

# Estimación Integrada de Captación Energética Solar en SIG-BIM

Integrated Assessment of Solar Energy Capture in SIG-BIM

## Esteban Zalamea

Universidad del Bío-Bío, Chile  
estebanfzl@gmail.com

## Rodrigo García Alvarado

Universidad del Bío-Bío, Chile  
rgarcia@ubiobio.cl

## Maureen Trebilcock Kelly

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile  
mtrebilc@ubiobio.cl

## Paulina Wegertseder

Universidad del Bío-Bío, Chile  
p.wegertseder.m@gmail.com

## Sergio Baeriswyl

Universidad del Bío-Bío, Chile  
sbaeriswyl@ubiobio.cl

## Laline Cenci

Universidad del Bío-Bío, Chile  
lalinecenci@gmail.com

## Abstract

The use of solar energy in buildings requires defining proper systems according to different urban typologies. This paper presents a strategy for assessment in Geographic Information Systems (GIS), and a parametric analysis of an detached housing typology in Building Information Modeling (BIM), which demonstrates an integrated approach to estimate solar energy potential, applied to the context of Concepción, Chile. Residential areas are identified with different energy consumption and solar capture in roofs, walls or outside space recorded in a urban GIS, and checks the architectural implementation of a roofing system in residential buildings through an integrated evaluation and design in BIM.

**Keywords:** Solar energy; BIM; GIS; Housing; Concepcion.

## Introducción

Las edificaciones son globalmente responsables del 60% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (IEA, 2009), gran parte de esta contaminación es consecuencia de la energía que se requiere para su funcionamiento. Al considerar estos aspectos ambientales y el costo cada vez mayor de la energía, se advierte la necesidad de lograr autogeneración en la ciudad y en edificaciones individuales (LUND, 2010) con el objetivo de evitar consumir recursos externos, muchos de fuentes no renovables. La recolección solar local (on-site), permite prescindir de redes de transporte y distribución (LUND, 2012), evita la construcción de represas, la contaminación visual y espacial de las turbinas eólicas y otros sistemas similares (IEA, 2009).

En los últimos años la gestión urbana y el diseño arquitectónico dispone de nuevas herramientas de información geográfica (SIG) y modelación constructiva (BIM), destinadas al desarrollo integrado de decisiones tempranas de proyecto (TURRIN, VON BUELOW, STOFFS, & KILLAN, 2010). Por otra parte al surgir la exigencia a los arquitectos y profesionales del campo de la construcción de tomar partido en el desempeño energético implica un trabajo con esta variable adicional en la concepción misma del diseño. Implementar herramientas que permiten estimar el desempeño energético y que además midan el efecto de dispositivos de aprovechamiento pasivos, es factible obtener, información útil

desde que se concibe un volumen-propuesta. Evitando la instalación de sistemas la edificación está concluida, hecho que evidentemente resulta en añadidos sobrepuestos. De modo que analizar las tipologías urbanas y proveer sistemas integrados de catastro, evaluación y diseño de captación solar, puede generar una contribución relevante a la sostenibilidad de las edificaciones y las ciudades.

Este trabajo expone la implementación de un catastro urbano de potencial solar, en desarrollo para la ciudad de Concepción, Chile, y el análisis paramétrico y diseño de un sistema apropiado a una tipología de vivienda aislada mediante plataformas integradas SIG - BIM. Enmarcados en un proyecto de colaboración internacional entre la Universidad Aalto de Finlandia, Universidad del Bío-Bío (Fac. Arquitectura) y Universidad de Concepción (Fac. Ingeniería), que busca identificar estrategias urbanas más adecuadas de eficiencia energética y captación solar.

## Mapa Urbano de Energía Solar

Como gran parte de los gastos energéticos en los contextos latinoamericanos son dispersos y ocasionales (principalmente en lo referido a calefacción a leña, gas o parafina), se plantea un mapeo basado en encuestas georreferenciadas e interpolación por

curvas de consumo. Estructurando áreas según nivel socioeconómico y densidad poblacional. El potencial de energía solar se desarrolla por revisión fotográfica de tipologías constructivas, con mediciones volumétricas en terreno, y luego la evaluación de casos de estudio por simulación computacional de captación solar, para refinar desempeños según características y productos locales, estimando condiciones de sectores semejantes. Considerando correcciones de la irradiación recolectada por los registros solarimétricos, según inclinación y sombreado topográfico. Se generan mapas sectoriales diferenciados según fuentes de combustible, oscilaciones diarias y estacionales. Comparando las necesidades energéticas con el potencial solar, para identificar zonas de déficit y de superávit, en distintas áreas y periodos, planteando un catálogo de sistemas efectivos de captación pasiva y activa, almacenamiento y distribución local. Conformando un mapa SIG dinámico y disponible en web, según consumo energético y potencial solar, en este caso de la ciudad Concepción, que fomente acciones ambientales.



Figura.1: Mapa SIG de Concepción con Consumo Energetico Total Residencial.

En base a las encuestas realizadas y las estadísticas nacionales de densidad residencial y clasificación socioeconómica se realizó primero en SIG una localización por manzana de la demanda energética total (Fig.1). Este mapa revela una distribución concentrada, con vacíos geográficos (cerros, lagunas y ríos). Posteriormente se elaboró un catastro de tipologías de edificación según altura, que evidencia una concentración similar. Luego en un análisis de tipos de viviendas, según la irradiación global para la zona en toda su envolvente expuesta, se advierte fuertes diferenciales entre las distintas construcciones (Fig.2). Con mayor potencial en las tipologías de viviendas aisladas que predominan

en los sectores residenciales periféricos, que constituyen a la vez las áreas de menor demanda urbana por hectárea de superficie, además de ser tipologías de menor eficiencia térmica. Las curvas de consumo energético, se contraponen también con las curvas estacionales y horarias de captación solar, en que se presenta mayor radiación en el día y verano, cuando precisamente este clima requiere principalmente aportes energéticos en la noche e invierno. La diferencias de perfiles espaciales y temporales revela potencialidades específicas, pero también requerimientos de almacenamiento y distribución local, lo que constituye material de planificación urbana

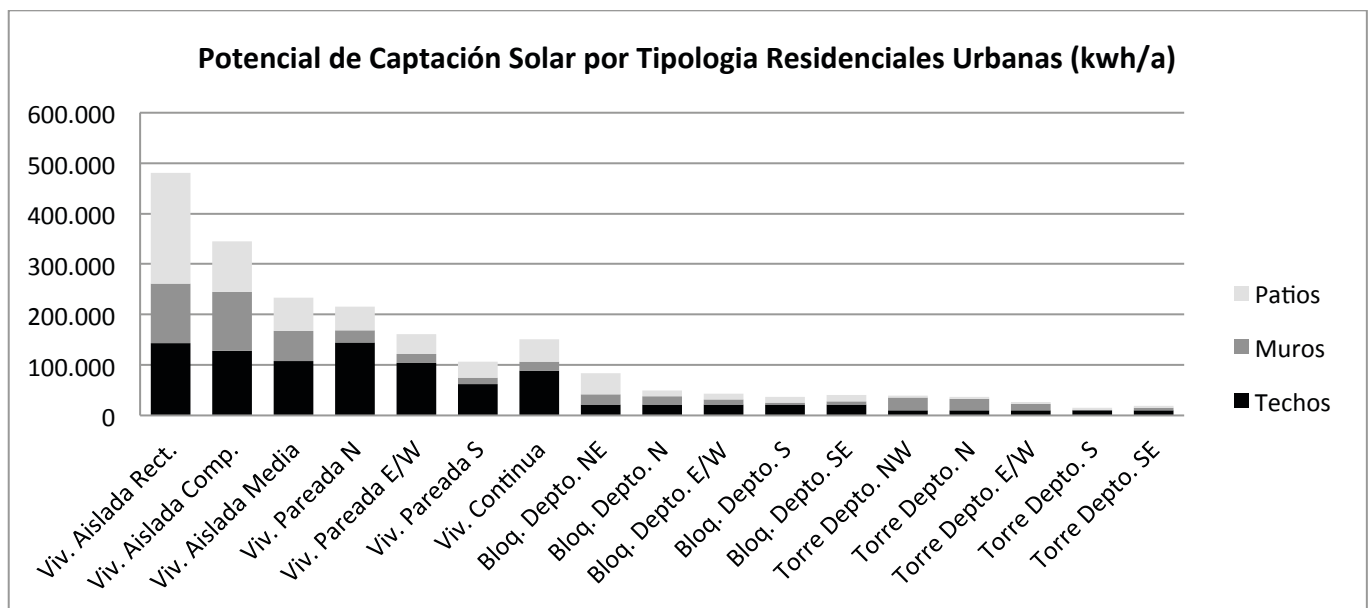


Figura.2.: Potencial de capatción solar con tipología residencial urbana

## Evaluación y Diseño Integrado de Energía Solar en Vivienda

Una de las alternativas más avanzadas de modelación arquitectónica BIM, integrada con simulación energética es la plataforma Archicad de Graphisoft que presenta la herramienta Ecodesigner (Validado por ASHRAE 90.1-2004) (U S Department of Energy, 2008), primero como “plug in” y ahora integrado en el programa (SAM Y, 2012). Para revisar sus capacidades se estudia una vivienda de características típicas de la zona centro-sur de Chile (Fig.3), a través de la contribución de distintos sistemas de energías renovables, como paneles solares térmicos para calefacción más agua caliente sanitaria, en orden de obtener la implicancia de distintas configuraciones y dimensionamientos. Se plantean varios modelos con distintas variables: Vivienda sin

dispositivo generador, presencia o no de captadores solares, número de captadores: uno, dos, tres, etc., orientación de los captadores solares e inclinación de las cubiertas-captadores solares. Se realizan 125 simulaciones en total.

Con los resultados tabulados se revisan mejores alternativas que otras según diferentes condiciones de edificación y localización, estas a su vez con implicaciones en el aspecto o espacialidad de la vivienda y costo que representa el número de captadores. Se demuestra así una evaluación integrada dentro del proceso de diseño arquitectónico, aunque con varios supuestos técnicos considerando que no es un software especializado en simulación energética pero permite estimaciones rápidas.

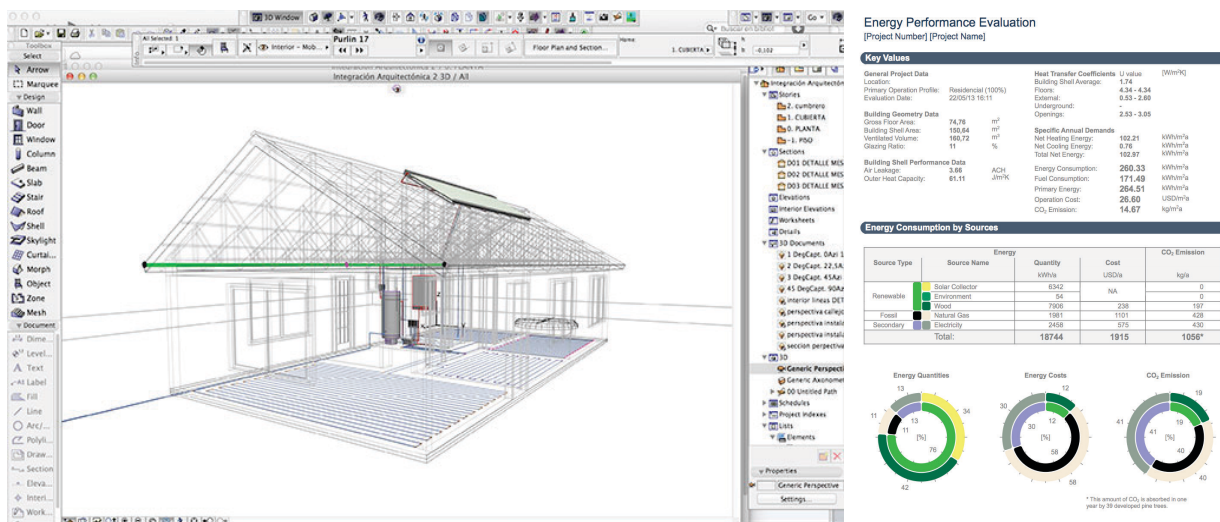


Figura 3: Modelación de la Vivienda con Sistema de Energía Solar en Archicad con reporte del módulo Ecodesigner.

Se obtiene que las demandas energéticas totales del modelo estudiado (térmica, ACS y electricidad) están en torno a los 20.000 kWh/año, superior a lo calculado en otros estudios (BUSTAMANTE, 2009), debido a que el software estipula una demanda total sin considerar ganancias internas y pasivas. Las demandas de calefacción varían entre 6.800 a 9.500 kWh/año, las emisiones fluctúan desde 700 hasta 2.200 kgCO<sub>2</sub>/año.

Acorde a orientación, el requerimiento energético total es menor cuando se emplaza con su lado extenso a 45° respecto al norte, con consumo de 6.874 kWh para calefacción, lo cual significa 96 kWh m<sup>2</sup>. La disposición con mayor requerimiento es con orientación norte/sur, con 9.803 kWh/a, lo que implica 136,5 kWh/m<sup>2</sup> año. Este resultado contradice las recomendaciones de disposición mayor este-oeste, por incremento de la contribución solar. Sin embargo la modelación se efectúa en lugar descampado, con vientos predominantes acorde al archivo climático que provienen de SW y S. El requerimiento energético promedio para calefacción considerando todas las orientaciones según Ecodesigner es 119,34 kWh/a por m<sup>2</sup>, cercano a otros estudios

(BUSTAMANTE, 2009) (CELIS, y otros, 2012).

Para los modelos con captadores solares térmicos dispuestos prácticamente verticales (89°), se observa que de todas las orientaciones estudiadas, la producción máxima es 7.469 kWh con orientación óptima hacia al norte. Cuando la vivienda se desvía 22,5° la producción anual disminuye al 80%; con 45° de rotación, la disminución de producción está en el orden de 66% y con rotación de 90°, la producción es apenas 45% respecto al máximo; finalmente con los captadores orientados al sur, se genera únicamente 21% respecto a la mejor producción. Cuando la cubierta y captadores están casi o cerca de la horizontal (15° de pendiente), la producción máxima mejora a 9.959 kWh/año y disminuye únicamente a un 77% en condiciones más desfavorable encarando al sur, hecho explicable por que recibe irradiación directa a pesar de la mala orientación.

Según la pendientes de cubierta se observa una producción máxima con 45°; con 6 captadores se alcanza un aporte de 11.141 kWh/año. La producción con 30° disminuye mínimamente. Lo que

confirma que una variación cercana 10° respecto a la pendiente óptima, no representa una pérdida apreciable, coincidiendo con CDT CHILE, (2007) y HACHEM (2012). Con 15° de inclinación también se aprecia pérdida leve. Una reducción sustancial se produce con los colectores en vertical con producción de 57,57% respecto al máximo. Se advierte que incremento de producción es lineal hasta los seis metros cuadrados con tres colectores. Luego, al completar el abastecimiento de agua caliente sanitaria y no requerir calefacción mayor en resto del año, el aporte disminuye. Colectores adicionales producen menos energía. Se concluye que para requerimientos de la vivienda estudiada, no debería instalarse más de seis metros cuadrados. Para determinar el volumen de almacenamiento y capacidad del tanque, se puede utilizar la fórmula indicada en CDT (2007), la cual expresa:  $50 \text{ lts} > (V/A) < 180 \text{ lts}$  (V: Volumen de agua de almacenamiento; A: Área de captadores), entonces son 1.080 lts para 6 m<sup>2</sup> de captación. Otro dimensionamiento es por uso de ACS, en este caso Ecodesigner se rige por la normativa Sueca que establece 100 lts/ persona (superior a la indicada en CDT, 2007 de 50 lts/persona en Chile), otra relación es optar entre 75 y 100 lts/m<sup>2</sup> de captación (ERCAN, 2006), en nuestro caso esto significa 420 a 600 lts.. Para sistema Combi el almacenamiento se opta en rango superior; GAJBERT (2008) sugiere que para 50 m2 de captación, un almacenamiento de 4 m<sup>3</sup>. Así con 6 m<sup>3</sup>, el volumen de almacenamiento es cercano a 480 lts proporcionalmente. En cualquier opción es necesario el almacenamiento internamente en la vivienda por razones de peso (considerando zona sísmica). GAJBERT (2008) sugiere no superar el 95% del abastecimiento total para ACS antes de ser ineficiente por sobreproducción.

Se acopla sistema *Combi* a tipología volumétrica de vivienda tomada de el “*Catálogo de Viviendas Aprobadas 2012*” del Ministerio de Vivienda, de donde se adopta la distribución funcional de la tipología N° DITEC-059-MUS-01-61 que posee un tamaño y proporción similar (se amplía desde 61 a 72 m2). Se detalla el modelo tridimensional de la vivienda en el BIM, considerando en la cubierta norte la instalación de tres colectores de tubos al vacío acorde a área de captación adecuada, se sujetan en estructura de techumbre y además sellos de aguas lluvias respectivos. Se conforma un lucernario al pasillo central, que no posee iluminación natural, por tanto esta provisión permite reducir la utilización de luminarias eléctricas. El lucernario considera paramentos aislados reflectantes con aislamiento en el cielo para evitar fugas térmicas, practicables para ventilar en verano (Fig.4). Esta aplicación ya ha sido experimentada en edificios corporativos (VIESMANN SL., 2007). El software permite elaborar la configuración geométrica y constructiva de este componente en los recintos involucrados, y generar vistas interiores para revisar el resultado espacial con la incidencia solar directa. Se alimenta a calefacción a partir de losa radiante, por su eficiencia al requerir menor temperatura, adecuado para sistema *Combi* (GAJBERT, 2008 ), alrededor de 40 ° C en fluido calotransportador (lo cual implica ahorro de energía térmica). Al simular el modelo resultante, se observa disminución de requerimiento energético total para calefacción, por la ganancia térmica obtenida en el lucernario. El ahorro que se evidencia es de 7.820 a 5.896 kWh/año. Esta reducción es importante, alrededor de 25% en calefacción, reflejando la importancia de la captación pasiva. Se logra además una reducción en la contribución de gases de invernadero.



**Figura 4:** Visualización de resultado arquitectónico de lucernario e integración de colector solar de tubo vaciado.

## Conclusiones

Este trabajo de evaluación integrada de captación solar en viviendas urbanas, aplicadas en la ciudad de Concepción, demuestra la capacidad de las plataformas SIG y BIM, de otorgar un apoyo sustancial para la incorporación de sistemas renovables en las edificaciones. Planteando posibilidades de captación por techumbre en viviendas aisladas en extensión, y sugiriendo elementos de fachadas o exteriores para construcciones

habitacionales en altura, que compensen distribución espacial y horaria de la energía solar. Así mismo, se verifica la capacidad de los sistemas computacionales de información geográfica y modelación constructiva para representar un catastro urbano y analizar parámetros de dispositivos captadores para una edificación, desarrollando propuestas arquitectónicamente integradas.

## Referencias

- Corporación de desarrollo tecnológico. (2010). Estudios de usos finales y curva de oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial. Santiago: Cámara Chilena de la Construcción.
- Viesmann SL. (2007, 04). La tecnología solar bajo una nueva luz: Los colectores como elemento decorativo. Retrieved from [http://www.viessmann.es/content/dam/internet-es/pdf\\_documents/brochures/vitosol/9447023\\_ti\\_133\\_vitosolar.pdf](http://www.viessmann.es/content/dam/internet-es/pdf_documents/brochures/vitosol/9447023_ti_133_vitosolar.pdf)
- Gajbert, H. (2008 ). Solar Thermal Energy Systems. Lund University , Division of Energy and Building Design . Faculty of Engineering LTH.
- Relaño, A. (2010). Proyecto de Instalación Solar para Agua Caliente Sanitaria, Calefacción y Piscina en un Edificio de Viviendas. Universidad Carlos III de Madrid, Ingeniería Industrial- Tecnologías Energéticas, Madrid.
- Lund, P. (2009, 11). Exploring past energy changes and their implications for the pace of penetration of new energy strategies. *Energy* , 647-656.
- Hachem, C. (2012). Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods. Concordia University, Building, Civil and Environmental . Montreal: Concordia.
- Turrin, M., Von Buelow, P., Stoffs, R., & Killan, A. (2010). Performance Oriented Design of Large Passive Solar Roofs. A method for the integration of parametric modeling and genetic. eCCADe 28 (pp. 321-330). Zurich: Gerhard Schmitt.
- Samy, M. (2012). Sustainable Design and Construction. New approaches towards sustainable manufacturing. (pp. 241-251). Bahrein: ASCAAD.
- Kalogirou, S. (2004, 2). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* , 231-295.
- Pelland, S., & Poissant, Y. (2006). An evaluation of the potencial of building integrated photovoltaics in Canada. 31st Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada. Montreal: SESCI.
- Lund, P. (2010). Fast market penetration of energy technologies in retrospect with application to clean energy futures. *Applied Energy* , 3575-3583.
- Bustamante , W. (2009). Guía de diseño para la eficiencia energética en la Vivienda Social. Universidad Católica de Chile, Facultad de Arquitectura. Santiago: CNE, Chile.
- Lund, P. (2012). Large scale urban renewable electricity schemes. *Energy Conversion and Management* , in press.
- Charon, R., & Athienitis, A. (2006). Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes. *ASHRAE Transactions* , 285-295.
- Wall, M., & et al. (2012). Achieving Solar Energy in Architecture-IEA SHC Task 41. *Energy Procedia* , 1250-1260.
- Ministerio de vivienda Chile. (2010). MINVU.CL. Retrieved from Alternativas de vivienda definidas con subsidio. Política Urbana: [http://www.minvu.cl/opensite\\_20100526104950.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20100526104950.aspx)
- Celis, F., Garcia, R., Trebilcock, M., Escorcía, O., Miotto, B., & Diaz, M. (2012). Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile . *Arquitecturarevista* , 62-75.
- Donoso, N. (2009). Análisis Técnico y Económico en Mejoras de Eficiencia Energética para Viviendas de precio entre 1000 y 3000 UF. Universidad de Chile, Ingeniería Civil, Santiago.
- GRAPHISOFT. (2013, 07 16). Virtual Building Concept. Retrieved from [http://www.graphisoft.com/products/virtual\\_building/](http://www.graphisoft.com/products/virtual_building/).
- Kolokotsa, D., Rovas, D., Kosmatopolous, E., & Kalaitzakis, K. (2010, 9). A roadmap towards intelligent net zero and positive energy buildings. (Elsevier, Ed.) *Solar Energy* , in press.
- International Energy Agency. (2009). Cities, Towns and Renewable energy. Paris, Francia: Organization for Economic Co-operation and Development.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico de Chile. (2007). Sistemas Solares Térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua. Santiago, Chile: Camara Chilena de la Construcción.
- International Energy Systems. (2012). Task 41: Solar Energy Systems in Architecture. IEA Task 41, Solar Heating and Cooling Program. Suecia: Lund University.
- Universidad Católica de Chile. (2013). Programa Chile Sustentable. Retrieved 05 20, 2013, from [www.chilesustentable.net](http://www.chilesustentable.net): <http://www.chilesustentable.net/2013/03/14/chile-temuco-tiene-niveles-de-contaminacion-similares-a-beijing/>
- ATHIENITIS, A. (2007). Design of a solar home with BIPV-Thermal System and ground source heat pump. 2nd Canadian Solar Buildings Conference (p. all). Clagary: Dept. of Building, Civil and Environmental Eng., Concordia University, Montréal, Canada.