar el potencial de generación de energía eléctrica de los establecimientos educacionales, se realiza un segundo ensayo exploratorio, considerando el consumo eléctrico real de los establecimientos de nivel básico-medio -11.1 kWh/m<sup>2</sup>-año promedio- y simulando un edificio de 2500 metros cuadrados, que representa el promedio general de superficie de ocupación de los establecimientos de nivel básico-medio. Se considera una configuración espacial tipo patio, con un ancho de crujía de 9 metros y cubiertas optimizadas con inclinación de 25 grados en todos los bloques. Con una ocupación máxima con sistemas fotovoltaicos del 70 por ciento de cada plano de captación; teniendo en cuenta las restricciones necesarias para mantención y servicio entre líneas de captación, y excluyendo marcos de paneles y otros espacios desaprovechados.

La simulación se realiza considerando la posición optimizada de paneles, donde la generación por metro cuadrado de panel fotovoltaico es máxima. Si bien existen soluciones donde la generación total anual puede ser mayor -en función de una mayor superficie de captación-, en todas ellas, la generación por unidad de superficie es menor; lo que implica un menor rendimiento del sistema y en consecuencia una mayor inversión.

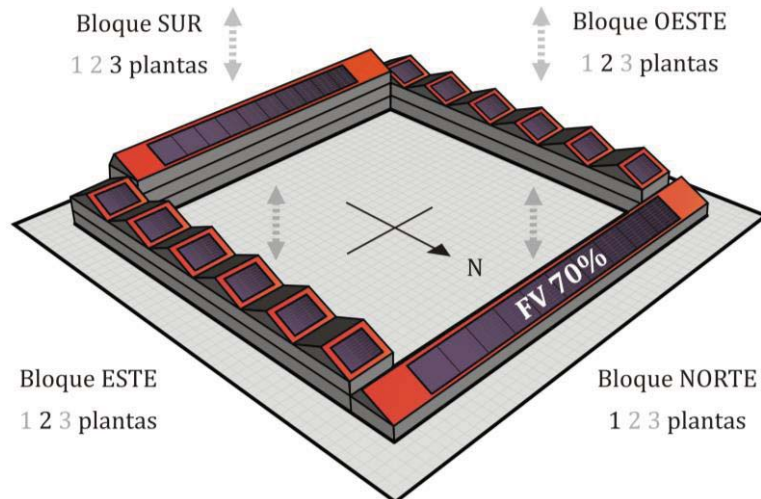


Figura 3. Modelo de ensayo de generación de energía eléctrica en establecimiento promedio.

La Figura 3 muestra el modelo de ensayo, alineado con los ejes cardinales y con un diseño de cubierta -según consideraciones de la definición paramétrica-, que permite incorporar los sistemas fotovoltaicos en posición optimizada. Se realizan variaciones progresivas en el número de plantas de cada bloque, evaluando el porcentaje cubierto de consumo y los excedentes de energía eléctrica; que son comparados con el consumo eléctrico promedio de una vivienda en Concepción, para poder establecer un parámetro de referencia y cuantificar la capacidad de generación eléctrica de los establecimientos educacionales. Para el comparativo, se considera un consumo eléctrico promedio por vivienda de 31.5 kWh/m<sup>2</sup>-año -principalmente electrodomésticos e iluminación-, y una superficie promedio de 77 metros cuadrados por vivienda; según datos del Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial en Chile (CDT, 2010).

Tabla 4. Generación eléctrica de establecimiento promedio según número de plantas

Número de plantas por bloque				Consumo cubierto	Excedente de energía	Número de viviendas
Norte	Este	Oeste	Sur	%	kWh-año	u
1	1	1	1	765	187,055	77
1	1	1	2	628	180,917	75
1	2	2	2	445	166,859	69
2	2	2	2	383	158,939	66
2	2	2	3	345	152,801	63
2	3	3	3	282	138,743	57
3	3	3	3	255	130,823	54

Los resultados de la Tabla 4, permiten apreciar que la generación eléctrica de un establecimiento promedio, permitiría cubrir, desde un 255 hasta un 765 por ciento, del consumo del establecimiento. Los excedentes de energía, permitirían cubrir el consumo total anual de electricidad de entre 54 y 77 viviendas, respectivamente. En la Figura 4, más adelante, puede verse una estimación del radio de influencia que podría abastecerse con el excedente de energía eléctrica de un establecimiento promedio de 2 plantas; mientras que la Figura 1, más atrás, muestra una estimación primaria del potencial urbano integrado, suficiente para cubrir el consumo anual eléctrico, de una importante área urbana.



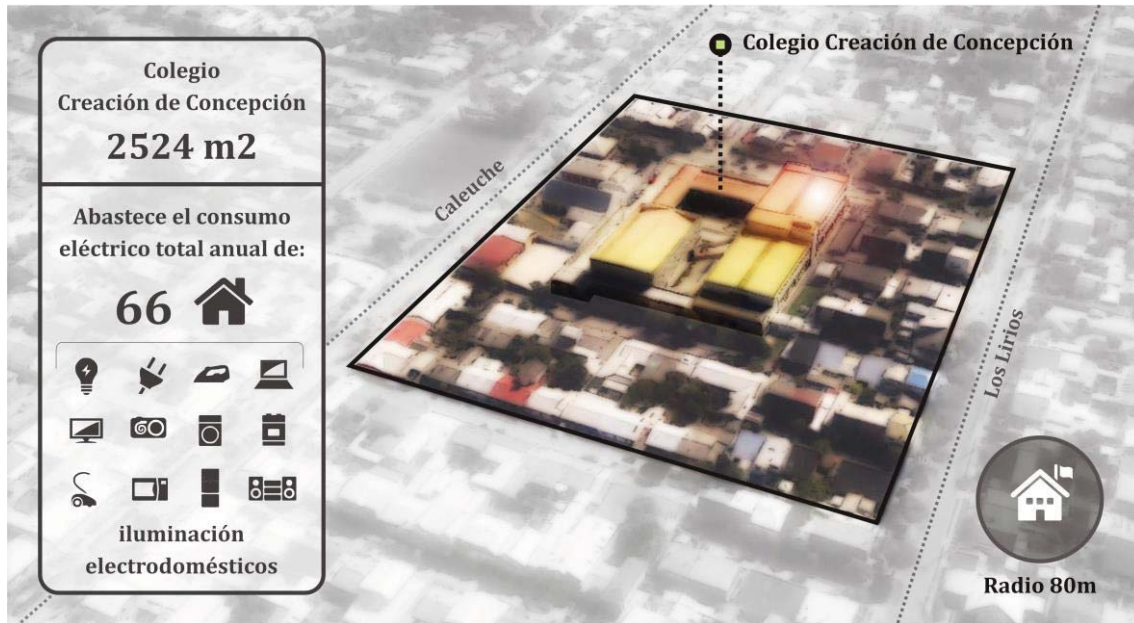


Figura 4. Imagen objetivo de abastecimiento eléctrico de establecimiento promedio.

## 5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las herramientas de diseño paramétrico, en combinación con plugins de análisis ambiental, permiten que los profesionales visibilicen aspectos energéticos, desde etapas tempranas de diseño. Cuestionando el pensamiento tradicional de la forma arquitectónica -desarrollada únicamente como respuesta a valores estéticos y funcionales-, con nuevas concepciones que las que se involucre una dimensión comprometida con el desempeño ambiental, hacia el desarrollo de un hábitat construido más sustentable. La definición paramétrica desarrollada, constituye un punto de partida incipiente -en fase de programación-, para la exploración de las incidencias paramétricas de la forma, en el potencial solar activo de establecimientos educacionales; que según los antecedentes consultados, no había sido revisada. Mediante este trabajo, se ha logrado construir una herramienta original básica, para incorporar la dimensión solar activa, en el diseño temprano de infraestructuras educacionales.

Los resultados obtenidos mediante ensayos exploratorios, demuestran que por su extensión volumétrica, los establecimientos educacionales, poseen un enorme potencial de generación eléctrica, incluso en ciudades de latitudes medias como Concepción. Estas posibilidades pueden optimizarse mediante estrategias de diseño de las condiciones de la morfología arquitectónica, sugiriendo formas con mejores desempeños, que permitan maximizar sus capacidades y en definitiva sintonizar con un modelo de eficiencia; produciendo más energía, con menos recursos. Los resultados demuestran que un establecimiento promedio no sólo podría satisfacer las necesidades de consumo energético, sino generar importantes remanentes que podrían contribuir a mejorar las condiciones de confort de los locales -normalmente desprovistos de sistemas de climatización-, activar sus propios espacios como lugares de encuentro comunitario o volcarse a sistemas de redes eléctricas inteligentes (smart grid) -fundamentado en sus condiciones de dispersión urbana-, para abastecer un importante número de construcciones, al menos del entorno inmediato.

Esta visión de los establecimientos educacionales como edificios de energía positiva, invita a reflexionar sobre su contribución en futuros escenarios energéticos, en los que podrían consolidarse como nodos urbanos de generación energética distribuida. Cumpliendo un importante papel en el desarrollo de comunidades urbanas sustentables y sintonizando con una nueva generación, donde el edificio actúe como educador en prácticas sostenibles, hacia nuevos modelos de democracia y descentralización energética.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los proyectos CONFIN AKA-ERNC 007 de Conicyt y URBENERE 715RT0497 de CYTED, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- ACHEE Agencia Chilena de Eficiencia Energética 2014. *Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educacionales*. Santiago de Chile: Agencia Chilena de Eficiencia Energética.
- Anton, I. & Tănase, D. 2016. Informed Geometries. Parametric Modelling and Energy Analysis in Early Stages of Design. *Energy Procedia* 85: 9-16.
- CDT Corporación de Desarrollo Tecnológico 2010. *Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial*. Santiago de Chile: S.I.
- CDT, PNUD & UTFSM Corporación de Desarrollo Tecnológico, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Universidad Técnica Federico Santa María 2008. *Registro solarimétrico - Irradiancia solar en territorios de la república de Chile*. Santiago de Chile: Proyecto CHI00/G32
- Dobos, A.P. 2013. *PVWatts Version 1 Technical Reference*. [En línea]: <http://www.nrel.gov/publications>
- García, R., Wegertseder, 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. *Norte Grande* 59: 123-144.
- Hachem, C., Athienitis, A. & Fazio, P. 2011. Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units. *Solar Energy* 85(9): 1864-1877.
- Lund, P. 2012. Large-scale urban renewable electricity schemes - Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management* 63: 162-172.
- MINERGIA Ministerio de Energía 2014. *Energía 2050 - Política energética de Chile*. Santiago de Chile: Ministerio de Energía
- Rutten, D. 2010. *Evolutionary Principles applied to Problem Solving*. [En línea]: <http://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>
- Sadeghipour, M. & Pak, M. 2013. Ladybug: a Parametric Environmental Plugin for Grasshopper To Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design. En Etienne Wurtz (ed.), *13th International Conference of the International Building Performance Simulation Association; Proceedings of BS2013: 13th Conference of IBPSA, Chambéry, 25-28 Agosto 2013*. S.I.: IBPSA.
- Salcedo, P. 2012. Análisis Paramétrico de Volúmenes Arquitectónicos con Algoritmos Genéticos. *Hábitat Sustentable* 2: 47-58.
- UN United Nations 2014. *World Urbanization Prospects [Highlights]*. Nueva York: United Nations
- Zalamea, E. & García, R. 2014. Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real-Estate developments in Concepción, Chile. *Revista de la Construcción* 36(133): 36-44.