

The effects of vertical growth: Study of the right to solar access in residential areas. The case of Concepción, Chile.

Marianne Riquelme Gómez¹, Andrea Martínez Arias¹, María Isabel Rivera^{1 2}

¹ Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía, Universidad de Concepción, Concepción, Chile

mriquelme@udec.cl; amartineza@udec.cl

² Investigadora, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, CEDEUS, Chile
mariaisrivera@udec.cl

Abstract. In Chile, the neoliberal economic model has intensified the densification process with few restrictions, giving rise to a prolific construction of high-rise multi-family buildings in low-density areas. The study uses a case of a high-rise housing complex that contrasts with local typologies and breaks the human scale in a traditional neighborhood (i.e., one story continues façade). The impact of shadow projections on its neighboring houses is calculated and duration according to the solar sun path. In addition, the effect on daylight availability in the residential units of the towers is analyzed. The results show that the tower's complex projects shade the neighborhood for up to 200m in winter. Also, a tower's daylighting autonomy decreases by 13% in lower floorplans because of the shades of its neighboring towers. It reflects how this form of high-rise housing affects a fundamental right: the right to the sun in its forms of radiation for passive heating in a heating-demanding climate zone and the potential for daylight harvesting for its own residential units.

Keywords: Design, Nature and Ecosystems, shadow cones, high-rise residential, daylight, simulation

1 Introducción

En el contexto de crecimiento y transformación de las ciudades contemporáneas, surge la búsqueda de nuevas formas de desarrollo que aseguren la viabilidad urbana. Frente a estos nuevos requerimientos, aparece la ciudad compacta o densificada, cuyos beneficios se relacionan a la viabilidad del modelo desde el diseño de las viviendas, con mayor densificación de habitantes versus menor ocupación de suelo (Cárdenas, Vásquez, Zamorano, Acevedo; 2016). Ahora bien, al momento de buscar una vía de desarrollo urbano, es necesario también considerar aspectos sostenibles, que además de

asegurar el acceso a la vivienda, contemplen aspectos de confort, climatización y eficiencia energética (Gómez y Mesa, 2017).

En este sentido, la importancia de la luz y energía obtenidos del sol, es determinante en la calidad de vida urbana, ya que guarda relación con diferentes elementos que van desde lo energético hasta lo sanitario: por un lado, la energía obtenida a través del sol, de manera activa o pasiva, incide en la habitabilidad, climatización e iluminación de los espacios interiores y exteriores, mientras que la mera disposición del recurso solar incide y regula procesos biológicos como el ciclo circadiano, además de facilitar la orientación espacio-temporal (García, 2012; Gómez y Mesa, 2017). Frente a este panorama, y reconociendo tales virtudes, Ralph Knowles propone el concepto de *solar envelope*, o envolvente solar: un constructo basado en la trayectoria solar que busca asegurar condiciones mínimas de asoleamiento para las construcciones, así como impedir que estas proyecten obstrucciones sobre los edificios adyacentes (Knowles, 2003). Sumado a esto, aparece el concepto de *acceso solar* parámetro definido como la captación de energía solar en la morfología urbana para fines energéticos, pasivos o activos (Cárdenas-Jirón, Chang Lou; 2019, p.98).

Por otro lado, el desarrollo proyectual en Chile se encuentra regulado por distintas normativas referidas a alturas y distanciamientos, principalmente. Si bien, a mediados del siglo XX, se estipulaba un mínimo de 2 horas de iluminación natural, en el día más corto del año, para espacios habitables (Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación, 1949), este decreto fue derogado y reemplazado por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Esta reconoce la relevancia del acceso a la luz solar, al estipular que cada espacio habitable debe contar con una ventana que permita su asoleamiento (MINVU, 2020) y para asegurar esta condición, la misma Ordenanza establece distanciamientos mínimos, ángulos de rasantes y alturas máximas para las edificaciones en altura, en función de su ubicación y el cálculo de las sombras proyectadas sobre las construcciones contiguas durante los equinoccios (MINVU, 2020). Cabe destacar, sin embargo, que, si bien la normativa aplica de manera general sobre el territorio, cada zona puede también evaluar su aplicación en función del plan regulador y proyecciones de desarrollo de cada ciudad.

Con respecto a esto, Cárdenas y Uribe (2012) reconocen que, si bien la norma urbanística reconoce la relevancia del asoleamiento, esta presenta eslabones pendientes que no aseguran el derecho solar frente a las dinámicas proyectuales inmobiliarias, resultando insuficientes desde la metodología, que no considera, por ejemplo, la dinámica de las trayectorias solares, los casos durante solsticios, y la incidencia de las obstrucciones solares en el espacio público. Además, los autores reconocen la importancia del acceso solar en un contexto de búsqueda de fuentes energéticas renovables y sostenibilidad.

Frente a este fenómeno, durante los últimos años se han llevado a cabo estudios en el contexto nacional, especialmente en Santiago de Chile, destacando el caso de la comuna de Estación Central donde Inzulza, Vargas y Wolff (2017) analizan la vulneración del acceso solar en el marco de procesos de verticalización, mediante el estudio de los conos de sombra, complementado con la aplicación de entrevistas a los residentes.

Ahora bien, el estudio del impacto asociado a las obstrucciones solares generadas por los edificios ya descritos, resulta especialmente relevante en esta ciudad, caracterizada por su clima de lluvias y nieblas abundantes, asociado a la cercanía con cuerpos de agua como lo son el río Bío-Bío, lagunas y humedales. Ya en 1960, Roberto Goycoolea, precursor del Plan Regulador de 1960, promovía estudios de asoleamiento previos al desarrollo de edificios de gran envergadura, justificadas en el entendimiento de la ciudad como una urbe de complejas condiciones de armonía en la vida urbana debido al carácter húmedo del clima (Muñoz, 1995), lo cual encarece en la necesidad de implementar modelos de planificación más estrictos, que garanticen el acceso solar de manera de asegurar los beneficios energéticos asociados al asoleamiento, sean estos activos o pasivos.

Finalmente, Pérez et al. (2019) desarrolla un estudio del caso Barrio Condell, uno de los barrios tradicionales de la ciudad, abordando el fenómeno de la verticalización como consecuencia del desarrollo de las políticas de ciudad neoliberal. A través de entrevistas, llega a diagnosticar la problemática del desarrollo de edificios residenciales en altura, con respecto al acceso solar: “Opino que nos sentimos aplastados, nos quitan el sol” (p. 13) “La humedad me afecta porque no me pega el sol en toda la tarde. Entonces el frío es fuerte, uno que no estaba acostumbrado, que tenía solcito para secar la ropa en el patio, claro que afecta” (p.13). Con esto, abre la oportunidad de ahondar en la vulneración al acceso solar en el marco comunal.

1.1 Metodología

Se aproxima el estudio del fenómeno con métodos mixtos. Se describe un conjunto de vivienda en altura como caso estudio y se cuantifica sus impactos en el contexto inmediato y dentro de sí mismo. Se recopiló información de parámetros morfológicos y planimétricos del conjunto para calcular los impactos mediante software de modelación y simulación.

El caso estudio es un conjunto residencial en altura construido en el año 2015 en un lote de forma triangular de 9000 m² aproximadamente. El complejo consta de 4 torres de 18 pisos más 2 subterráneos cada una, siendo los edificios de mayor altura en el sector (Fig.1). El espacio circundante es un área residencial de baja densidad, incluyendo equipamiento educacional y de salud.

Una característica del conjunto es que las torres se encuentran muy próximas entre sí. Además, el conjunto cuenta con espacios colectivos y áreas verdes de uso privado con incidencia de las sombras. En un estudio previo, se identificó falta de asoleamiento en algunas de las unidades habitacionales, producto de las sombras desplegadas por el mismo conjunto, en un periodo definido entre enero y junio (Vergara, 2015). El presente estudio complementa dichos resultados con el estudio del efecto de estas sombras en otras fechas relevantes (solsticio de verano y equinoccio de primavera) y ahondar en los efectos de dichas obstrucciones solares.



Figura 1. Vista del conjunto residencial de torres y su contexto inmediato. Fuente: Autores, 2022.

El primer objetivo fue establecer parámetros y relaciones entre las variables morfológicas de las construcciones en altura y el impacto solar generado en su contexto inmediato de viviendas unifamiliares y equipamiento. En detalle, se plantea el levantamiento de los datos planimétricos y cartográficos tanto del conjunto como de su contexto, con un alcance aproximado de una manzana a la redonda, con el fin de levantar un modelo 3D representativo de los edificios mediante la herramienta Sketchup (Trimble, 2022). Se analiza el tamaño, trayectoria y despliegue de las obstrucciones solares generadas, a través de la herramienta de simulación *Sun Path* (Marsh, 2022) para los solsticios y equinoccios. De esta manera, se observa el despliegue la proyección de sombra en su mínima y máxima extensiones, correspondiendo a situación de verano e invierno, respectivamente.

En segunda instancia, el impacto de las sombras entre torres a las unidades al interior del conjunto se realizó simulando las unidades en la parte más baja (piso 2), media (piso 9) y alta (piso 18). Se modelaron dos de las 4 torres, una en situación de borde (torres A), y una torre interior (torre B) con impacto de sombras en sus dos fachadas. A través de la simulación vía Sefaira (Trimble, 2022), se simulan las unidades habitacionales de esos pisos exceptuando circulaciones interiores y shafts, de manera de obtener el detalle de las condiciones lumínicas interiores sólo de los departamentos.

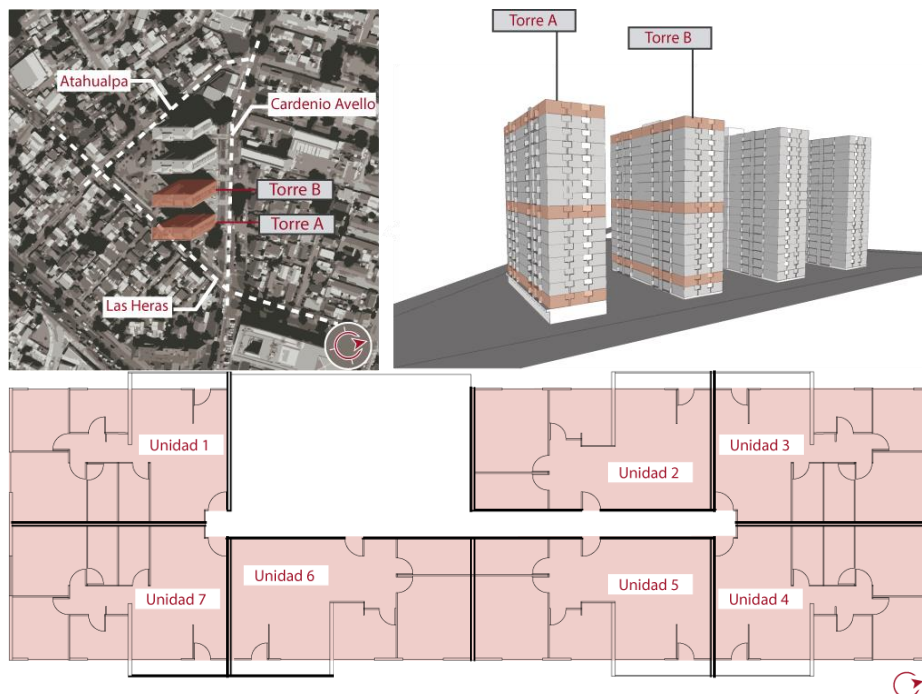


Figura 2. Vista en planta del conjunto residencial de torres y su contexto inmediato (izquierda) y modelos identificando las torres A y B (derecha). Planta tipo (abajo)
Fuente: Autores, 2022.

Se realiza un análisis comparativo de la situación real con las y la situación hipotética sin obstrucciones, de manera de poder cuantificar el impacto de las sombras inter-torres, representado en 2 métricas de análisis: Autonomía de iluminación natural (Spatial Daylight Autonomy- sDA) y la Exposición de Solar anual (Annual Sunlight Exposure- ASE). sDA describe cuánto un espacio recibe suficiente iluminación natural. Específicamente describe el porcentaje de la superficie que recibe, al menos 300lux al menos el 50% anual de las horas de ocupación típicas. ASE describe cuánto un espacio recibe mucha luz directa que pueda causar incomodidad visual (i.e., problemas de encandilamiento). Específicamente, ASE mide el porcentaje de la superficie que recibe al menos 1,000 lux for lo menos 250 de las horas de ocupación por año. Los niveles de autonomía (sDA) se alcanzaría con un mínimo de 50%, mientras que los de ASE con un máximo de 10%.

2 Resultados

2.1 Conos de sombra en el contexto inmediato

El cono de sombra generado por las torres abarca aproximadamente 50.000 m² (5 veces el área del predio que las contiene). En los horarios que alcanzan una mayor longitud, los conos se extienden aproximadamente hasta en 130 mts. en verano y 200 mts. en invierno.

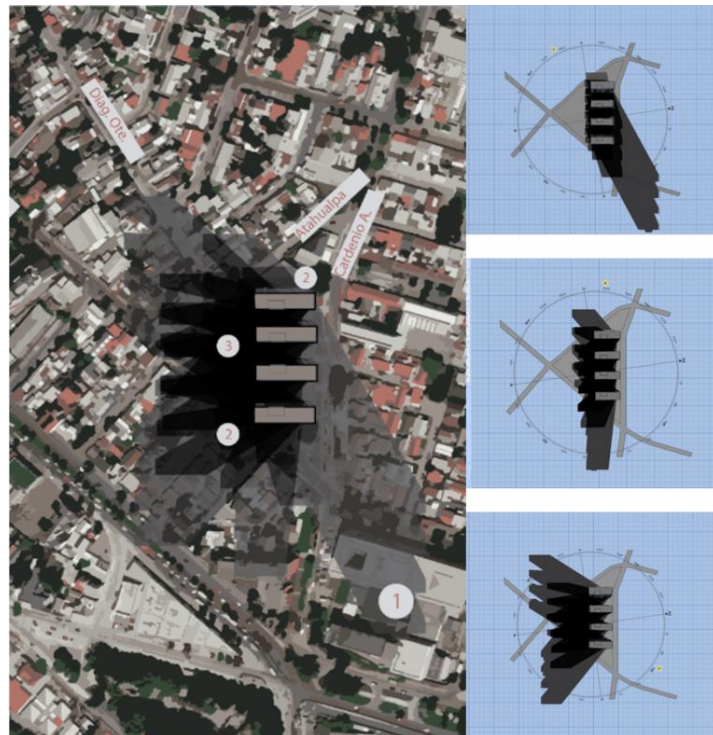


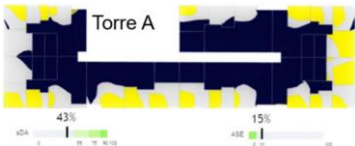
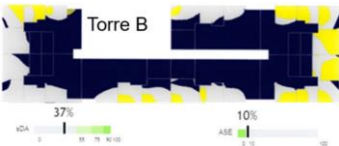
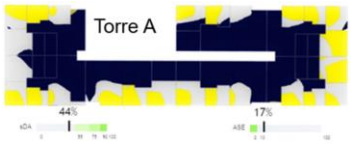
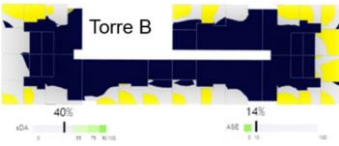


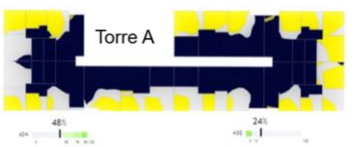




Figura 3. Estudio de conos de sombra, elaborado mediante herramienta online Sun Path. Se realiza un conglomerado de los resultados arrojados por dicha herramienta entre las 9 y 18 hrs, en intervalos de 90 minutos, para el solsticio de verano, equinoccio, y solsticio de invierno respectivamente. Fuente: Autores, 2022.

Las sombras recaen sobre: (1) Equipamiento de salud (hospital), (2) equipamientos educativos (una escuela de lenguaje y una escuela básica), (3) tres calles circundantes; áreas públicas y recreativas correspondientes al área verde propia del condominio, (4) viviendas unifamiliares de las cuadras circundantes, (5) unidades de departamentos afectadas por las obstrucciones debido a su proximidad entre sí. En cuanto a espacios residenciales, las sombras recaen sobre 456 viviendas, de las cuales 363 pertenecen al mismo conjunto habitacional.

2.2 Iluminación natural

Los resultados del desempeño de iluminación natural de las torres para la situación actual (real) y la hipotética (sin torre vecina) son ilustrados en la Tabla 1. Se observa que la situación hipotética es igual a la de los pisos superiores en ambas torres, esto debido a que aquellos pisos no se ven afectados por obstrucciones. La Torre A ve disminuido su SDA hasta 5% en pisos inferiores por la influencia de la torre vecina. La Torre B ve disminuido su SDA en 11% en pisos inferiores por la sombra producida por sus dos torres vecinas.

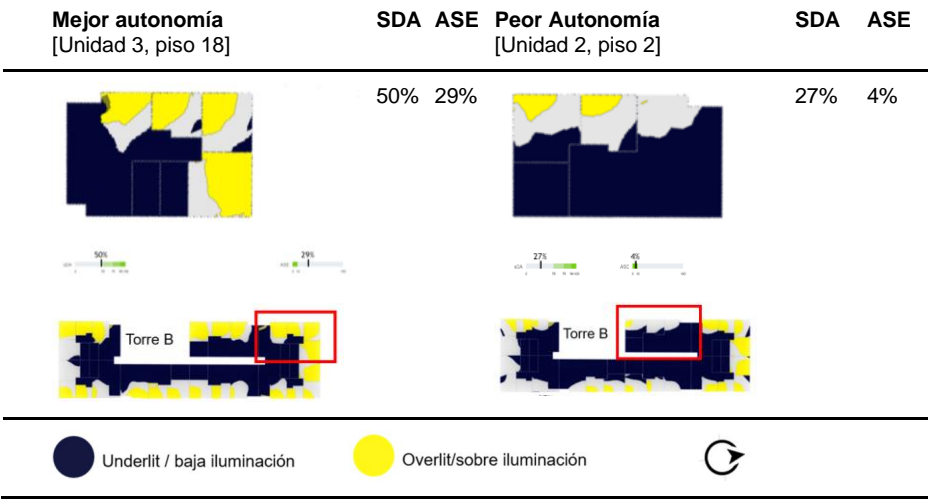
Tabla 1. Resultados de sDA y ASE para los pisos 2, 9 y 18 de las Torres A y Torre B (Situación Real) y situación hipotética (igual a Piso 18 de ambas torres). basados en análisis de Sefaira. Fuente: Autores, 2022.

	Situación Real Torre A	sDA ASE	Situación Real Torre B	sDA ASE
Piso 2		43% 15%		37% 10%
Piso 9		44% 17%		40% 14%
Piso 18		48% 24%		48% 24%
	Situación Hipotética (sin torres vecinas)	sDA ASE	Situación Hipotética (sin torres vecinas)	sDA ASE
		48% 24%		48% 24%
	 Underlit / baja iluminación		 Overlit/sobre iluminación	

En una segunda instancia, se identifican las unidades residenciales que presentan el mejor y peor desempeño en cuanto a autonomía de iluminación

natural, las cuales se encuentran en el piso más alto y el más bajo, respectivamente. Tabla 2 ilustra unidades representativas de ello. Con orientación norte, en los pisos más alto son las unidades que tienen el nivel más cercano a la autonomía de luz natural es la unidad 3 del piso 18 con SDA de 50%, aunque con un ASE de 29%. La unidad de orientación poniente en el piso más bajo (unidad 2, piso 2) resultó con SDA de 27% y ASE 4%.

Tabla 2. SDA y ASE para las dos unidades residenciales de las torres en estudio, basados en situación actual y resultados del análisis lumínico en Sefaira en una síntesis anual. Fuente: Autores, 2022.



3 Discusión

El cono de sombra del conjunto de torres sobre su contexto inmediato afecta el acceso solar de 456 viviendas, así como del equipamiento de salud y educacional. Esto resulta especialmente preocupante, considerando los beneficios del sol asociados a la salud y regulación de ciclos biológicos y de bienestar. Además, se produce una privación al acceso a la radiación solar para calefacción pasiva, control de la humedad al interior de las viviendas, secado de ropa, o simplemente acceso a vitamina D, además de sus implicancias en iluminación natural. Finalmente, el cono de sombra implica la pérdida energética activa, al bloquear la radiación solar sobre algunos paneles solares ya existentes en techumbres. La afección alcanza su mayor despliegue en los meses de invierno, periodo donde el acceso a los beneficios solares resulta máspreciado.

En cuanto a las condiciones lumínicas de los pisos analizados, se pueden observar diferencias en la autonomía de iluminación (SDA) de entre 1 y 8 puntos porcentuales. Los pisos superiores de las torres tienen igual desempeño que el caso hipotético al no ser afectados por los conos de sombra. Estos alcanzan un SDA de 48% (2% debajo del mínimo) y un ASE de 24% (14% sobre el máximo). Con la influencia de las torres vecinas, se puede estimar que la pérdida de autonomía en los pisos afectados es de 6 y 10 puntos porcentuales a la mitad de la torre (piso 9 Torre A y B, respectivamente), y en 7 y 13 puntos porcentuales en el piso más afectado por las sombras (piso 2 Torre A y B, respectivamente). Si bien las sombras contribuyen al exceso de iluminación, el piso en su conjunto aún se encuentra sobre los niveles máximos, debido a la falta de un adecuado control lumínico de las unidades orientadas al norte. Se podría deducir con ello que hay potencialmente sobrecalentamiento en dichas situaciones.

Además, se refuerza que los departamentos ubicados hacia el centro de la torre (unidades 2, 5 y 6), y especialmente mirando hacia los edificios contiguos, son los más afectados por las sombras desplegadas, con autonomías menores, lo cual se traduce en mayor dependencia a la iluminación artificial, y consecuentemente consumo eléctrico.

En lo relativo a la exposición solar anual (ASE) los resultados muestran que la obstrucción generada por las torres contiguas ejerce el control de la exposición a la luz directa, esto ocurre a costo de la autonomía de iluminación solar, y consecuente acceso a radiación solar directa. En este sentido, si bien Cárdenas (2016) refuerza la idea de que las obstrucciones solares no necesariamente son negativas, al ayudar a controlar situaciones de sobre-iluminación en los espacios habitables, el hecho de que esta especie de "control solar" generado por los edificios en altura sea permanente e inamovible, ocasiona más problemas que beneficios. En este sentido, el problema de la sobre-iluminación de los espacios, podría ser controlado a través de un diseño de fachada eficiente, que permita tamizar la luz natural, más allá de bloquearla completamente.

Finalmente, las unidades identificadas con el mejor y peor desempeño en cuanto a la autonomía de iluminación se encuentran en el piso más alto y el más bajo, respectivamente. Las unidades con orientación norte, en los pisos más alto son las unidades que tienen el nivel más cercano a la autonomía de luz natural con 50%, aún están con un ASE de 29%, aún 19 puntos porcentuales sobre el máximo. En este caso, el exceso de iluminación podría ser controlado por sistemas de control en fachada. La unidad con el peor desempeño de autonomía, resultó con un SDA del 27%, 23 puntos porcentuales bajo el mínimo debido a la obstrucción de la torre vecina, aunque ésta le provee del control para exceso de iluminación con ASE 4%. En estos

casos, no hay posibilidades de mejorar las condiciones por tratamientos de fachadas, al existir un bloqueo exterior producido por las torres vecinas.

4 Conclusión

Este estudio explora el alcance y las consecuencias de la verticalización en relación al acceso solar e iluminación natural. El análisis del caso de estudio que resulta emblemático, debido a sus características de emplazamiento y morfología, que se ha reiterado en varias ciudades del país. Puntualmente, el análisis de proyección de sombra y el estudio de su despliegue, ha permitido concluir que los perjuicios en el acceso solar no se limitan sólo al espacio circundante, como lo son las viviendas de menor altura y el equipamiento a su alrededor, sino que también generan obstrucciones y privaciones de los beneficios solares dentro del mismo conjunto habitacional y sus áreas verdes.

Respecto a las condiciones lumínicas al interior del conjunto, se determinó que ninguna de las unidades analizadas alcanza ni la autonomía con luz de día, ni el confort asociado al exceso de iluminación. Si bien las torres vecinas pueden favorecer al control de la exposición a la luz solar evitando problemas de deslumbramiento, esto no constituye una solución apropiada ya que, de todas maneras, ninguna de las unidades logra alcanzar los niveles de autonomía de iluminación. Esto implica que muchas de las unidades dependerían de la iluminación artificial, creando un costo energético que podría haber sido evitable.

El diagnóstico de estas problemáticas, tanto al interior como al exterior del condominio, refuerza la necesidad de replantear la forma en que crecen las ciudades, en un contexto de búsqueda de vías sostenibles, donde la densificación pueda ser desarrollada de manera más consciente y planificada. Además, resulta imperativo desarrollar nuevas regulaciones, que complementen las normativas asociadas al asoleamiento, y reconozcan de manera efectiva la importancia del acceso solar y la captación de este recurso. En este sentido, resulta contraproducente el hecho de fomentar, a través de discursos y financiamientos, la integración de colectores solares, junto con la necesidad de reducir el consumo energético (y, por consiguiente, reducir la huella de carbono) mientras no se entreguen garantías mínimas de acceso al sol.

Este diagnóstico, sin embargo, abre otras interrogantes que podrían trabajarse en estudios futuros, en especial a radiación solar afectada tanto fuera como al interior de las torres; al costo monetario que significa la dependencia a la luz artificial y consumo energético, así como el alcance en términos de confort interior no solo relativo a la iluminación, sino también

integrando confort higrotérmico y aspectos cualitativos como la percepción de las personas.

References

- Cárdenas, L. y Uribe, P. (2012). Acceso solar a las edificaciones. El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo*, 26, 21-41. <https://revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/view/20922>
- Cárdenas, L., Vásquez, J., Zamorano, J., Acevedo, C. (2016). Explorando luz solar en modelos de desarrollo inmobiliario. Aplicaciones en cinco ciudades chilenas. *Revista de Urbanismo*, 34, 158-173. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2016.40394>
- García, F. (2012). Densificación con criterios de soleamiento. Un método gráfico para el cálculo de áreas adecuadas para nueva edificación en entornos construidos en el caso de Zabalgana en Vitoria-Gasteiz. Trabajo presentado en 11º Congreso Nacional del Medio Ambiente. España. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/3108/dcs.pdf?sequen=1&isAllowed=y>
- Gómez, J y Mesa, A (2017). Determinación de densidades urbanas sostenibles en base a metodología relativa al acceso solar: caso área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista de Urbanismo*, 36, 131-145. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2017.44367>
- Inzulza, J., Vargas, K y Wolff C. (2017). Acceso solar: un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile. *Revista 180*, 39, 1-15. <http://www.revista180.udp.cl/index.php/revista180/article/view/283>
- Knowles, R. (2003) The solar envelope: its meaning for energy and buildings. *Energy and buildings*, 35, 15-25. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00076-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00076-2)
- Marsh, A. (2022). 3D Sun Path. Plataforma virtual. <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>
- Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación (1949). Decreto 884. Reemplaza Ordenanza General de Construcciones. Ministerio de Obras Públicas y Vías de Comunicación. Chile. <http://bcn.cl/317yz>
- MINVU. (2020). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Chile. <https://www.minvu.cl/wp-content/uploads/2019/05/OGUC-Junio-2020-D.S.-N°32-D.O.-13-06-2020>
- Muñoz, M. (1995). El plan regulador de Concepción – 1960. *Arquitecturas del sur*, 12, 22-28. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/AS/article/view/937>
- Pérez, L., González, G., Villouta, D., Pagola, L. y Ávila, C. (2019). Procesos de reestructuración y verticalización en el centro de Concepción: Barrio Condell. *Revista de Urbanismo*, 41, 1-17. <http://dx.doi.org/10.5354/0717-5051.2019.53926>

Trimble (2022) Sefaira for Sketchup. Extensión de software.
<https://www.sketchup.com/es/products/sefaira>

Vergara, D. (2015). Estudio de sombra en edificación habitacional de altura en Concepción para comprobar la factibilidad de la ordenanza en ámbito de iluminación. Seminario de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía. Universidad de Concepción.