







AUS (Valdivia)

ISSN 0718-7262 *versión on-line*

-  [Como citar este artículo](#)
-  [Agregar a favoritos](#)
-  [Enviar a e-mail](#)
-  [Imprimir HTML](#)

AUS (Valdivia) n.18 Valdivia 2015

ARTÍCULO

Potencial solar en fachadas integrando la densidad urbana: Una mirada crítica a la norma urbanística chilena¹

Solar potential in facades integrating urban density: A critical eye on Chilean urban standards

Luz Alicia Cárdenas Jirón

Arquitecta, Universidad de Chile, Chile.
MSc Urban Development Planning, University College London, Inglaterra.
Doctora, Universidad Politécnica de Madrid, España.
Académica Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Universidad de Chile. Santiago, Chile.
icardena@uchilefau.cl

Juan Pablo Vásquez Palau

Arquitecto, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
Master en Arquitectura, Energía y Medioambiente, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
Académico Escuela de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos.
Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
juanvasquezp@gmail.com

RESUMEN/ El objetivo de este artículo es explorar fundamentos y simulaciones del potencial solar en las fachadas de un medioambiente edificado de alta densidad urbana, para examinar la norma urbanística chilena en materias energéticas. Para ello, se revisan investigaciones vinculadas a las edificaciones y sus relaciones topológicas asociadas al soleamiento y sombreamiento en la volumetría adyacente. Instrumentos de simulación espacial y energética se emplearon para modelar un proyecto arquitectónico-urbano específico. Luego, se localizó este mismo proyecto piloto en distintas ciudades emplazadas en las tres agrupaciones regionales que reconoce la normativa. Los resultados demuestran sombras sobre las fachadas vecinas y el espacio intersticial produciendo una diferencia significativa en la oferta energética sobre ellas. Se concluye que, aun cuando existirían avances incipientes en la normativa, todavía es perfectible mediante la posibilidad de captación solar en fachadas y espacios entre edificios situados en contextos de alta densidad. Se contribuiría así con la generación energética en viviendas y una ciudad sostenible. **ABSTRACT/** This article seeks to explore the foundations and simulations of solar potential in the facades of a high urban density built environment to review Chile's energy-related urban standards. The discussion involved research linked with building and topological relationships associated with sun and shade exposures of adjacent volumetric. Spatial and energy simulation tools were used to model a specific architecture-urban project. Then, this same pilot project was placed in different cities sited in the three regional groupings considered by the standards. The outcomes reveal shades on neighboring facades and interstitial spaces resulting in a considerable difference among the energy provided to each of them. As a conclusion, while standards are making slow progress there is still room for improvements by capturing sunlight in facades and the interstices between buildings sited in high-density contexts. This would thus improve energy

generation in housing and promote sustainable cities.

Palabras clave/ Acceso solar, fachadas energéticas, sombreadamiento, potencial solar.

Keywords/ Solar access, energy facades, shading, solar potential.

1. INTRODUCCIÓN: El acceso solar en las ciudades es una inquietud ligada al aprovechamiento energético de las edificaciones desde la antigüedad, con distintas finalidades, estéticas, ceremoniales, higiénicas, etc. En los asentamientos pre-hispánicos es observable el culto al sol determinando así la organización espacial de ciudades, alturas, ejes de composición y orientación espacial, lo que evidencia una voluntad planificadora (Martínez, 2013). Los asentamientos toltecas construyeron sus pirámides de adoración de los dioses y sacrificios humanos considerando el solsticio y la inclinación de los rayos solares sobre el plano basal en coincidencia con el tiempo de la ofrenda. El emplazamiento de las edificaciones del conjunto urbano, los vanos y los espacios públicos se ordenaban en una lógica cósmica regida principalmente por el sol ([imagen 1](#)).



Imagen 1. Asentamiento pre-hispánico: Teotihuacan, México (fuente: L. A. Cárdenas).

En los asentamientos greco-romanos, el arquitecto romano Vitrubio recomendaba principios de emplazamiento, composición, orientación y disposición de los edificios tanto para construcciones urbanas como rústicas en su clásica obra *Los diez libros de la arquitectura* (Vitrubio, 1955). Los fundamentos procedían de un estudio de armonización y lógica para proyectar ciudades y edificios considerando los recursos de la naturaleza tales como el sol y el viento, la

geografía y el clima, los usos y costumbres.

Las condiciones de acceso solar a las edificaciones están determinando lo que llamaremos el 'potencial solar' en las ciudades, el cual está relacionado principalmente con cuestiones geométricas de la configuración urbana². El análisis, planteado desde una concepción tridimensional de la ciudad, lo que Gravagnuolo denomina la *forma urbis*, apunta directamente a la proyectación urbana y a la crisis en la ciudad producida por "fenómenos de degeneración del desarrollo urbano" (Gravagnuolo, 1998). La necesidad de recomposición de la unidad entre arquitectura y urbanismo señalada por el autor se invoca en este trabajo, pero ya no sólo con finalidad compositiva sino además con la intención de incorporar consideraciones energéticas en la proyectación del tejido urbano.

En los últimos veinte años del siglo XX, el arquitecto estadounidense Knowles investigó las condiciones de asoleamiento en el diseño urbano, acuñando el concepto de 'envolvente solar' como una construcción dinámica del acceso solar a las edificaciones en el espacio y tiempo (Knowles, 1974). La investigación del diseño de formas arquitectónicas emplazadas en manzanas, le permitió innovar no sólo en formas de crecimiento acorde a los ritmos del sol durante las estaciones del año, sino que también en los aspectos estéticos de ellas. Con ellos, abría enormes posibilidades al diseño de la arquitectura en la ciudad. El autor promulgaba la conveniencia de garantizar acceso al sol por la arquitectura dado que contribuye a la calidad de vida, pues la carencia de él produce desorientación e incertidumbre en la percepción espacial. Si bien en los años setenta la preocupación se centró en el sol como una fuente alternativa frente a la crisis energética, posteriormente cambia el foco y se realza por su importancia en la calidad de vida del vecindario. El aumento en las alturas edificadas y sus consecuentes sombras actuaban en dirección opuesta al acceso solar, lo que representaba un problema de planificación y diseño urbano. Más recientemente, Capeluto ha explorado interesantes propuestas de ocupación de la manzana en ciudades israelitas, considerando el envolvente solar y la luz natural como conceptos asociados a la búsqueda de soluciones de diseño arquitectónico a nivel de manzana.

El análisis de un edificio de oficinas considerando el ángulo sólido de cielo junto a las obstrucciones solares, es un ejemplo tratado por este autor para abordar estas materias (Capeluto, 2003). El 'potencial solar' depende del 'envolvente solar' y se define como aquel manto invisible que sigue la inclinación de los rayos solares hasta su incidencia sobre el plano de las edificaciones. Capeluto *et al.* han desarrollado el concepto de 'volumen solar' a través de modelos computacionales para analizar tejidos urbanos con un máximo de construcción permitida sin alterar el acceso solar a edificios y espacios públicos vecinos, en un tiempo predeterminado (Capeluto y Shaviv, 2001).

En el caso de Chile, Osorio analiza la capacidad de generar sombras en los espacios intermedios de los edificios situados en la ciudad de Antofagasta, en una región del norte del país. Este autor, establece la conveniencia de considerar en el proyecto los sombreamientos por los beneficios obtenidos en una ciudad con muy alta radiación solar (Osorio, 2012). Una aproximación convencional para el manejo de las ganancias solares y consiguiente demanda energética al interior

de los edificios ha sido la optimización de la envolvente arquitectónica, mediante la orientación del edificio, la relación entre el lleno y vacío, los ventanales y elementos adicionales de control solar en climas cálidos (Gulati, 2012). Esta orientación se centra en criterios de eficiencia y ahorro energético de las edificaciones. Un aspecto diferente y menos tratado que el anterior, y que será la materia principal de este artículo, se refiere a las ganancias solares para captarlas y emplearlas en el acondicionamiento térmico del edificio, sea mediante técnicas pasivas o activas.

Los autores revisados analizan modelos de edificios insertos en manzanas de una ciudad o barrios y para ello es fundamental entender la norma urbanística que entrega las condiciones de urbanización del suelo y de edificación, y la organización espacial en una ciudad. Para examinar lo que ocurre en Chile, se analizará la norma existente en la Ordenanza General de Construcciones y Urbanización (OGUC).

Norma Urbanística chilena asociada al soleamiento y sombreamiento. Dada la naturaleza divergente de intereses públicos e intereses privados que actúan sobre el suelo urbanizado -y que generan una tensión dialéctica entre derecho privado y derecho urbanístico (Cordero, 2008)-, se hace necesario analizar el concepto de acceso solar en la normativa chilena. En el derecho urbanístico chileno, está consagrado el derecho a luz solar para las edificaciones, concepto que difiere del acceso solar, pues el primero se centra en el espectro visible de las diferentes bandas de radiación. La importancia de evaluar la radiación solar radica precisamente en expandir la mirada de la actual normativa urbanística hacia la posibilidad de captación solar que trascienda la banda del espectro visible, como una fuente energética limpia y renovable integrada al edificio (Cárdenas, 2009).

En relación al espacio entre los edificios, sean de dominio privado o público, la OGUC (MINVU, 2014; DDU, 2006) ha fijado tradicionalmente límites para regular las edificaciones desde una perspectiva urbana. El artículo 2.6.3 de la OGUC se refiere a los distanciamientos y 'rasantes'¹³ aplicables a la región en la cual se emplace el proyecto. En la [tabla 1](#) se observan distancias al medianero que son indiferentes a la región en la cual se emplace el proyecto. La rasante se aplica en forma diferenciada según tres regiones geográficas, tal como se indica en la [tabla 2](#), en la cual se inscribe el largo territorio nacional continental situado entre la latitud 17°30' y 56°30'aproximadamente.

Altura de la edificación	Distanciamiento	
	Fachada con vano	Fachada sin vano
Hasta 3.5 m	3.0 m	1.4 m
Sobre 3,5 m y hasta 7.0 m	3.0 m	2.5 m
Sobre 7.0 m	4.0 m	4.0 m

Tabla 1: Distanciamiento al medianero según altura de edificación y existencia de vano en la fachada (fuente: OGUC, Art. 2.6.3 [diciembre 2014]).

Regiones	Ángulos de Rasantes	Agrupaciones de Regiones
I a III y XV Regiones	80°	Norte
IV a IX Región y Región Metropolitana	70°	Centro
X a XII y XIV Regiones	60°	Sur

Tabla 2: Ángulo de rasantes establecidos por la norma para cada agrupación de región en

Chile (fuente: OGUC: Art. 2.6.3 [diciembre 2014]).

En las últimas décadas en Chile, las tendencias hacia maximizar la rentabilidad de la inversión inmobiliaria han provocado formas edilicias inscritas en una norma urbanística que ocasionan resultados formales poco armónicos ([imagen 2](#)). En respuesta a ello, surgen los artículos 2.6.11 al 2.6.13 de la OGUC que declaran manifiestamente una preocupación estética en la expresión formal del edificio⁴. Esto lleva a una reformulación de la norma urbanística para velar por una armónica configuración volumétrica en la arquitectura situada en zonas con edificación aislada (Ugarte, 2015)⁵. Se pretende de este modo, mitigar un problema morfológico a cambio de incrementar la densidad, tal como se indica en el articulado 2.6.11.



Imagen 2. Edificios 'lustrines' derivados de la aplicación normativa de rasantes en entornos de alta densidad. Sector Apoquindo, Las Condes, Santiago (fuente: J. P. Vásquez).

No obstante, se fija un límite a la altura otorgado por las sombras arrojadas del edificio y se incorporan dos conceptos volumétricos para ello: el 'volumen teórico'⁶ y el volumen proyectado o 'volumen de la edificación'⁷, como se indica en los Artículos 2.6.11 y 2.6.12. El Art. 2.6.13 indica el procedimiento para el cálculo de sombras, precisando ángulos y valores límites de extensión aplicables sobre un plano imaginario, paralelo a la pendiente del terreno, como indica la [tabla 3](#).

SOMBRA PROYECTADA	Regiones I-III y XV	Regiones IV-IX y RM	Regiones X-XII y XIV
Hacia el Sur	63° Dividir la altura por 1.96	57° Dividir la altura por 1.54	51° Dividir la altura por 1.23
Hacia el Oriente	28° Dividir la altura por 0.53	26° Dividir la altura por 0.49	24° Dividir la altura por 0.45
Hacia el Poniente	28° Dividir la altura por 0.53	26° Dividir la altura por 0.49	24° Dividir la altura por 0.45

Tabla 3: *Ángulos prescritos y extensión máxima para cálculo de sombras sobre planos paralelos a la pendiente promedio del terreno (fuente: elaboración propia con base en el Art. 2.6.13 de la OGUC [diciembre de 2013]).*

Del análisis de estos Artículos se deduce que hay una preocupación formal por el edificio singular y el sombreado de éste hacia los edificios vecinos. En el procedimiento de cálculo se descuenta la superficie de sombra que cae sobre el espacio público, lo cual tendría como resultado el incremento en la superficie edificada del volumen proyectado. Tal situación puede beneficiar a un edificio singular en el aumento de la densidad, pero no a los edificios vecinos, pues la sombra se alarga de forma ficticia para poder subir la constructibilidad. Ello tiene efectos directos en los edificios porque reduce el potencial de radiación solar incidente sobre las fachadas. Se postula que aún puede mejorarse la normativa

incorporando una preocupación explícita energética, de captación solar, para fines pasivos o activos, como un aporte más a la construcción de una ciudad sostenible.

Análisis crítico de la normativa mediante una simulación energética solar en fachadas de un proyecto. Un modelo es construido para iniciar un análisis crítico de esta normativa. Este modelo se basa en un proyecto arquitectónico hipotético, compuesto por dos edificios idénticos, A y B, pero con cambio de orientación cardinal (norte-sur, este-oeste) y situado en dos predios vecinos. Sobre este modelo, a fin de comparar las sombras arrojadas sobre los suelos y fachadas, se aplican las rasantes de acuerdo con tres localizaciones de diferente latitud. En la [imagen 3](#) se muestran las sombras y rasantes. Se escogen tres ciudades chilenas emplazadas en cada una de las agrupaciones regionales: Antofagasta (Lat. $-23^{\circ}38'$ y Long- $70^{\circ}24'$), situada en la agrupación Norte; Santiago (Lat. $-33^{\circ}26'$ y Long. $-70^{\circ}40'$), situada en la agrupación Centro; y Puerto Montt (Lat. $-41^{\circ}28'$ y Long. $-72^{\circ}56'$), situada en la agrupación Sur. La trayectoria solar de las tres ciudades representadas en la [imagen 4](#), muestra en la proyección estereográfica una evidente diferencia en la heliofanía, tanto para el solsticio de invierno como el solsticio de verano. A medida que la latitud sube, las horas de sol se reducen en invierno respecto de las latitudes más bajas. A la inversa, se produce un aumento de las horas de sol en el verano en latitudes más altas. Una primera observación indica que en invierno hay más horas sin sol y frías en latitudes altas respecto a latitudes bajas, periodo en que se demanda más calefacción e iluminación para vivir. Una segunda observación es que la altura del sol es más baja en invierno que en verano y, comparativamente a nivel regional, es aún más baja en las ciudades de mayor latitud. Por ejemplo, en Puerto Montt la altura solar es menor en relación con Antofagasta.

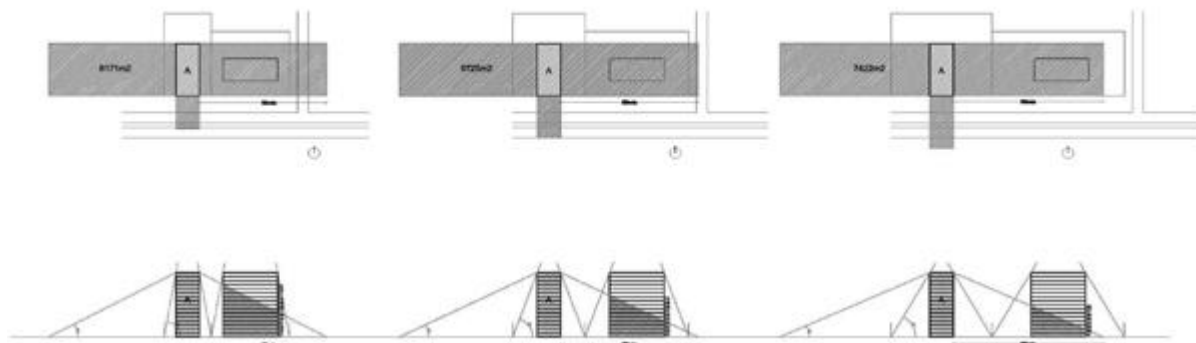


Imagen 3. Rasante OGUC y sombra proyectada según zonas normativas: norte, centro y sur (fuente: elaboración propia).

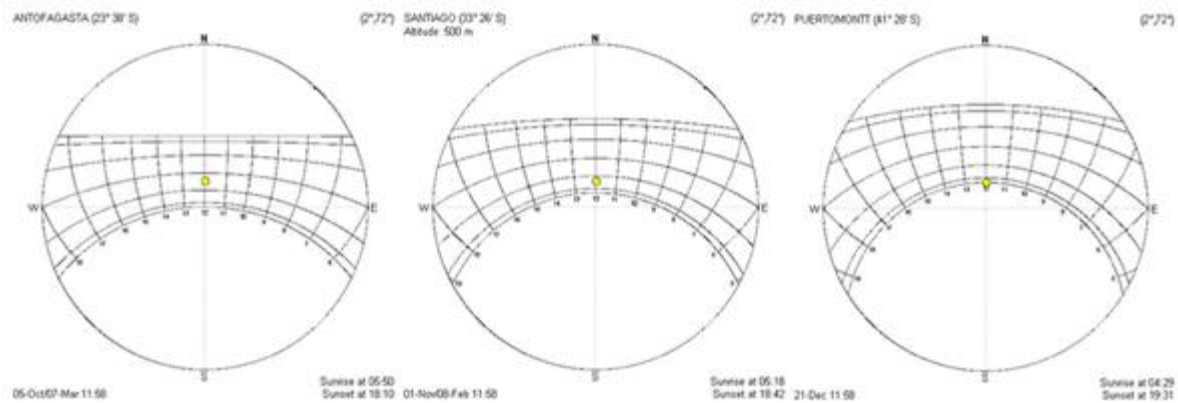


Imagen 4. Cartas solares en las ciudades de Antofagasta, Santiago y Puerto Montt (fuente: elaboración propia).

Cabe la pregunta: ¿Cómo incide la norma urbanística en las sombras arrojadas sobre fachadas y espacios intersticiales? En la [imagen 5](#) se muestra en planta el modelo con el edificio A y B y se indican las sombras proyectadas según la aplicación de la norma urbanística para cada agrupación regional o zona: Norte, Centro y Sur. Se observa que, a medida que sube la latitud, la sombra arrojada es más larga y viceversa, en todas las orientaciones cardinales pertinentes: Este, Oeste y Sur. Las sombras del edificio A caen sobre el edificio B y viceversa, en sentido Este y Oeste respectivamente. Asimismo, la sombra del edificio B cae sobre espacio privado perteneciente a los predios y sobre el espacio público o calle, en el sentido Este y Sur. Por tanto, hay una interacción entre edificios y espacios, sean de dominio privado o público, que tiene un efecto en el acceso del sol y que puede traducirse en calor y luz para ambos espacios: interior y exterior.

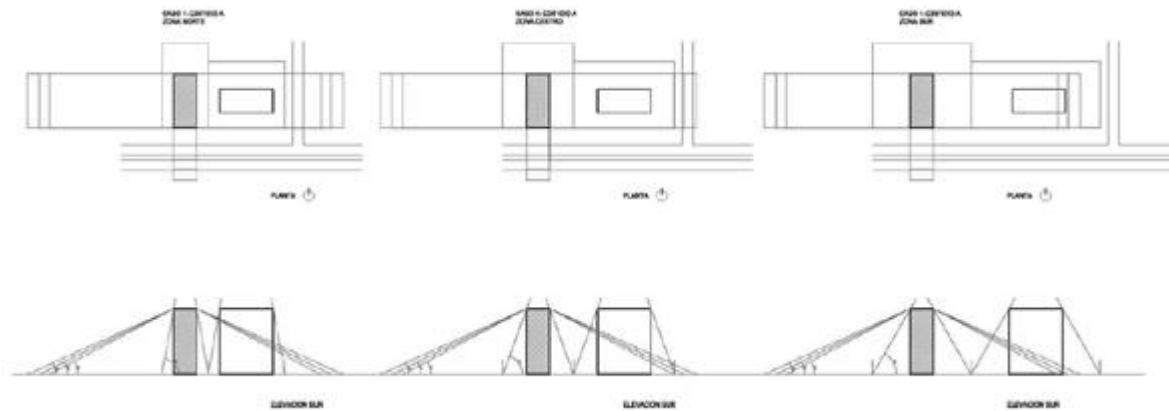


Imagen 5. Modelo de edificios vecinos A y B y aplicación normativa de sombras según artículo 2.6.13 para cada agrupación de regiones: Norte, Centro y Sur (fuente: elaboración propia).

Se abren nuevas interrogantes: ¿A qué época del año corresponden las sombras arrojadas, según la aplicación normativa del artículo 2.6.13? ¿Cuál es el efecto de esta sombra sobre el potencial solar energético en las fachadas? ¿Cómo afectaría el potencial energético al proyecto si se cambia su emplazamiento en cada una de las tres agrupaciones de regiones?

Resultados. Un análisis geométrico mediante la carta solar indica que las sombras corresponden al equinoccio, vale decir, es una situación intermedia entre los solsticios de verano y solsticio de invierno respecto de la fachada sur. De lo anterior, se deduce que las sombras proyectadas sobre el suelo urbano serán menores que la sombra proyectada en invierno, porque en esa última época la sombra es más larga. Por consiguiente, los vecinos de la manzana ubicada hacia el sur se verán afectados en su potencial energético, porque ello repercute directamente en una reducción de luz y calor proveniente de la radiación solar, aunque la aplicación de la normativa no lo refleje así.

Para conocer el efecto de la sombra sobre el edificio y espacios intersticiales en forma tridimensional (a diferencia de la OGUC que plantea una geometría de cálculo en dos dimensiones), se realizó una simulación energética solar en el proyecto, para cada localización mencionada, mediante un modelo tridimensional simplificado. En la [imagen 6](#) se muestra una simulación energética de la radiación solar incidente promedio día para el equinoccio, que indica la normativa (Beckers, 2012) (Heliodon 2TM). El efecto resultante de la radiación solar es diferente según sea el plano donde incide: plano horizontal (suelo) o plano vertical (muros). La mayor irradiación absoluta (kWh/m^2) ocurre sobre el plano horizontal respecto al vertical y, simultáneamente, en latitudes más cercanas al Ecuador, debido al ángulo más ortogonal del rayo solar. Sin embargo, la mayor irradiación en las fachadas ocurre en latitudes más altas, como Puerto Montt.

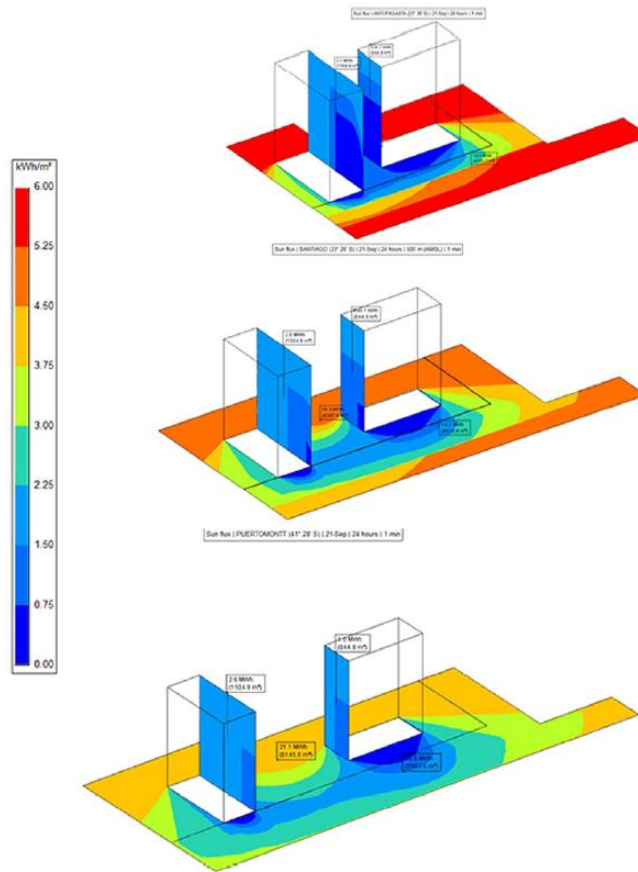


Imagen 6. Simulación energética solar en fachadas y espacios intersticiales (dominio privado y público) entre edificios, para las ciudades de Antofagasta, Santiago y Puerto Montt (fuente: elaboración propia).

Imagen 6. *Simulación energética solar en fachadas y espacios intersticiales (dominio privado y público) entre edificios, para las ciudades de Antofagasta, Santiago y Puerto Montt (fuente: elaboración propia).*

Los resultados de simulación se expresan también en superficies de sombras para comparar las obstrucciones solares en fachadas y en los espacios entre edificios, representado en la [imagen 7](#). Para responder a la interrogante de cómo afectaría el potencial energético al proyecto si se cambia su emplazamiento en cada una de las tres agrupaciones de regiones, se graficó en la [imagen 8](#) la irradiación total del modelo, de la fachada poniente y del espacio intersticial. Se ratifica que hay un mayor potencial energético en el espacio intersticial en Antofagasta que en Puerto Montt. Al contrario, habría un mayor potencial en fachadas en la ciudad austral respecto de la primera.

SUPERFICIE SOMBRAS SEGÚN MACRO ZONA (m²) espacio intersticial y fachada

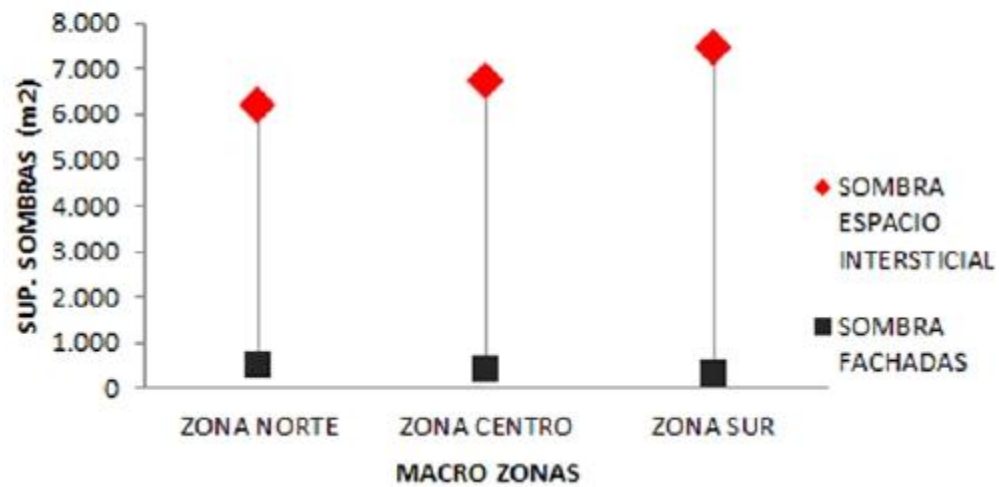


Imagen 7. Síntesis de sombras proyectadas para el equinoccio en Chile sobre espacio intersticial y fachadas en las tres agrupaciones regionales (fuente: elaboración propia).

POTENCIAL ENERGÉTICO SEGÚN CIUDADES (kWh/m²)



	ENERGIA TOTAL SISTEMA (kWh/m ²)	FACHADA PONIENTE (kWh/m ²)	ESPACIO INTERSTICIAL (kWh/m ²)
DIFERENCIA Antof.-P.Montt	0,7	0,8	1,3
% PERDIDA POTENCIAL	20%	(-)50%	30%

Imagen 8. Potencial energético según ciudades para el equinoccio en Chile sobre espacio intersticial y fachada poniente (fuente: elaboración propia).

La comparación de la oferta energética entre la ciudad del norte (Antofagasta) y la ciudad del sur (Puerto Montt) muestra una diferencia de un 50% más en fachadas y un 30% menos en el espacio entre edificios, lo que da un total de un 20% de diferencia entre el potencial de ambas ciudades.

Conclusiones. Como primera conclusión, se observa una diferencia entre la sombra que recae sobre el espacio intersticial y aquella que recae en fachadas, luego de aplicar la simulación energética solar según normativa OGUC. A mayor latitud se observa una mayor superficie de sombra en espacio entre edificios y levemente menor sombra en fachadas. Además, se concluye que el mayor potencial energético de las fachadas se encuentra en la ciudad más

austral.

Esta observación abre un enorme potencial energético para explorar diseños de fachadas activas energéticamente para logros de política energética en Chile: la Eficiencia Energética y la generación de Energías Alternativas Renovables No Convencionales, ERNC (Ministerio de Energía, 2014). Por lo anterior, cobra relevancia el estudio de la normativa urbanística que vele por el resguardo de las condiciones espaciales en la actividad inmobiliaria, para captar energía limpia como es la solar. Particularmente, en la región austral chilena.

Finalmente, una recomendación de tipo normativo indica que incorporando el potencial energético asociado a la densidad en altura, se podrían regular condiciones de acceso solar. Las superficies de captación solar varían según la zona normativa donde se encuentren y también según paramento (vertical u horizontal) y espacios de la arquitectura. **AUS**

NOTAS

¹ Este artículo es resultante del proyecto de investigación FONDECYT Regular 1130-139 denominado: "Aprovechamiento energético solar en fachadas de edificios integrando el entorno urbano..." La Investigadora Responsable es L. A. Cárdenas y los coinvestigadores, J. P. Vásquez y L. Morales. Los autores agradecen el financiamiento otorgado por CONICYT – FONDECYT.

² La latitud, longitud, altura, condiciones atmosféricas y localización geográfica determinan igualmente la intensidad de radiación solar en un lugar, pero este trabajo analizará específicamente las condiciones morfológicas arquitectónicas del entorno urbano como un elemento que obstruye o facilita el acceso al sol.

³ 'Rasante': recta imaginaria que, mediante un determinado ángulo de inclinación, define la envolvente teórica dentro de la cual puede desarrollarse un proyecto de edificación. Fuente: OGUC (diciembre 2014).

⁴ ..."Artículo 2.6.11. Con el fin de evitar diseños con planos inclinados de los edificios producto de las rasantes a que se refiere el artículo 2.6.3. ... las edificaciones aisladas podrán sobrepasar opcionalmente éstas siempre que la sombra del edificio propuesto, proyectada sobre los predios vecinos no supere la sombra del volumen teórico edificable en el mismo predio..."(DDU, 2006). "Artículo 2.6.12. Para los efectos de calcular la sombra proyectada sobre los predios vecinos bastará con medir la superficie de ésta. Las áreas adyacentes con uso espacio público no se contabilizarán en dicho cálculo, a pesar de que el volumen teórico planteado les proyecte sombra. En ningún caso el proyecto podrá superar las superficies de sombra parciales que proyecta el volumen teórico hacia las orientaciones, oriente, poniente y sur, ni por

ende la superficie de sombra total producida por dicho volumen teórico edificable en el predio, así como tampoco su altura total...".

⁵ José Ramón Ugarte (arquitecto), entrevista con coautor sobre estas modificaciones normativas, 19 de agosto de 2015.

⁶ 'Volumen teórico': volumen o envolvente máxima, expresado en metros cúbicos, resultante de la aplicación de las disposiciones sobre superficies de rasante, distanciamientos, antejardines y alturas máximas, cuando las hubiere, en un terreno determinado.

⁷ 'Volumen de la edificación': volumen resultante de unir los planos exteriores de una edificación para los efectos de representar la sombra que proyecta sobre los predios vecinos.

REFERENCIAS

Beckers, B., ed. 2012. *Solar energy at urban scale*. Londres: ISTE.

Cárdenas, L.A. 2009. "El derecho de acceso solar: Exploración de mecanismo de regulación." En *El nuevo marco legal para el cambio climático*, ed. P. Moraga, 85-91. Santiago: Centro de Derecho Ambiental, Universidad de Chile.

Capeluto, I.G. 2003. "The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office build-ings in Israel." *Building and Environment* 38 (5): 745-752.

Capeluto, I.G. y E. Shaviv. 2001. "On the use of 'solar volume' for determining the urban fabric." *Solar Energy* 70 (3): 275-280.

Cordero, E. 2008. "El derecho urbanístico chileno y la garantía constitucional de la propiedad." *Nomos* 2: 91-112.

DDU. 2006. Normas urbanísticas, rasantes, volumen teórico, sombra proyectada. Circular Ordinaria 0193. Santiago: División de Desarrollo Urbano, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo [Chile].

Gravagnuolo, B. 1998. *Historia del urbanismo en Europa: 1750-1960*. Madrid: Akal.

Gulati, N. 2012. "Efectividad en función de los costos en sistemas HVAC a partir de la optimización de la envolvente arquitectónica." *AUS* 11: 14-17.

Knowles, R.L. 1974. *Energy and form: An ecological approach to urban growth*. Cambridge: The MIT Press.

Martínez, R. 2013. *Tenochtitlán: Una metrópolis pre-hispánica: 1325-1522. Un paradigma de desarrollo urbano* Santiago: Editorial Universidad Central.

Ministerio de Energía. 2014. *Agenda de energía: Un desafío país, progreso para todos*. Santiago: Ministerio de Energía [Chile].

MINVU. 2014. *Ordenanza general de construcciones y urbanización*. Santiago: Ministerio de la Vivienda y Urbanismo [Chile]. <www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx> (consultado el 04.04.2014) Osorio, E. 2012. "Espacios intermedios en Antofagasta: Relación de la arquitectura con su contexto." *AUS* 12 10-13.

Vitruvio, M.L. 1955. *Los diez libros de la arquitectura*. Barcelona: Editorial Iberia.

Recepción/ 30 abril 2014
Aceptación/ 1 octubre 2014

Los resultados de simulación se expresan también en superficies de sombras para comparar las obstrucciones solares en fachadas y en los espacios entre edificios, representado en la [imagen 7](#). Para responder a la interrogante de cómo afectaría el potencial energético al proyecto si se cambia su emplazamiento en cada una de las tres agrupaciones de regiones, se graficó en la [imagen 8](#) la irradiación total del modelo, de la fachada poniente y del espacio intersticial. Se ratifica que hay un mayor

potencial energético en el espacio intersticial en Antofagasta que en Puerto Montt. Al contrario, habría un mayor potencial en fachadas en la ciudad austral respecto de la primera.

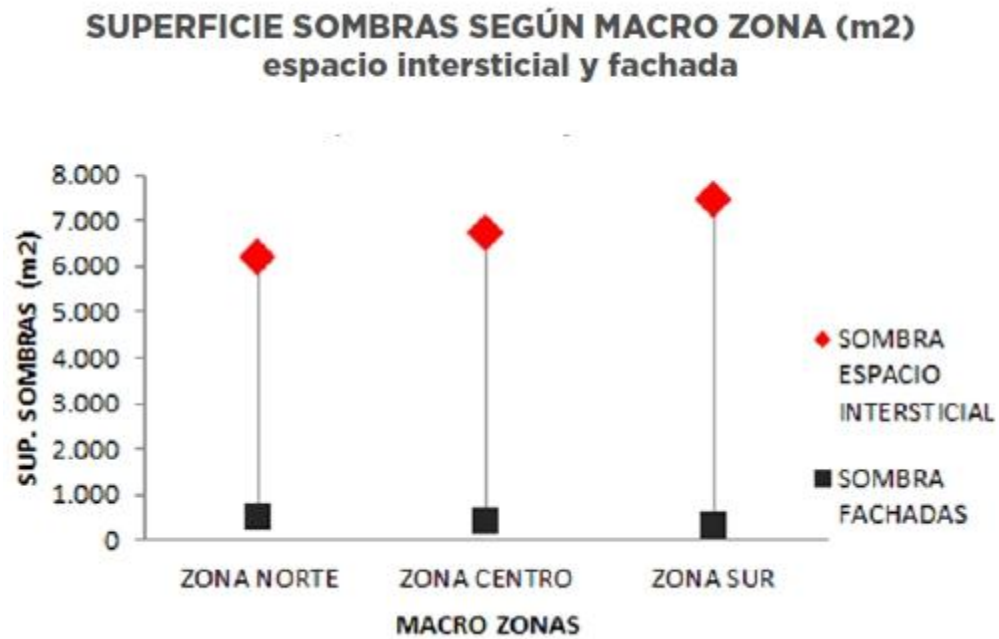
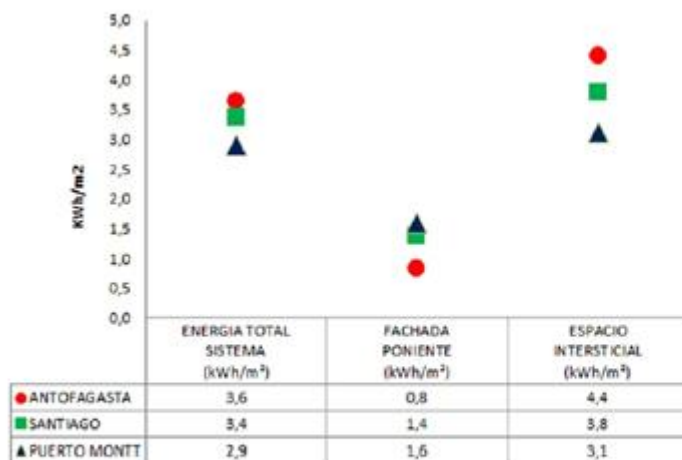


Imagen 7. Síntesis de sombras proyectadas para el equinoccio en Chile sobre espacio intersticial y fachadas en las tres agrupaciones regionales (fuente: elaboración propia).

POTENCIAL ENERGÉTICO SEGÚN CIUDADES (kWh/m²)



	ENERGIA TOTAL SISTEMA (kWh/m ²)	FACHADA PONIENTE (kWh/m ²)	ESPACIO INTERSTICIAL (kWh/m ²)
DIFERENCIA Antof.-P.Montt	0,7	0,8	1,3
% PERDIDA POTENCIAL	20%	(-)50%	30%

Imagen 8. Potencial energético según ciudades para el equinoccio en Chile sobre espacio intersticial y fachada poniente (fuente: elaboración propia).

La comparación de la oferta energética entre la ciudad del norte (Antofagasta) y la ciudad del sur (Puerto Montt) muestra una diferencia de un 50% más en fachadas y un 30% menos en el espacio entre edificios, lo que da un total de un 20% de diferencia entre el potencial de ambas ciudades.

Conclusiones. Como primera conclusión, se observa una diferencia entre la sombra que recae sobre el espacio intersticial y aquella que recae en fachadas, luego de aplicar la simulación energética solar según normativa OGUC. A mayor latitud se

observa una mayor superficie de sombra en espacio entre edificios y levemente menor sombra en fachadas. Además, se concluye que el mayor potencial energético de las fachadas se encuentra en la ciudad más austral.

Esta observación abre un enorme potencial energético para explorar diseños de fachadas activas energéticamente para logros de política energética en Chile: la Eficiencia Energética y la generación de Energías Alternativas Renovables No Convencionales, ERNC (Ministerio de Energía, 2014). Por lo anterior, cobra relevancia el estudio de la normativa urbanística que vele por el resguardo de las condiciones espaciales en la actividad inmobiliaria, para captar energía limpia como es la solar. Particularmente, en la región austral chilena.

Finalmente, una recomendación de tipo normativo indica que incorporando el potencial energético asociado a la densidad en altura, se podrían regular condiciones de acceso solar. Las superficies de captación solar varían según la zona normativa donde se encuentren y también según paramento (vertical u horizontal) y espacios de la arquitectura. **AUS**

NOTAS

¹ Este artículo es resultante del proyecto de investigación FONDECYT Regular 1130-139 denominado: "Aprovechamiento energético solar en fachadas de edificios integrando el entorno urbano..." La Investigadora Responsable es L. A. Cárdenas y los coinvestigadores, J. P. Vásquez y L. Morales. Los autores agradecen el financiamiento otorgado por CONICYT – FONDECYT.

² La latitud, longitud, altura, condiciones atmosféricas y localización geográfica determinan igualmente la intensidad de radiación solar en un lugar, pero este trabajo analizará específicamente las condiciones morfológicas arquitectónicas del entorno urbano como un elemento que obstruye o facilita el acceso al sol.

³ 'Rasante': recta imaginaria que, mediante un determinado ángulo de inclinación, define la envolvente teórica dentro de la cual puede desarrollarse un proyecto de edificación. Fuente: OGUC (diciembre 2014).

⁴ ..."Artículo 2.6.11. Con el fin de evitar diseños con planos inclinados de los edificios producto de las rasantes a que se refiere el artículo 2.6.3. ... las edificaciones aisladas podrán sobrepasar opcionalmente éstas siempre que la sombra del edificio propuesto, proyectada sobre los predios vecinos no supere la sombra del volumen teórico edificable en el mismo predio..."(DDU, 2006). "Artículo 2.6.12. Para los efectos de calcular la sombra proyectada sobre los predios vecinos bastará con medir la superficie de ésta. Las áreas adyacentes con uso espacio público no se contabilizarán en dicho cálculo, a pesar de que el volumen teórico planteado les proyecte sombra. En ningún caso el proyecto podrá superar las superficies de sombra parciales que proyecta el volumen teórico hacia las orientaciones, oriente, poniente y sur, ni por ende la superficie de sombra total producida por dicho volumen teórico edificable en el predio, así como tampoco su altura total..."

⁵ José Ramón Ugarte (arquitecto), entrevista con coautor sobre estas modificaciones normativas, 19 de agosto de 2015.

⁶ 'Volumen teórico': volumen o envolvente máxima, expresado en metros cúbicos, resultante de la aplicación de las disposiciones sobre superficies de rasante, distanciamientos, antejardines y alturas máximas, cuando las hubiere, en un terreno determinado.

⁷ 'Volumen de la edificación': volumen resultante de unir los planos exteriores de una edificación para los efectos de representar la sombra que proyecta sobre los predios vecinos.

REFERENCIAS

Beckers, B., ed. 2012. *Solar energy at urban scale*. Londres: ISTE.

Cárdenas, L.A. 2009. "El derecho de acceso solar: Exploración de mecanismo de regulación." En *El nuevo marco legal para el cambio climático*, ed. P. Moraga, 85-91. Santiago: Centro de Derecho Ambiental, Universidad de Chile.

Capeluto, I.G. 2003. "The influence of the urban environment on the availability of daylighting in office buildings in Israel." *Building and Environment* 38 (5): 745-752.

Capeluto, I.G. y E. Shaviv. 2001. "On the use of 'solar volume' for determining the urban fabric." *Solar Energy* 70 (3): 275-280.

Cordero, E. 2008. "El derecho urbanístico chileno y la garantía constitucional de la propiedad." *Nomos* 2: 91-112.

DDU. 2006. Normas urbanísticas, rasantes, volumen teórico, sombra proyectada. Circular Ordinaria 0193. Santiago: División de Desarrollo Urbano, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo [Chile].

Gravagnuolo, B. 1998. *Historia del urbanismo en Europa: 1750-1960*. Madrid: Akal.

Gulati, N. 2012. "Efectividad en función de los costos en sistemas HVAC a partir de la optimización de la envolvente arquitectónica." *AUS* 11: 14-17.

Knowles, R.L. 1974. *Energy and form: An ecological approach to urban growth*. Cambridge: The MIT Press.

Martínez, R. 2013. *Tenochtitlán: Una metrópolis pre-hispánica: 1325-1522. Un paradigma de desarrollo urbano* Santiago: Editorial Universidad Central.

Ministerio de Energía. 2014. *Agenda de energía: Un desafío país, progreso para todos*. Santiago: Ministerio de Energía [Chile].

MINVU. 2014. *Ordenanza general de construcciones y urbanización*. Santiago: Ministerio de la Vivienda y Urbanismo [Chile]. <www.minvu.cl/opensite_20070404173759.aspx> (consultado el 04.04.2014) Osorio, E. 2012. "Espacios intermedios en Antofagasta: Relación de la arquitectura con su contexto." *AUS* 12 10-13.

Vitruvio, M.L. 1955. *Los diez libros de la arquitectura*. Barcelona: Editorial Iberia.

Recepción/ 30 abril 2014
Aceptación/ 1 octubre 2014