

Desarrollo de Conjuntos Mixtos para la Autonomía Energética e Integración Social

García-Alvarado, Rodrigo
Universidad del Bío-Bío, Chile

Zalamea León, Esteban
Universidad de Cuenca, Ecuador

Nope Bernal, Alberto
Universidad La Gran Colombia, Colombia

Sosa Ibarra, Daniel
Universidad de la República de Uruguay

Resumen

El desarrollo de un hábitat humano sostenible implica diversas aristas a compaginar. El desarrollo de edificaciones con uso mixto es importante para lograr comunidades con interacción social constante y con distintos ocupantes entrelazados en la vida cotidiana. Pero además está una importante ventaja desde el punto de vista energético, dado que usos diversos al integrarse, pueden lograr un balance en consumo temporal, considerando que unas edificaciones y ocupaciones demandan mas energía en ciertos momentos, y otras en otros, lo que permite acoplarse mejor con tecnologías de generación local que son intermitentes como la solar activa, térmica y fotovoltaica. Este trabajo analiza capacidades de generación y consumo energético temporal en edificaciones de vivienda, educación y sanidad, en Concepción, Chile, integrándolas en una comunidad proyectada, determinando su capacidad de auto-abastecimiento energético. Los resultados muestran que la vivienda e infraestructura educativa tienen un potencial geométrico de auto aprovisionamiento total y que pueden eventualmente contribuir con infraestructura de mayor demanda, como la de salud que, si bien alcanzaría a auto abastecerse en totalidad, está a limite y puede requerir alimentación energética

adicional. Se concluye que estas tres tipologías integradas poseen un potencial de autoabastecerse al integrarse en comunidad, existiendo capacidad para una mayor generación que permita por ejemplo alimentar otros usos u complementarios como transporte. Evidenciando que conjuntos mixtos, es decir, la colaboración funcional y energética posee un gran potencial arquitectónico de sustentabilidad e integración social.

1. Introducción

El crecimiento desmesurado de las ciudades, especialmente en los países latinoamericanos, donde el porcentaje de población urbana asciende al 80,7% (UN 2019), con una masificación de construcciones individuales, ha impulsado la crisis ambiental y social. Frente a lo cual se han planteado mejoramientos en materialidad, uso de fuentes renovables y programas comunitarios. Este trabajo expone resultados de evaluación energética de diferentes tipologías arquitectónicas en la ciudad de Concepción, Chile, con el fin de proponer conjuntos mixtos que compartan alimentación energética y promuevan la relación de funciones para la integración social. La ciudad de Concepción es la principal área urbana del sur de Chile, con más de un millón de habitantes en la costa del Océano Pacífico (latitud 36°49'37''S y longitud 73°02'59''O),

presenta una radiación solar global horizontal de 1642,5 kWh/m²-año y un clima templado-húmedo de temperatura media anual de 13°C. Su desarrollo urbano ha generado una demanda creciente de energía en los edificios, principalmente destinada a calefacción y basada mayormente en fuentes carbonizadas (CDT, 2010). El país ha impulsado acciones de eficiencia energética y de integración solar activa, sin embargo, se requieren adecuadas condiciones arquitectónicas.

Este trabajo compila resultados del potencial energético de la comuna central de la ciudad y de tres tipologías recurrentes; vivienda unifamiliar, establecimientos escolares y de salud. A partir de una caracterización morfológica-constructiva, registro de consumos y ocupación, simulación temporal de demandas y auto-alimentación energética con sistemas solares activos fotovoltaicos (en adelante PV) y solar térmicos (en adelante ST), planteando un modelo urbano y diseños representativos de cada tipología arquitectónica, para el desarrollo de agrupaciones combinadas de residencias y servicios.

2. Análisis urbano

Se elaboró un modelo digital del suelo y edificaciones de la comuna central de la ciudad, que abarca 2.100 ha, para realizar un análisis solar de sombras y radiación recibida tanto en fachadas como en cubiertas.

Además, se recopilieron registros estadísticos de consumo energético de los distintos tipos de construcciones y se instaló un banco de ensayos de paneles solares térmicos, fotovoltaicos e híbridos para revisar sus desempeños tecnológicos.

El análisis solar identificó una alta capacidad de recolección activa en las cubiertas de las zonas residenciales periféricas, especialmente en periodos diarios y veraniegos, que superan sus demandas individuales; y una capacidad parcial en las zonas centrales con oficinas, servicios y viviendas multifamiliares en altura, en particular en horarios vespertinos y estacionales. Determinando un potencial solar bruto de 3.883 GWh-año y un consumo total de energía de 3.180 GWh, lo que permite una auto-alimentación completa de la ciudad, redistribuyendo la energía recibida y consumida entre los distintos sectores. Pero considerando la capacidad de los sistemas, el potencial de energía solar neta es de 2.565 GWh, que cubre el 87% de la electricidad (622 GWh) y el 78% (1,943 GWh) de la demanda de energía térmica, respectivamente. Además, el límite horario de auto-consumo por la red es 73 MWh, que corresponde a 95 GWh de electricidad, es decir 13% de la demanda total de energía (Wegertseder et al, 2016). Este problema podría resolverse mediante la conversión de energía eléctrica a térmica, pero involucra mayores costos de almacenamiento y pérdidas de transmisión.

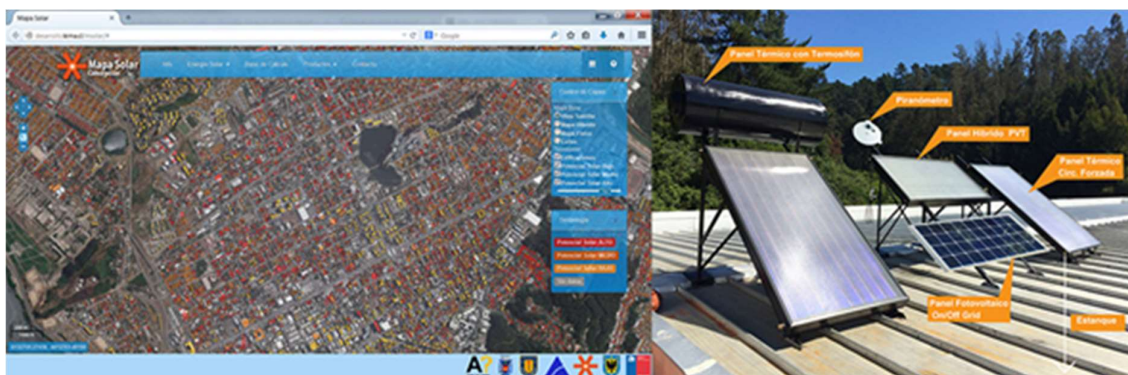


Fig.1. Mapa Solar de Concepción (izq.) y Banco de Ensayes de Paneles (derecha). Fuente: Autores.

Por otro lado, las tecnologías de captación solar disponibles demuestran una eficiencia razonable (del 13 al 18%), pero los productos son escasos y con una industria emergente; sin embargo el crecimiento es promisorio, especialmente la tecnología PV con reducción de costos consistentes en los últimos diez años, especialmente en micro-proyectos de auto-abastecimiento (IEA, 2019). Así mismo, los incentivos públicos para instalaciones solares están focalizados a conjuntos nuevos con gestiones prolongadas, y el sistema privado carece de respaldos financieros o profesionales, por lo que su aplicación es escasa. Con el fin promover el uso de fuentes renovables domiciliarias, durante esta investigación se elaboró un mapa de la ciudad en internet, indicando el potencial solar de cada unidad residencial, y sus posibilidades de instalación y ahorro energético, además de un sitio para sugerir la integración arquitectónica de paneles solares en las techumbres (Fig.1). Complementariamente se elaboró un prototipo constructivo para difusión en eventos y zonas públicas.

3. Viviendas

Las viviendas unifamiliares abarcan cerca del 80% de las tipologías residenciales de la ciudad, mayormente en conjuntos inmobiliarios con diseños repetitivos de uno o dos pisos. Los cuales poseen formas aisladas desde 60 a 200 m², con un primer nivel de albañilería reforzada y un segundo de estructura liviana, y techumbres inclinadas de cubiertas de fibrocemento o acero. Según las estadísticas recopiladas las viviendas presentan una ocupación media de cuatro personas, en periodos mayormente nocturnos y de fin de semana, con un consumo cercano a los 10.000 kWh/año por unidad residencial (generando aprox. 7 ton. CO₂), dedicado mayormente a calefacción invernal con leña y alimentación eléctrica permanente, obteniendo un confort limitado, con temperaturas bajas, alta humedad, y contaminación interior.

Las simulaciones energéticas de modelos habitacionales en esta zona han determinado una reducción considerable de las demandas, con periodos extensos de confort; fundamentalmente al aplicar una mayor aislación térmica y hermeticidad de la envolvente vertical y techumbre, además de utilizar volúmenes más compactos y con mayor abertura al costado soleado (CDT, 2010). Así mismo, el estado ha desarrollado programas de rehabilitación de viviendas, certificación ambiental voluntaria y nuevas normas constructivas, pero su aplicación es limitada y los logros han sido parciales.

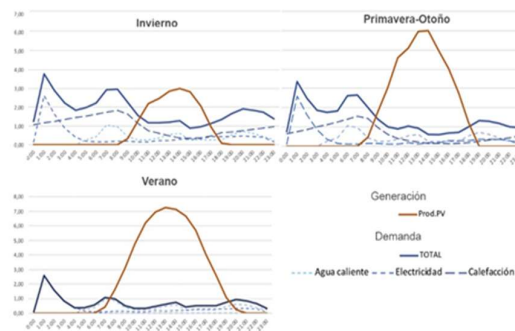


Fig.2. Gráficas de Demanda y Generación Energética de Vivienda Unifamiliar Seleccionada en Días Típicos del Año. Fuente: Autores.

En el estudio de integración de equipos de captación solar activa para viviendas unifamiliares se revisaron diferentes equipos y formas de techumbres, con medidas de mejoramiento constructivo, detectando una mayor capacidad de los sistemas combinados PV/ST en cubiertas de alas extensas al costado soleado. Logrando en estos casos una cobertura hasta del 251% de la demanda energética, pero con un alto desbalance temporal y diario, alcanzando menos de la mitad de la alimentación directa (Zalamea-León & García-Alvarado, 2018). Por tanto, se debe compensar con contribución y retribución a la red urbana, lo que se acaba de autorizar en el país con una ley de net-billing, pero con una gestión demorosa y un descuento sustancial. En cuanto a sobre-generación ST es difícil aprovechar o recuperar, ya que no se dispone sistemas

distritales, que permitiría conservar parcialmente la energía (Lumbreras et al, 2018). Complementariamente se puede considerar almacenamiento temporal, aún costoso e implica pérdidas. Además, es factible alimentar un vehículo eléctrico que puede considerarse como una carga residencial (Doroudchi et al, 2018), considerando el uso diario familiar. En la Fig. 2 se grafican las curvas de producción demanda en días típicos de verano, invierno y temporada interestacional, suponiendo la carga promedio de un auto eléctrico con un recorrido diario de 30 km con una eficiencia de 6 Km/kWh, solamente con integración PV. Bajo esta consideración, el potencial de autoabastecimiento se estima 120% respecto a demandas residenciales más transporte, aunque el desbalance estacional refleja en día de verano una sobreproducción del 334% y en invierno el autoabastecimiento cubriría un 42%.

clínicas y centros de salud pública primaria. Estos últimos corresponden a la tipología más prevalente y constituyen edificios de uno a tres pisos, con superficies que oscilan de 1.000 a 3.000 m² para atender de 5.000 a 30.000 pacientes, en un volumen con uno a tres patios, y construido en hormigón armado, con revestimiento térmico adicional y vanos dispersos (Fig. 3). Poseen un consumo energético de 50 a 200 kWh-año/m², según la zona climática y mayormente destinado a iluminación y climatización diurna. De acuerdo con las evaluaciones energéticas realizadas un incremento de la resistividad térmica de muros y ventanas, además de luminarias y calderas más eficientes, permiten disminuir hasta la mitad de las demandas, con un confort regular (Forcael et al, 2019). Los requerimientos restantes se pueden suplir con la instalación de sistemas PV adaptados en un 40% al 80% de la cubierta, dependiendo de la radiación



Fig.3. Modelo de Centro de salud pública primaria.

4. Establecimientos de Salud

Los establecimientos de salud son los servicios con mayor consumo energético de la ciudad (15% de total), con cerca de 300 edificios y 265.000 m² construidos, entre hospitales,

5. Establecimientos Educativos

La comuna central de Concepción posee 83 establecimientos educativos (superiores, medios y básicos) con 1.542 construcciones y 403.296 m² de cubiertas. Conformados principalmente por pabellones de aulas en uno a tres pisos, en torno a patios centrales, con muros de hormigón armado y cubiertas

disponible. Los centros de salud que equilibran mejores prestaciones energéticas y recolección solar poseen un factor de compacidad de 0.44 a 0.54 para establecimientos de 5.000 a 20.000 usuarios, y de 0.31 a 0.43 para 20.000 a 30.000 usuarios, alcanzando un auto-abastecimiento casi completo, con una inversión adicional recuperable en plazos de 15 a 20 años.

inclinadas de fibro-cemento o metálicas. Según los registros existentes los establecimientos básicos y medios consumen alrededor de 11 kWh-año/m² y los universitarios 43 kWh-año/m², mayormente en iluminación, con muy escasa climatización.

Se realizaron simulaciones energéticas y una optimización paramétrica de distintas formas arquitectónicas con integración de paneles PV en techumbres, que permitieron determinar la máxima recolección anual para acimut norte y 25° de inclinación, y en Julio –mes de mayor consumo– para acimut norte y 51° de inclinación. Considerando el escenario vigente de la Ley de net-billing y una hipótesis de facturación eléctrica anual igual a cero, se puede estimar para cubrir todo el consumo energético de una escuela básica de una planta, basta con instalar paneles en cubierta con una superficie equivalente al 18% de la planta, y para 2, 3, y 4 pisos, al 36%, 53% y 71% respectivamente. Para educación superior, por su mayor consumo, requieren para una, dos o tres plantas, cubrir un 25%, 50% o 74% respectivamente, pero siempre con importantes excedentes energéticos de acuerdo a la hipótesis considerada (Sosa-Ibarra y García-Alvarado, 2018). Esto implica que pueden asumir su auto-abastecimiento con PV

integrados arquitectónicamente, y por ende mejorar las condiciones de climatización y confort con paneles en las superficies restantes o aumentando la aislación térmica de muros, para compensar acciones activas y pasivas. Además, la alimentación solar en periodos diarios sin ocupación escolar (fines de semana o vacaciones de verano), o la instalación en la cobertura restante, puede cubrir requerimientos adicionales, como gimnasios, salas de reunión o cafeterías que funcionen para actividades comunitarias, o incluso para viviendas aledañas, que para compartir conexión según las normativas vigentes deberían pertenecer a un mismo propietario (Fig.4). Aunque no se disponen de regulaciones o programas que faciliten estas instalaciones en los propios establecimientos nuevos o existentes, o planes de financiamiento. Sin embargo, las morfologías arquitectónicas de los edificios escolares pueden ser adecuadamente adaptadas a una mayor captación solar activa y pasiva.



Fig.4. Modelo de Escuela de superficie de cubierta promedio con alimentación vecinal a viviendas. Fuente: Autores.

6. Conclusiones

Este estudio energético de tipologías residenciales y servicios de la ciudad de Concepción revela que pueden reducir cerca de la mitad de sus demandas e impacto ambiental y mejorar su calidad interior, mediante adiciones constructivas menores e integrando

tecnologías PV y ST en las techumbres o fachadas soleadas. Se identifican también algunas formas arquitectónicas que poseen mejores desempeños ambientales, por compacidad, orientación y extensión volumétrica, y que logran recolectar mayor energía que la requerida anualmente en cada

edificio. Aunque con periodos con mayor generación que demanda, y otros con mayor demanda que generación, por lo que se requiere almacenar o compartir en red para compensarlos.

Sin embargo, se advierte también que se carece de infraestructura adecuada para distribuir o acumular la energía, y de apoyos para impulsar las morfologías adecuadas, las adaptaciones constructivas e instalación de sistemas solares activos, debido a los costos financieros y escasez de capacidades técnicas, que son particularmente difíciles de asumir de manera individual por cada vivienda o establecimiento. Por lo que se sugiere desarrollar conjuntos mixtos, que combinen residencias y servicios, para compartir los requerimientos y aportes de energía recolectada de manera local, y promover la gestión comunitaria de estos mejoramientos ambientales (Fig. 5).

Las diversas tipologías poseen distintos periodos de ocupación; la infraestructura educativa o médica poseen picos de consumo en el día, mientras las residencias mayormente temprano en la mañana y primeras horas nocturnas. Con mejoras técnicas y redes inteligentes, las superficies de techos con paneles PV/ST puede generar incluso excedentes, para alcanzar comunidades cercanas a Net-Zero, es decir neutrales energéticamente (Hachem-Vermette et al, 2018). Conformando volúmenes arquitectónicos apropiados para la captación solar y reducción de demandas, y relacionar funciones diferentes de residencia y servicios. Incluso en edificaciones unifamiliares se puede cubrir por completo considerando la carga de un vehículo eléctrico, no obstante, en este escenario la producción alcanza sobre tres veces el consumo y en invierno no alcanza a la mitad.

Esta estrategia de conjuntos mixtos con distribución compartida de energía, requiere una gestión conjunta, preferentemente a través de entidades que posean la propiedad, o al menos una administración colectiva. Como pueden ser municipios, cooperativas o empresas sociales, que administren establecimientos y viviendas para funcionarios. También se requiere planificación urbana, áreas que permitan usos combinados, con trazados viales y redes independientes.

La combinación de actividades permite también integrar otras funciones con distintos horarios, como comercio local, guarderías infantiles, hogares de ancianos, locales deportivos u otros, con una programación comunitaria. Lo que requiere comunicación y proyección entre los residentes y administradores, que puede motivar una organización y vinculación en otras instancias, como la atención familiar, integración laboral, seguridad, transporte, alimentación, salud, etc. También el conocimiento colectivo y experiencia colaborativa ayuda para enfrentar dificultades o catástrofes. El vincular espacialmente grupos de distintas edades en un mismo lugar, donde interactúen niños con adultos y ancianos, promueve además la interrelación comunal. Del mismo modo, desde la perspectiva del abastecimiento energético, la mitigación y autonomía energética permitirá operar regularmente en cortes o deterioros. A su vez, la gestación y desempeño ambiental de los conjuntos entregará una motivación por actitudes sostenibles en comportamientos de alimentación, reciclaje, movilización etc. De modo, que estas condiciones de diseño combinado, aunque requieren adecuaciones técnicas y operacionales, entrega una poderosa perspectiva de sustentabilidad e integración social.

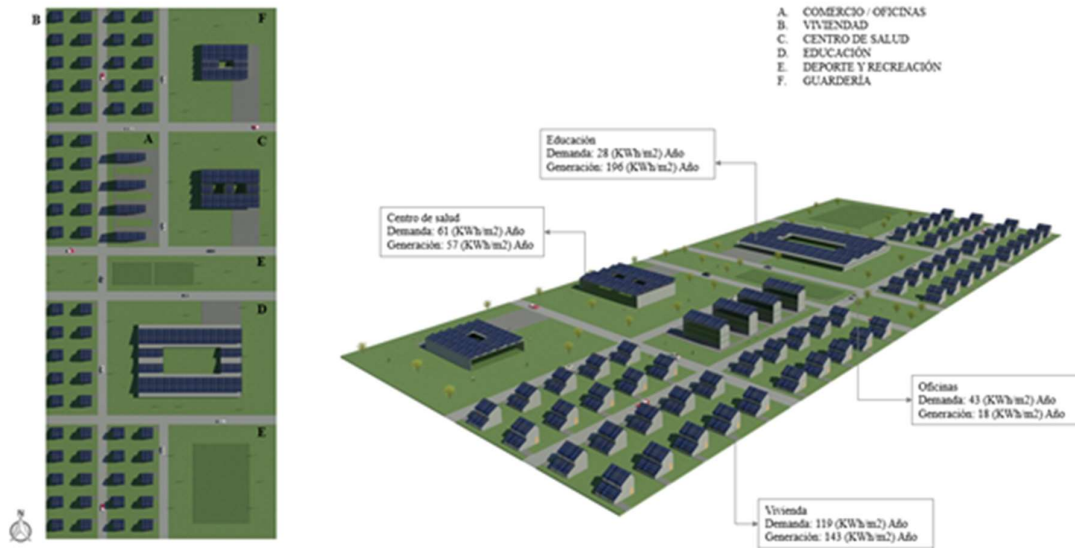


Fig.5 Imagen Conceptual de Conjuntos Mixtos. Fuente: Autores.

Referencias

1. Doroudchi, E., Alanne, K., Okur, Ö., Kyyrä, J., & Lehtonen, M. (2018). Approaching net zero energy housing through integrated EV. *Sustainable Cities and Society*, 38, 534–542.
2. Forcael, E.; Nope, A.; García-Alvarado, R.; Bobadilla, A.; Rubio-Bellido, C. (2019) Architectural and Management Strategies for the Design, Construction and Operation of Energy Efficient and Intelligent Primary Care Centers in Chile. *Sustainability* 11, 464.
3. Hachem-Vermette C., Guarino F., La Rocca V., Cellura (2019) Towards achieving net-zero energy communities: Investigation of design strategies and seasonal solar collection and storage net-zero, *Solar Energy*, 192, 169-185
4. IEA (2019) Renewables Information: Overview, International Agency of Energy, Paris, 1-12
5. Lumbreras M., Garay R., Martin K, (2018) Unglazed Solar Thermal Systems for Building Integration, coupled with District Heating Systems. *Journal of Façade Design & Eng.* Vol. 6-2, 121-135
6. Sosa-Ibarra, D., García-Alvarado, R. (2018). Forma arquitectónica e integración fotovoltaica en edificios educacionales de Concepción, Chile. *AUS* (24), 67-75
7. United Nations, (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations.
8. Wegertseder P, Lund P., Mikkola J., García-Alvarado R. (2016) Combining solar resource mapping and energy system integration methods for realistic valuation of urban solar energy potential, *Solar Energy* 135, 325-336.
9. Zalamea-León, E., García-Alvarado, R. (2018). Integración de captación activa y pasiva en viviendas unifamiliares de emprendimientos inmobiliarios. *Ambiente Construido*, 18(1), 445-461