

# BARRIOS RESILIENTES ENERGÉTICAMENTE EN VIVIENDAS SOCIALES: LA RECONSTRUCCIÓN POST-INCENDIO EN EL CERRO LAS CAÑAS DE VALPARAÍSO<sup>1</sup>

Claudia Paz Acevedo Saavedra<sup>2</sup> y Luz Alicia Cárdenas-Jirón<sup>3</sup>

## Resumen

El gran incendio de Valparaíso del 2014 generó graves consecuencias para las zonas urbanizadas de los cerros, debido a su débil infraestructura urbana y poca accesibilidad, afectando a la población más vulnerable de la ciudad. Se analiza a una escala estatal, no local, la propuesta de “vivienda social” para la reconstrucción, impulsada por el MINVU, la cual permite explorar la manera en que Estado aborda estos procesos de reinención urbana y si estos integran el territorio y la energía solar como estrategias de aprovechamiento energético, amparados bajo la existencia de la ley 20/25. Su incorporación permitiría que la reconstrucción

# SOCIAL HOUSING IN ENERGY RESILIENT NEIGHBORHOODS: POST-FIRE RECONSTRUCTION IN CERRO LAS CAÑAS, VALPARAÍSO<sup>1</sup>

Claudia Paz Acevedo Saavedra<sup>2</sup> & Luz Alicia Cárdenas-Jirón<sup>3</sup>

## Abstract

*The 2014 great Valparaíso fire had serious consequences on the urban areas of local hills as the result of their weak urban infrastructure and poor accessibility, thus affecting the most vulnerable population in the city. From a State perspective, this paper analyzes the “social housing” reconstruction proposals promoted by the Ministry of Housing and Urban Development (MINVU). This exercise enables us to explore how the State addresses these urban reinvention processes and corroborate if they include the territory and solar power as energy-use strategies according to Act No. 20/25. From a systemic*

aportara a la resiliencia energética de Valparaíso desde un punto de vista sistémico. Se seleccionó al Cerro Las Cañas por sufrir las mayores consecuencias del incendio y se realizaron simulaciones de radiación en tres fragmentos urbanos representativos, analizando viviendas propuestas dentro del plan estatal. El trabajo de campo indicó que la tendencia de los habitantes es repetir los patrones de asentamientos previos al incendio, sin incorporar la experiencia, mientras que el análisis revela una factibilidad para la incorporación de la captación solar, en cuanto a la energía disponible y los costos asociados, lo que en suma potenciaría la resiliencia energética del territorio.

**PALABRAS CLAVE:** ENERGÍA SOLAR, RECONSTRUCCIÓN, DISEÑO URBANO, VALPARAÍSO, RESILIENCIA ENERGÉTICA.

Recibido: 07-03-2016

Aceptado: 20-07-2017

*approach, the inclusion of these strategies would enable the reconstruction process to contribute to the energy resilience of Valparaíso. This paper focuses on Cerro Las Cañas as this was the area most affected by the fire; likewise, this study conducted a radiation simulation analysis in three representative urban areas and examined the provision of housing as defined by the State plan. The field work suggests that local residents are replicating the same settlement patterns used before the fire, disregarding the experience factor and the analysis reveals the possibility of implementing solar energy collection methods in terms of available energy and associated costs, thus increasing local energy resilience.*

**KEYWORDS:** SOLAR ENERGY, RECONSTRUCTION, URBAN DESIGN, VALPARAÍSO, ENERGY RESILIENCE.

Received: 07-03-2016

Accepted: 20-07-2017

- 
- 1 Investigación desarrollada dentro del proyecto FONDECYT regular 1130-139, "Aprovechamiento energético solar en fachadas de edificios integrando el entorno urbano. Análisis de su funcionamiento en marcos regulatorios OGUC y *Net Metering* aplicados a ciudades del centro sur de Chile". Investigador responsable Luz Alicia Cárdenas Jirón.
  - 2 Chile. Arquitecta, Universidad de Chile. Correo electrónico: acsv.arq@gmail.com.
  - 3 Chile. Profesor asociado, Departamento de Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad de Chile. Correo electrónico: lcardena@uchile.cl.

- 
- 1 This paper is based on Regular FONDECYT Project No. 1130-139 entitled "Solar Energy Use in the Facades of Buildings and their Integration into the Urban Environment. Analysis of their Operation under OGUC and Net Metering in Cities Located in Central-Southern Chile", led by Luz Alicia Cárdenas Jirón.
  - 2 Chile. Architecture Bachelor, University of Chile. Email: acsv.arq@gmail.com.
  - 3 Chile. Associate Professor, Department of Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Chile. Email: lcardena@uchilefau.cl.

## Introducción

El aprovechamiento solar en las techumbres de viviendas es un tópico actual ya implementado en numerosas ciudades chilenas, existiendo instrumentos de política pública para promover su uso. La franquicia tributaria para instalar colectores solares en viviendas sociales se implementó entre los años 2011 a 2013 y constituye un ejemplo de iniciativas estatales para su fomento (Ley 20.365, 2009). La vivienda en un entorno aislado y de baja altura es un enfoque común en licitaciones de proyectos nacionales que pretenden incentivar el uso de la energía solar, lo cual está centrado en la arquitectura *per se* (Faúndez, 2011). No obstante, una visión desde el urbanismo se hace necesaria, porque el entorno urbano de un barrio podría cambiar radicalmente las condiciones de asoleamiento o sombreado en él y por ende la calidad y costo de vida de sus pobladores. El empleo de la energía solar térmica o fotovoltaica para sistemas activos es una forma de generar energía limpia para proveer de ACS y electricidad. Adicionalmente, los sistemas pasivos basados en la energía solar permiten también un acondicionamiento climático en las viviendas, pero a un menor costo (Szokolay, 1983).

Por lo anterior, es importante estudiar desde la visión del urbanismo las relaciones espaciales tridimensionales en un asentamiento humano, definidas físicamente por tejidos urbanos que delimitan predios, manzanas y calles; espacio donde habitan las personas y promueven su uso, según el grado de habitabilidad urbana que el espacio posea. Steemers y Steanne (2004) cuestionan que el diseño del espacio se desligue del diseño ambiental, en donde la integración de ambos define el grado de confort<sup>4</sup> y habitabilidad que presente un espacio arquitectónico, el cual está determinado a su vez por el diseño urbano y las condiciones de asoleamiento, sombras y vientos que este defina.

Características como las distancias a las viviendas vecinas, pendientes de laderas, orientaciones cardinales respecto al asoleamiento, altura de las edificaciones vecinas u otros, producen obstrucciones solares y ventanas solares que es necesario considerar también en la planificación de los proyectos urbanos residenciales (Marsh, 1998). La razón de aquello es la posibilidad de captar energía solar en viviendas, sea para fines pasivos o activos, y así reducir la demanda de fuentes fósiles de energía contaminantes, reducir los costos energéticos de operación, disminuir el consumo energético por

---

4 El confort ambiental definido por Steemers & Steanne (2004) abarca dimensiones técnicas: térmico, visual-luminico y aureal, además de dimensiones psicológicas de adaptabilidad humana al entorno según sea su diversidad.

calefacción en invierno y aumentar la disponibilidad de emplear energía limpia.

Un aspecto particular tiene relación con la seguridad de abastecimiento energético frente a un desastre o situación de riesgo y respuesta posterior a la emergencia que permita continuar con las funciones básicas de una vivienda, como iluminación en patios y accesos durante la noche, calefacción natural de recintos habitados en invierno y agua caliente sanitaria. Por ello, el entorno urbano cobra relevancia al tratar el tema del aprovisionamiento de la energía solar en viviendas, particularmente aquellas de menos recursos en situaciones de alto riesgo antrópico.

Los hechos acaecidos en los cerros de Valparaíso el año 2014, con motivo de un voraz incendio incrementado por los vientos costeros y basurales de relleno - que sirvieron de combustible expandiendo el fuego hacia sectores poblados y cerros vecinos - constituyeron una catástrofe humana a considerar en una planificación urbana que aborde aspectos territoriales. La destrucción total de muchos barrios afectó a población de escasos recursos que esperó ayuda estatal para reconstruir el barrio, no solo en términos del tejido físico espacial, sino que también del tejido social.

En un contexto de reconstrucción de un asentamiento urbano, surge la interrogante: ¿es posible que el proceso de reconstrucción post-incendio en los cerros de Valparaíso pueda realizarse desde

una perspectiva sustentable, al integrar las condiciones del territorio, su topografía y el clima local en su diseño; cuyo resultado sea la incorporación de la energía solar que disminuya el costo de vida en barrios de vivienda social?

La reconstrucción puede ser percibida como una oportunidad para el Estado de rehacer viviendas sobre trazados urbanos previos que delimitan el dominio del espacio público sobre el espacio privado; cambiando condiciones de distanciamiento, alturas y constructibilidad que permitan la captación de energía solar tanto en las construcciones como en los espacios urbanos. En breve, reorientar su crecimiento según esquemas de planificación urbana que disminuyan la demanda energética y se adapten al cambio climático.

Sánchez afirma que son las ciudades de ingresos medios y bajos las que mayormente sufren los impactos del cambio climático y por ello, han de considerarse inversiones de infraestructura y medidas de mitigación a través de la planificación y el diseño urbano. El tema de la adaptación al cambio climático no estaría presente en la planificación actual del crecimiento de las ciudades (Sánchez, 2013, p. 10). Castillo (2014) declara que la política habitacional chilena “...*se organiza en torno a una relación tripartita donde no se reconoce el papel de los pobladores...*” y por ello tiene efectos negativos. En este sentido, la tendencia indica que se promueve una política de vivienda popular autogestionada

que continua con las condiciones de pobreza (Castillo, 2014, p. 108).

En virtud de ello, se plantea una investigación en los cerros afectados por el incendio de Valparaíso y expuestos a reconstrucción estatal de emergencia (Ministerio del Interior, 2014), en donde se analizará, desde una escala estatal, la propuesta de vivienda social para la reconstrucción de los barrios y así conocer cómo estos se relacionan con el territorio desde una perspectiva de la resiliencia. En particular, analizar el producto de diseño urbano en relación a las condiciones ambientales que presenten determinados emplazamientos

En base a lo anterior, el presente trabajo aborda la resiliencia desde su componente energética y tiene como objetivo descubrir de qué manera se realiza la reconstrucción post-incendio en Valparaíso en el ámbito del aprovechamiento energético solar. Se selecciona el “Plan de Inversiones: reconstrucción y rehabilitación urbana para Valparaíso” como ámbito de estudio, gestionado por el Ministerio del Interior y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, estudio desde una escala estatal y no local. El alcance del estudio es conocer si el Estado Central aplica nuevos lineamientos en el aspecto de la resiliencia y la sostenibilidad en el desarrollo de las viviendas sociales<sup>5</sup>. Esto implica estudiar si el diseño de estas nuevas viviendas integra aspectos del clima local para las habitabilidades; y si

su emplazamiento otorga la posibilidad de que se genere una captación solar activa.

## **La actuación del Estado y otros organismos en la reconstrucción de los cerros de Valparaíso**

El siniestro se inició el día 12 de abril de 2014 debido, entre otros, a la precaria infraestructura existente sobre la cota 100, la cual generó las condiciones perfectas para que se desatara una catástrofe que abarcó un área de 1042 has. entre los cerros El Litre, La Cruz, Las Cañas, Mariposas, Merced, Ramaditas y Rocuant, en la ciudad de Valparaíso. Este desastre arrasó con el hogar de 2910 familias.

Mediante la acción de fundaciones como “Techo”, se otorgan mediaguas con el fin de dar una solución, en el corto plazo y de forma temporal, al problema habitacional que afecte a una familia a raíz de un evento catastrófico que inhabilita su hogar. Estas viviendas de emergencia constan de una superficie de 18 m<sup>2</sup> y se ha caracterizado por ser una construcción ligera, de montaje y transporte rápido y adaptable a diferentes tipos de suelo (ONEMI, s.f.).

---

5 Por tanto, las interpretaciones de este estudio corresponden a la estructura estatal

**FIGURA 1: EXTENSIÓN DEL INCENDIO Y CERRO LAS CAÑAS. VALPARAÍSO.**



Elaboración propia.

Este tipo de viviendas corresponde a la solución que se les otorgó a las familias víctimas del incendio de Valparaíso y que abarcó un área de 1042 has. entre los cerros El Litre, La Cruz, Las Cañas, Mariposas, Merced, Ramaditas y Rocuant. Esta solución fue posible gracias al trabajo de los numerosos voluntarios y fundaciones que se sumaron a tal labor, pero que ya después de seis meses del hecho, las personas en el Cerro Las Cañas continúan en las mismas viviendas de emergencia y en los mismos terrenos en los que habitaban antes del incendio, los cuales se vetaron para uso residencial<sup>6</sup>.

Mediante un trabajo de campo realizado en octubre de 2014, se aprecia como las familias están instaladas de manera definitiva en dichas viviendas, donde se han construido una serie de ampliaciones según cada necesidad. También, se han instalado servicios de tv satelital y se han pintado las fachadas, convirtiéndolas de a poco en su hogar, lo cual denota como la población no espera moverse del lugar en el que han vivido siempre (Acevedo, 2014). Estos lugares están emplazados en sitios de nulo acceso para los carros de emergencias, lo que

en suma a otros factores, revela la escasa planificación urbana experta que se ha aplicado en estas zonas de riesgo, cuya ausencia determina que este tipo de eventos se conviertan en catástrofes humano-natural, como la ya expuesta (Kapstein y Gálvez, 2014).

Conversaciones y entrevistas informales con los vecinos del Cerro Las Cañas cuentan cómo se han sentido abandonados por el estado en la entrega de apoyo continuo y en cuanto a las convocatorias para postular a otro tipo de vivienda. Sin embargo, ellos tampoco tienen la voluntad de irse de sus terrenos, porque sucede en muchos casos que en una gran extensión de cerro viven muchas personas de una misma familia y no quieren perder su sentido de pertenencia al lugar al que llegaron, lo que genera que no haya un diálogo ni un proyecto participativo que incluya a los habitantes y sus prioridades en la solución del problema.

En agosto de 2014 se presentó el Plan de Inversiones para la Reconstrucción y Rehabilitación urbana de Valparaíso, el cual corresponde a un plan general de recuperación y reconstrucción de la

---

6 Debido a las condiciones topográficas del sector alto de Valparaíso, existe una deficitaria infraestructura que conecta estas zonas de la ciudad con el centro de servicios. Por otra parte, las quebradas están catalogadas como "chimeneas naturales", las cuales serán sometidas a proyectos de recuperación ambiental, estableciendo su uso de suelo como no apto para vivienda. (Ministerio del interior, 2014).

ciudad por parte del Ministerio del Interior<sup>7</sup>. Este organismo designó a un delegado presidencial para el desarrollo de la propuesta, que abarca diversas escalas de acción, pero siempre enfocado en una estrategia global para mejorar las condiciones de la relación entre la ciudad puerto y los cerros. En el ámbito de la vivienda, el gobierno, en primer lugar, se impulsa a sí mismo como un ente subsidiario, fomentando la autoconstrucción para las familias que puedan efectuarla con aportes monetarios por parte del Estado. En segundo lugar, con un plan de reconstrucción de viviendas a las que puedan postular las familias afectadas a través del SERVIU. A partir de este plan se obtienen las propuestas de viviendas seleccionadas para realizar la reconstrucción habitacional en la ciudad, las cuales son viviendas tipo, pensadas para terrenos planos en su mayoría y que no están diseñadas desde una perspectiva del lugar ni del terreno.

## Barrios resilientes energéticamente

El crecimiento exponencial y la urbanización de la población han generado cambios a distintas escalas, no solo en los ecosistemas portantes de las urbes, sino cambios en toda la biósfera, que han modificado la manera en que actúa nuestro entorno natural y ha provocado que los fenómenos climáticos sean impredecibles. Este desafío requiere un cambio en la manera en que se diseñan y planifican comunidades, ciudades y regiones, con el fin de mejorar la respuesta de dichos asentamientos ante este tipo de situaciones sin precedentes (Steiner, 2014).

La expansión de las ciudades con frecuencia se realiza a zonas susceptibles de sufrir desastres naturales, debido a los riesgos no resueltos bajo los

---

7 Al momento de la investigación, en el año 2014, el organismo director de la reconstrucción de Valparaíso es el Ministerio del Interior, el cual proyectó diferentes obras a diversas escalas, las cuales fueron delegadas al Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda y Urbanismo y a otros organismos asociados y dependientes de estos. Desde el punto de vista local, a la I. Municipalidad de Valparaíso este plan le delegó la responsabilidad de controlar el "Programa de control de microbasurales" y coordinar la realización de 43 proyectos locales a escala barrial, "...cuyo objetivo es reponer y recuperar espacios públicos e infraestructuras de contención y accesibilidad a escala barrial..." (Ministerio del Interior, 2014).



que se desarrollan los nuevos asentamientos. Esto coloca en extremo riesgo la seguridad de las viviendas de estos nuevos fragmentos urbanos, y con ello la vida de sus habitantes; lo que implica que con el correr del tiempo, estos fragmentos urbanos en riesgo afecten la capacidad de respuesta de la ciudad, así como de todo el sistema que representa.

La resiliencia urbana es un concepto emergente desarrollado a raíz del por qué algunas ciudades que padecieron una aguda crisis consiguen revitalizar su economía, regenerar su tejido social y renovar sus espacios deteriorados, mientras otras no lo logran (Méndez, 2012).

El concepto de ciudades resilientes (*resilient cities*) se constituye para describir e interpretar la capacidad mostrada por ciertas localidades, de enfrentar adversidades y graves impactos que cuestionaron su futuro, consiguiendo recuperarse y continuar su proceso de desarrollo.

Desde la perspectiva ecológica, el concepto de resiliencia identifica la capacidad de ciertos organismos y sistemas ambientales para ser menos vulnerables, o para resistir y responder a condiciones adversas, lo cual, ligado a un ámbito social, se refiere a la capacidad de las comunidades para resistir shocks externos a su infraestructura social. Con ambas definiciones integradas y asociadas a las definiciones ya descritas, la resiliencia se describe como una característica que implica un proceso de aprendizaje para reconstruir a partir de una

ruptura, sin la intención de mantener todo igual y recuperar aquella estabilidad perdida, sino que generar una adaptación positiva que consecuentemente llevará a cabo un proceso de transformación. Se trata de hacer “un buen uso de la memoria y del olvido” (Lecomte, 2010 en Méndez, 2012) para aprender del pasado, sin olvidarlo ni ignorarlo, lo que supone construir sobre él, sin regresar nunca al punto de partida.

En definitiva, la resiliencia es un proceso dinámico y no una etapa final ya consolidada. Se trata de reinventarse, con el fin de alcanzar objetivos específicos que solo serán posibles en mediano a largo plazo, los cuales no pueden suponer el retorno a una situación pasada de equilibrio, sino que a una nueva normalidad.

Por lo tanto, la ciudad resiliente abarca todos los ámbitos políticos, ecológico-sustentables, físicos, culturales y económicos de la localidad. Es un concepto complejo que además de integrar las características ecosistémicas de la región en pos de lo urbano, propicia la transformación de la ciudad en un ente orgánico en el cual cada uno de sus sistemas sea capaz de adaptarse a los cambios y estar preparado ante cualquier tipo de perturbación en todos los sistemas: transporte, energía, agua, ambiente, agricultura, residuos y economía.

En síntesis, integrando los conceptos anteriormente descritos, la ciudad resiliente es aquella que aplica los servicios ambientales en su

diseño, adapta los asentamientos para prevenir desastres naturales, realiza renovaciones ecológicas en zonas urbanas degradadas e incentiva la participación ciudadana para generar un cambio de conciencia en la población. Además, propicia cambios estructurales de gobierno, gestión y políticas de acción para enfrentar de una manera integrativa los cambios en el medio que mejoren en el largo plazo los sistemas recién descritos, así como la seguridad y calidad de vida de los ciudadanos.

Cambios en la manera en que construimos, planificamos, renovamos y operamos nuestras comunidades tienen un gran impacto en el consumo de energía local y nacional, es por esto que las mismas deben apuntar a diseños que integren energías renovables para ayudar a resolver nuestros problemas ambientales más urgentes (Coyle, 2011). Y de este modo, alcanzar la meta de la resiliencia dotando de autonomía a las comunidades para la generación de su propia energía, respondiendo de manera propia ante fenómenos impredecibles.

Las comunidades resilientes energéticamente serán aquellas que son capaces de enfrentar esta nueva era de déficit energético y cuestionamientos ambientales, en la cual, necesariamente el diseño de las construcciones deben incluir la posibilidad de incorporar métodos de generación de energía limpia y renovable, con mínima huella de carbono,

tales como la captación de energía solar, energía eólica o geotérmica; para así poder enfrentar el cambio climático con sus consecuencias de una manera activa, aportando al medioambiente y poseer los métodos para suplir la inminente falta de suministros.

Las comunidades deben ser capaces de poder autoabastecerse por sí mismas en el caso de una crisis. En el ámbito de la energía eléctrica, la cual corresponde a la fuente de energía más consumida por la población, ya que el modo de vida actual gira en torno a aparatos que depende de ella para su funcionamiento. El espectro es amplio; sea el metro como medio de transporte en Santiago y Valparaíso, la energía para iluminar nuestras casas, los teléfonos para comunicarnos con nuestros seres queridos, la energía para refrigerar y mantener alimentos, los computadores para trabajar, así como toda la gama de artículos eléctricos que hoy constituyen nuestro quehacer cotidiano, dependen de ella.

Esto, finalmente releva la importancia y factibilidad de la incorporación de la energía solar renovable a los planes de viviendas sociales, lo que permite descubrir si este plan de reconstrucción posee una visión a largo plazo y acorde a los nuevos desafíos que enfrentan las ciudades con respecto al cambio al climático y fenómenos ambientales impredecibles, enfocado en la resiliencia de las comunidades frente a ello.

## Metodología

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo. El contexto de investigación corresponde al plan de reconstrucción propuesto para Valparaíso, en donde el caso de estudio son fragmentos urbanos emplazados en distintos puntos del Cerro Las Cañas, el cual fue uno de los más afectados por el incendio de abril de 2014 y que presenta altas condiciones de vulnerabilidad urbana, social y económica. A partir de esto, se analizan las viviendas propuestas por dicho plan que serán entregadas a las familias damnificadas, seleccionando tres muestras representativas. Se pretende evaluar si los lineamientos que el gobierno dice tener respecto a sustentabilidad energética realmente son aplicados.

Para esto se realizará una investigación exploratoria según el siguiente proceso metodológico:

### ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DE ANTECEDENTES

- a) Se realiza una investigación preliminar del incendio y sus consecuencias, en donde resulta como caso representativo el Cerro Las Cañas como área de estudio para la investigación.
- b) Se estudian los antecedentes del cerro de manera planimétrica para detectar qué tipo de asentamiento, formal o informal, se localizan en las laderas y cumbre del cerro.

### ANÁLISIS EN TERRENO:

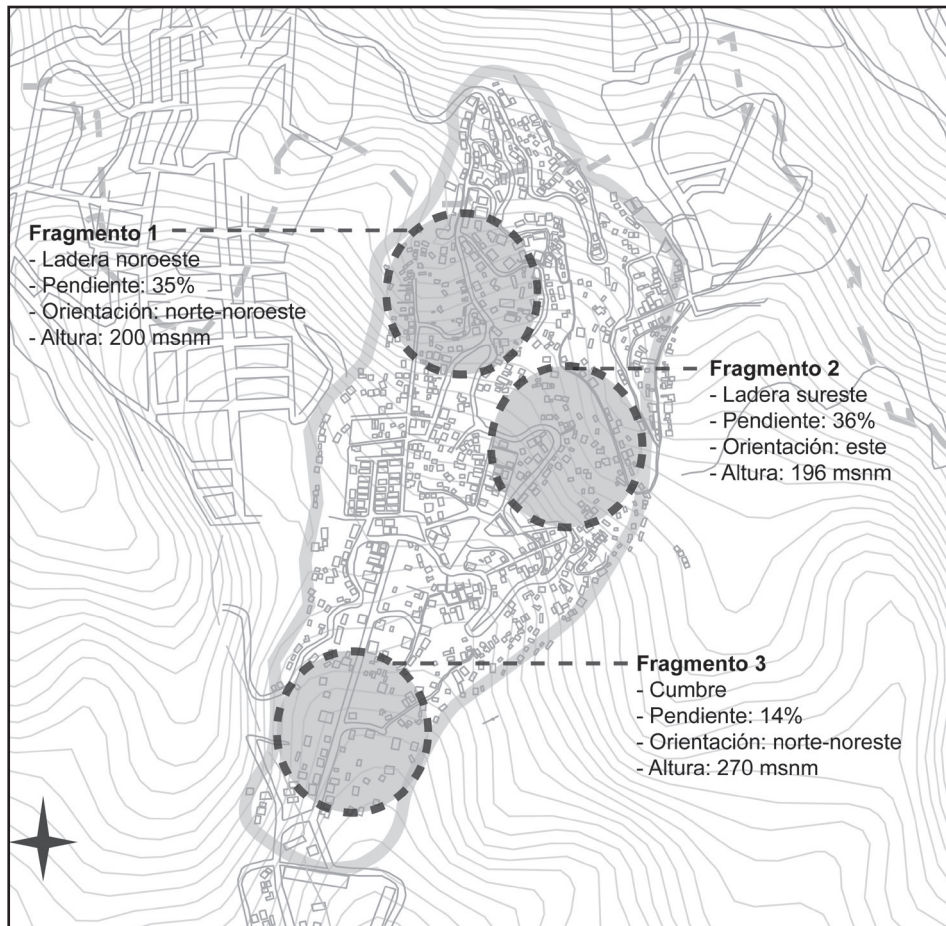
- a) Levantamiento fotográfico del estado actual de zonas siniestradas y de los procesos de reconstrucción.
- b) Exploración física del área para definir los fragmentos de tejido urbano a analizar basado en criterios de emplazamiento y habitabilidad, tales como: posición con respecto al sol, precariedad de la solución de vivienda, asentamientos formales o informales.

En la figura 2 se grafican los tres fragmentos seleccionados según la orientación de la ladera y en consecuencia la captación solar y de vientos.

Las muestras de tejidos urbanos escogidas corresponden a fragmentos localizados en las diferentes posibilidades de radiación solar según la orografía del terreno:

- Fragmento 1: Ladera norponiente, quebrada natural enfrentando a cerro inhabitado, ocupada por vivienda informal, actualmente mediaguas.
- Fragmento 2: Ladera suroriente, quebrada natural enfrentada a cerro habitado, ocupación mixta de vivienda formal e informal.
- Fragmento 3: Cumbre, terreno urbanizado acorde a planificación, orientación centro-norte, ocupada por vivienda sólida.

**FIGURA 2. FRAGMENTOS DE TEJIDOS URBANOS EN EL CERRO LAS CAÑAS.**



Fuente: Elaboración propia.

## LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO

- a) A partir de fotografías satelitales se procede a levantar cartográficamente el área de estudio mediante modelos 3D que expongan la geomorfología del lugar y planimetrías que evidencien la ocupación del terreno e infraestructura vial del área.

## MODELADO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA VIVIENDA SOCIAL

- a) Se obtiene acceso a las planimetrías de la vivienda social aprobadas por el SERVIU<sup>8</sup> para la Reconstrucción de Valparaíso. De un universo amplio de tipologías de vivienda social provistas por el Estado de Chile, se definen tres tipologías representativas con el fin de analizarlas en los fragmentos mencionados con anterioridad.
- b) Se producen modelos 3D de los casos de vivienda seleccionados y se procede a realizar simulación de irradiación disponible en techos y fachadas mediante software HELIODON, según las condiciones de geomorfología de las muestras.

Se modela el terreno mediante el software *Sketch Up* a partir de cotas de nivel. El contexto de las muestras se modela de manera esquemática y siguiendo los patrones de colonización que posee el cerro a la fecha<sup>9</sup>. En la figura 4 se indica el emplazamiento de las muestras seleccionadas de manera aleatoria, con el fin de estudiar casos hipotéticos en que no se desarrolla un estudio de sombras ni de radiación solar en la construcción de las mismas, sino que se sigue las leyes urbanas imperantes.

Se procede a hacer la simulación energética para las fechas de solsticio, 21 de junio y 21 de diciembre, con software Heliodon, configurado según la latitud, longitud y altura sobre nivel del mar. La altura sobre el nivel del mar para el software se calcula a un promedio de 198 msnm para fragmentos I y II, mientras que para el fragmento III se determina a 270 msnm.

Sin embargo, para junio se determina el fragmento III a una altura de 198 msnm, al igual que los fragmentos I y II, para poder comparar todos los fragmentos a la misma altura. Para diciembre el fragmento III se configura en su altura real de 270 msnm, en donde el cálculo permitirá visualizar la variación de la radiación entre alturas, así como el incremento entre solsticios.

---

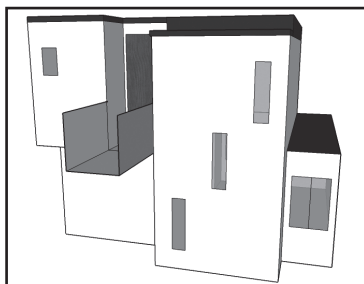
8 SERVIU Región de Valparaíso, 2014. Corresponde a un organismo del estado chileno encargado de la ejecución de las viviendas sociales

---

9 Información recuperada al 4 de octubre de 2014.

**FIGURA 3. TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA SOCIAL PROVISTA POR EL ESTADO DE CHILE.**

**Vivienda A**



Constructora: Cardenal

Superficie: 55.22 m<sup>2</sup>.

Especificaciones disponibles:

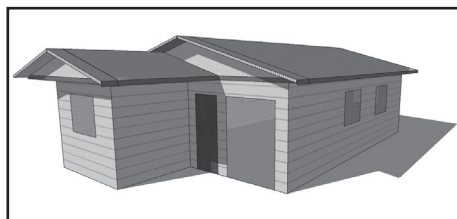
- Tipología adaptable a cualquier terreno y localización de alcantarillado
- Acceso adaptable.
- 3 dormitorios
- Pisos:

Cerámico en baño y cocina

Flotante en sala y comedor

Alfombra en dormitorios

**Vivienda B**



Constructora: Conacor.

Superficie: 56.2 m<sup>2</sup>.

Especificaciones disponibles:

Materialidad:

- Fundaciones de poyos pino impregnado IPV.
- Piso Panel.
- Tabiquería interior de madera impregnada 2"x3" revestida de Volcanita en zonas secas y fibrocemento de 4 mm en zonas húmedas.

Revestimiento exterior: Smart Side Panel Estructural de 11,1 mm.

Cubierta: Plancha zincalum onda estándar.

Pisos:

- Cerámica en baños y cocina.
- Dormitorios alfombrados.
- Living comedor cerámica.

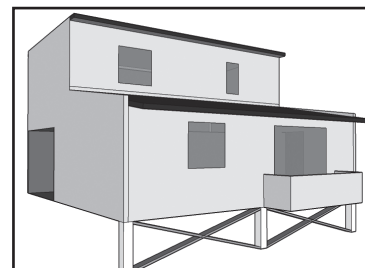
Otros:

- Ventanas aluminio 1,21 x 1,00 en dormitorios y ventanal 1,5 x 2,0 m en living.
- Revestimiento interior plancha yeso-cartón y fibrocemento en zonas húmedas.
- Puerta terciada exteriores e interiores.

Recintos:

Estar-comedor, cocina, baños y tres dormitorios.

**Vivienda C**



Especificaciones disponibles:

Obra gruesa:

Fundaciones y sobrecimiento: Hormigón

Estructura piso: Radier e= 7 cm / envigado pino IPV 2" x 6"

Muros estructurales: panel estructural Pino IPV 2" x 3".

Aislación: Lana mineral e= 40 mm.

Terminaciones:

Revestimiento exterior: Smart Panel e=11,1 mm.

Revestimiento interior zona seca: yeso cartón e= 10 mm.

Revestimiento interior zona húmeda: Fibrocemento e= 6 mm.

Piso zona seca: Radier afinado en 1er nivel / Cubrepiso alfombra en 2do nivel.

Piso zona húmeda: Cerámico

Cielos: Yeso Cartón e= 10 mm.

Cielo zona húmeda: Fibrocemento e= 6 mm.

Ventanas: Aluminio línea Wintec, vidrio e= 3 mm.

Puertas: Placarol.

Techumbres:

Cubierta: Zincalum e= 0.35 mm.

Aislación: Lana de Vidrio e= 50 mm.

Cerchas y costaneras: Pino IPV 2"x6" y 2"x2" respectivamente

**FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA SOCIAL POR FRAGMENTOS DE TEJIDOS URBANOS.**



Fuente: Elaboración propia en base a imágenes Satelitales de Google Earth de cada fragmento (2014).

De acuerdo a algunos autores, se espera que en verano la mayor incidencia ocurra en techos, debido a la altura del sol; en cambio en invierno, se espera que esta ocurra en las fachadas para la ciudad de Santiago (Cárdenas, Morales y Ruivo, 2012).

La radiación máxima disponible en el solsticio de invierno corresponde a  $4.72 \text{ kWh/m}^2$ , mientras que para verano  $9.87 \text{ kWh/m}^2$  según las coordenadas geográficas del estudio<sup>10</sup>. A continuación, se procede a simular la captación de cada superficie de las viviendas.

## Resultados

En las tablas 1 y 2 se indican los resultados obtenidos de radiación solar incidente en invierno y verano respectivamente.

En la tabla 1 se observa que las máximas captadas por distintas fachadas bordean la máxima disponible ( $4.72 \text{ kWh/m}^2$ ). Esta observación se explica por la altura del sol con respecto a la horizontal y que la orientación de las fachadas captadoras está dirigida hacia el norte.

10 Según base de datos de software *Heliodon*.

A partir de la información expuesta se puede observar la manera en que la posición del sol, dada por su altura en invierno y verano según la latitud, influye en la cantidad de energía disponible para su uso.

Los resultados descubiertos en este caso de estudio señalan que el flujo de energía disponible en verano dobla a la disponible en invierno (de 4.72 aumenta a 9.87 kWh/m<sup>2</sup>).

## Discusión

En la simulación del Fragmento I, el cual presenta una pendiente hacia el Norte, situándose en la ladera Oeste del cerro, se aprecia que pendiente y orientación no influyen mayormente en el potencial de captación solar, ya que los valores alcanzados en invierno y verano de dicha zona no se alejan de los máximos. (4,68 captado, con un máximo de 4,72 en junio). La sombra del cerro proyectada no afectaría la potencial radiación solar debido a que su pendiente y orientación norte produce que la construcción se desarrolle en desnivel hacia esta dirección, lo cual disminuye la posibilidad que se generen conos de sombra desfavorables.

El fragmento II, el cual se encuentra en orientación Este, en curva con una abrupta pendiente, tiene los niveles más bajos de captación. En las horas en que

se produce la máxima radiación diurna, comienza a recibir sombra de las construcciones y del cerro.

El fragmento III se analizó a la misma altura de los otros fragmentos para el mes de junio (caso III.1), con el fin de poder comparar como cambia la radiación a similar altura, pero con una distribución urbana liberada y con nula pendiente en comparación a las demás; y a su altura real para diciembre (caso III.2), en donde se puede apreciar cómo afecta la altura con respecto al nivel del mar en una situación de cumbre poco construida. Esta situación es la que mayor radiación recibe, ya que a mayor altura, mayor es la radiación disponible, lo que genera mayores oportunidades de aprovechamiento solar conforme al incremento de cotas. Lo antes citado nos permite visualizar que al configurar una trama urbana poco densa, se genera un óptimo aprovechamiento de la energía solar en esta zona, sea invierno o verano, ya que se genera un mayor radio de captación para las distintas trayectorias del sol (tabla 1 y 2).

En cuanto a la radiación incidente en techos y fachadas en junio, para el 55,5 % de los casos es el techo el que recibe mayor radiación que las fachadas con orientación al sol, mientras que el número de fachadas que reciben más radiación, es equivalentes al número de casos en que esta se iguala con la incidente en el techo, con un respectivo 22,25% para cada uno (tabla 1).



**TABLA 1. RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE POR SUPERFICIE DE VIVIENDA EN SOLSTICIO DE INVIERNO.  
RADIACIÓN INCIDENTE POR M<sup>2</sup>.**

RADIACIÓN 21 JUNIO						
VIVIENDA A						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 198 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Este	3,04	Suroeste	0,78	Noroeste	3,34
2	Norte	4,67	Sureste	2,65	Suroeste	1,44
3	Oeste	3,61	Noreste	4,43	Sureste	2,76
4	Sur	0,83	Noroeste	3,28	Noreste	4,68
Techumbre	Plano	4,68	Plano	4,67	Plano	4,72
VIVIENDA B						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 198 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Oeste	3,06	Noroeste	4,32	Noroeste	3,49
2	Sur	1,88	Suroeste	2,79	Suroeste	2,06
3	Este	3,16	Sureste	1,19	Sureste	2,66
4	Norte	4,68	Noreste	4,06	Noreste	4,71
Techumbre	Plano	4,68	Plano	4,68	Plano	4,71
VIVIENDA C						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 198 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Norte	4,68	Noreste	3,19	Sureste	2,72
2	Oeste	3	Noroeste	4,48	Noreste	4,71
3	Sur	0,67	Suroeste	1,43	Noroeste	3,63
4	Este	2,98	Sureste	0,38	Suroeste	0,36
Techumbre	Plano	4,69	Plano	4,35	Plano	4,16

Fuente: Elaboración propia

**TABLA 2. RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE POR SUPERFICIE DE VIVIENDA EN SOLSTICIO DE VERANO.**

<b>RADIACIÓN 21 DICIEMBRE</b>						
<b>VIVIENDA A</b>						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 270 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Este	6,05	Suroeste	3,47	Noroeste	5,98
2	Norte	8,83	Sureste	5,42	Suroeste	7,1
3	Oeste	6,83	Noreste	6,51	Sureste	6,81
4	Sur	6	Noroeste	7,74	Noreste	8,37
Techumbre	Plano	9,55	Plano	9,45	Plano	9,86
<b>VIVIENDA B</b>						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 270 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Oeste	6,42	Noroeste	7,17	Noroeste	6,66
2	Sur	5,06	Suroeste	5,47	Suroeste	6,65
3	Este	6,08	Sureste	5,39	Sureste	5,94
4	Norte	8,34	Noreste	7,07	Noreste	8,13
Techumbre	Plano	9,57	Plano	9,44	Plano	9,85
<b>VIVIENDA C</b>						
FACHADA	FRAGMENTO I		FRAGMENTO II		FRAGMENTO III	
	h= 198 msnm		h= 198 msnm		h= 270 msnm	
	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>	Orientación	kWh/m <sup>2</sup>
1	Norte	8,33	Noreste	7,35	Sueste	5,92
2	Oeste	5,82	Noroeste	5,83	Noreste	8,8
3	Sur	5,37	Suroeste	2,84	Noroeste	6,36
4	Este	5,82	Sureste	6,05	Suroeste	4,95
Techumbre	Plano	9,46	Plano	8,3	Plano	9,87

Fuente: Elaboración propia

Para el fragmento II los valores de radiación son los más bajos y sus máximos solo se encuentran en las techumbres, como resultante de la gran cantidad de sombra que recibe gracias al cerro.

A partir de la tabla 2, se visualiza que en verano todas las máximas se originan en los techos, tal como era de esperarse, gracias a la altura del sol. La diferencia de estos con las fachadas más irradiadas fluctúa alrededor de 1 kWh/m<sup>2</sup>, llegando a 2 kWh/m<sup>2</sup> en el fragmento II.

Para fachadas, también se destaca que los valores máximos se registren en fachadas norte y noreste, a excepción del fragmento II, según se indica en ambas tablas.

Analizando las viviendas, se observa que en junio la vivienda A alcanza su máxima capacidad captadora en el fragmento III, específicamente en el techo, al igual que la vivienda B. Sin embargo, la vivienda C también lo alcanza en el fragmento III pero en su fachada noreste, con valor cercano al máximo de la radiación disponible (tabla 1).

Para diciembre, todas alcanzan sus valores máximos en el techo, pero es el fragmento III quien recibe más radiación, producto de la diferencia de altura.

## Aplicación práctica de resultados en una vivienda social.

Se procederá a estudiar si es factible aprovechar la radiación directa incidente mediante sistemas activos de captación solar en techos y fachadas. Para realizar este estudio, en primer lugar, se calculará el consumo, para lo cual se utilizarán las muestras (vivienda A, B y C) como prototipos de consumo.

A partir de estas tipologías y su planimetría (SERVIU Región de Valparaíso, 2014), se desglosa lo siguiente:

Nro. de habitantes posibles: 4 a 6 personas.

Recintos: comedor, estar, un baño, cocina, tres dormitorios.

Esta familia tipo, en un supuesto de padres trabajadores, hijos escolares, haría un uso de la vivienda en horario mayormente vespertino. Así, se realiza un cálculo hipotético del consumo familiar básico, considerando que corresponde a vivienda social (tabla 3).

**TABLA 3. CONSUMOS ESTIMADOS PARA UNA VIVIENDA SOCIAL SEGÚN HOGAR SUPUESTO.**

Cantidad	Artefactos	Potencia	Horas de	Consumo	Consumo total
		W	uso diario	diario Wh	mensual (kWh)
10	Ampolleta	15	4	600	18
1	Equipo de música	60	2	120	3,6
1	Plancha	500	0,083	41,5	1,245
1	Televisor	200	5	1000	30
1	Computador	40	5	200	6
1	Refrigerador	31,25	24	750	22,5
1	Lavadora	2850	0,13	370,5	11,115
1	Aspiradora	800	0,13	104	3,12
1	Secador de pelo	1000	0,25	250	7,5
1	Hervidor	900	0,25	225	6,75
<b>Consumo diario total</b>				<b>3661</b>	<b>109,83</b>

Elaboración Propia.

Luego, para calcular si bajo la radiación solar disponible en nuestro territorio se puede suplir en parte el consumo eléctrico de la vivienda, se realizará el “Procedimiento simplificado de cálculo de una instalación doméstica fotovoltaica” (Yáñez, 2008).

En primer lugar, se procederá a determinar los valores de Radiación Solar Directa a utilizar. Para el caso de Valparaíso y luego de la simulación y análisis realizado, se hará el cálculo simplificado para los valores extremos en un año, sea junio el menor

y diciembre el mayor. Producto de la orografía del territorio y las sombras proyectadas van a ser las techumbres las que reciban mayor radiación en todo el año.

Sin embargo, se utilizarán los valores de fachada para poder visualizar si la radiación recibida por estas hace factible un proyecto fotovoltaico en ellas como una alternativa y/o complemento a lo ya reconocido en techos.

Por lo tanto, para determinar el caso más desfavorable en junio, se utilizará el menor de los valores

máximos de radiación en fachadas, el cual corresponde a la fachada noroeste de la muestra B, emplazada en el fragmento II.

Radiación:  $H_{\text{Junio}} = 4,32 \text{ kWh/m}^2$

Consumo medio diario:  $C_x = 3,661 \text{ kWh}$

El número de horas de sol equivalentes,  $N_h$ , para el 21 de junio es:

$$N_h = H_{\text{Junio}} / 1\text{kWm}^2 = \frac{4,32 \text{ kWh/m}^2}{1\text{kW7m}^2} = 4,32 \text{ h}$$

Luego se calcula la potencia de instalación (P), con un margen de 20% por pérdidas de la siguiente manera:

$$P = (C * 1,2) / N_h$$

Lo que nos da lo siguiente:

$$P = \frac{(3,661 * 1,2) \text{ kWh}}{4,32 \text{ h}} = 1,017 \text{ KW} = 1.017 \text{ W}$$

Teniendo la potencia de instalación, se procederá a calcular el número de paneles necesarios para satisfacer esta demanda según sus especificaciones técnicas.

**TABLA 4. PANEL 1: SUNMODULE 50W POLY RMA 64X68 CM ("PRODUCTS", S.F.).**

Maximum power	50 Wp
Maximum power point voltage	18,2 V
Short-circuit current	2,95 A
Maximum power point current	2,75 A

**TABLA 5: PANEL 2: SYP240S POLYCRYSTALLINE MODULE 164X99 CM 20.**

Maximum power	240 Wp
Maximum power point voltage	30,20 V
Short-circuit current	8,33 A
Maximum power point current	7,96 A

Para el panel 1, sabiendo que el módulo trabaja a 18,2 V con una corriente de 2,75 A, el número de módulos será  $P/(V*A)$ :

$$N^\circ = \frac{1017}{18,2 * 2,75} = 20,3 = 21 \text{ paneles}$$

Mientras que para el panel 2:

$$N^\circ = \frac{1017}{30,2 * 7,96} = 4,23 = 5 \text{ paneles}$$

Cabe destacar que el panel 2 tiene alrededor de 3,4 veces más de superficie que el panel 1.

Ahora se procederá a calcular el caso más favorable, es decir, la energía potencial a generar a partir de la mayor radiación disponible en fachadas, el cual corresponde a la fachada norte de la Muestra A emplazada en el fragmento I, para el solsticio de verano (21 de diciembre).

$$\text{Radiación: } H_{\text{Diciembre}} = 8,83 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Consumo medio diario: } C_x = 3,661 \text{ kWh}$$

El número de horas de sol equivalentes,  $N_h$ , para el 21 de Diciembre es:

$$h = H_{\text{Diciembre}} / 1 \text{ kW/m}^2 = \frac{8,83 \text{ kWh/m}^2}{1 \text{ kW/m}^2} = 8,83 \text{ h}$$

Se calcula la Potencia de Instalación (P) con un margen de 20% por pérdidas de la siguiente manera:

$$P = (C * 1,2) / N_h$$

Que resulta lo siguiente:

$$P = \frac{(3.661 * 1,2) \text{ kWh}}{8,83 \text{ h}} = 0,497 \text{ KW} = 497,5 \text{ W}$$

Lo cual, utilizando la información de los paneles anteriormente descritos, se obtiene:

Panel 1:

$$N^\circ = \frac{497,5}{18,2 * 2,75} = 9,94 = 10 \text{ paneles}$$

Panel 2:

$$N^\circ = \frac{497,5}{30,2 * 7,96} = 2,06 = 3 \text{ paneles}$$

Cabe destacar que este es un cálculo teórico-experimental, en el cual no se han analizado la eficiencia de las baterías, reguladores ni de ningún otro artefacto que complete el sistema para su funcionamiento. También hay que mencionar que Heliodon entrega cifras ideales de días de cielo claro y no considera la componente difusa de la radiación, que también es captada por los paneles.

Con los resultados obtenidos se aprecia que la energía fotovoltaica es factible en Valparaíso y que el emplazamiento de las viviendas requiere la instalación de al menos 21 paneles de 50W, ya especificados, para asegurar un abastecimiento total del consumo medio diario básico estimado.

A continuación, para esta cantidad, se procederá a calcular el área necesaria para su instalación:

$$0,64 * 0,68 = 0,435 \text{ m}^2 \text{ por cada panel}$$

$$0,435 * 21 = 9,13 \text{ m}^2 \text{ instalación total}$$

$$\text{Superficie disponible: } 5,5 * 4,4 = 24,4 \text{ m}^2$$

Es decir, las viviendas antes citadas disponen de la superficie necesaria para la instalación.

Ya que este es un sistema *on grid*, es decir, conectado a la red eléctrica, cuando exista un excedente

de la energía en verano producto del aumento de la radiación, la electricidad se puede vender a la red, generando ingresos para las familias y aumento de la velocidad de amortización de la inversión.

## Conclusiones

Luego de analizar la teoría de la ciudad resiliente y cómo esta constituye una meta a alcanzar por las ciudades para mantener su funcionamiento en un medio impredecible; se extrapola su rama energética como ámbito a abordar por implicar una participación directa del diseño urbano y arquitectónico por la posibilidad que estas disciplinas otorgan a las viviendas para la captación de energía solar, como se ha explicado anteriormente.

Dentro de este contexto y a partir de la investigación del Plan de Inversiones para Valparaíso, se observa que la resiliencia no es abordada como un objetivo para dicho proyecto, hecho que se ve reflejado en la manera en que proyecta reconstruir siguiendo los mismos patrones que favorecieron la propagación del fuego y su descontrol.

En materia de vivienda y soluciones habitacionales, se fomenta la práctica de autoconstrucción, actuando como ente subsidiario en el ámbito económico, mientras que las labores de diseño arquitectónico y las obras de construcción son

traspasadas a los privados. Es importante que el Estado adquiera un protagonismo en ese proceso, generando planes de aprovechamiento energético que sean consecuentes con la Agenda Energética lanzada por el Ministerio de Energía en mayo de 2014, junto a la ley 20/25 que promueve el uso de energías renovables.

El análisis de las “viviendas tipo” a las que podrán acceder las familias más vulnerables, revela que estas podrían emplazarse en cualquier lugar de Chile, independientes de su localización. Desde el análisis constructivo y espacial, no existe un reconocimiento de la orografía del terreno, ni de las singulares características climáticas de la región ni de la relación cerro - mar que la caracteriza, a pesar de que estas viviendas están aprobadas por el SERVIU de Valparaíso.

Al estudiar el potencial aprovechamiento solar de estas viviendas, se aplica la metodología ya descrita, con lo que se logra determinar que el cerro y su orografía juega un papel trascendental a la hora de definir cuánta radiación le llega a una determinada superficie, ya que según el emplazamiento de la vivienda, el cerro puede o no generar sombras importantes sobre esta. Además, el emplazamiento incide en la manera en que se desarrolla un fragmento urbano determinado, en el sentido de cómo colonizar el terreno, construir, agrupar y consolidar las “manzanas”; a partir de la misma geomorfología del terreno; sea ladera, quebrada, curva o cumbre.

Si es ladera o quebrada, como lo indica el fragmento I, la construcción se realizará siguiendo la pendiente, lo que generará que, de acuerdo a su orientación, que el fragmento reciba radiación solo en cierto rango del día. Así, de manera equitativa para las viviendas, ya que no se producirían conos de sombra importantes; pero si la topografía es curva, como se aprecia en el fragmento II, esta pueda afectar enormemente el potencial de captación, ya que siempre va a existir un porcentaje que quedará a la sombra, producto la curva en sí, de la pendiente del cerro y de la trayectoria del sol.

Mientras, para la situación de cumbre, en la que no hay elementos orográficos que interfieran con la captación, se tiene una mayor disponibilidad de aprovechamiento de la energía solar, teniendo como único inconveniente las sombras generadas por las construcciones aledañas. Tal como se ha experimentado en el fragmento III, en una situación poco densa y con distanciamientos considerables, no existe interferencia y se puede sacar el total provecho a la radiación solar disponible.

A partir de los cálculos realizados para el solsticio de invierno (21 de junio), se descubre una diferencia con lo expresado por los autores, en el sentido de que la incidencia solar en solsticio de invierno es mayor en fachadas que en techos, debido a la menor altura del sol. Se observa que en el 55,5 % de los casos, el techo recibe mayor radiación que las

fachadas con orientación al sol. Esta diferencia podría explicarse por la composición de la manzana y la orientación misma de la vivienda, ya que como se aprecia en el fragmento I y III, si bien el sol está a menor altura y la edificación se realiza en pendiente hacia una orientación con tendencia norte, sucede que las construcciones que se encuentran a corta distancia le generan un rango de sombra a la vivienda muestreada, por lo que habría que optar por una captación instalada en el techo. Para el fragmento II el potencial también se encuentra en el techo, ya que no se puede asegurar, por la composición del fragmento y sus desventajas, que las viviendas no tengan obstrucción al norte, como se aprecia en los resultados (tabla 1 y 2).

Para el verano, la teoría si aplica, ya que el 100% de las muestras arrojan que su mayor potencial de captación se encuentra en los techos, debido al incremento de la altura del sol para la fecha analizada (solsticio de verano, 21 de diciembre), lo que además aumenta la radiación disponible al doble.

Sin embargo, aunque el mayor potencial se encuentre en los techos, no hay que despreciar a las fachadas como el potente captador que representan, siempre y cuando, se realice un estudio de los posibles conos de sombra, ya que se vuelve a recalcar que esta incidencia depende exclusivamente del emplazamiento de la vivienda y su entorno urbano.



Para el cálculo de paneles fotovoltaicos se incluyeron los valores mínimos de las fachadas más asoleadas con el fin de poder establecer un rango del cual partir para una instalación, considerando que la época de mayor consumo es el invierno y cuando hay menor radiación.

Si bien, el consumo proyectado es el “básico hipotético”, se enmarca en el caso que será aplicado a una vivienda social, por lo tanto, el consumo no debe alejarse de lo proyectado. Con esto, la cantidad de paneles necesarios para satisfacer dicho consumo para el solsticio de invierno serían de 21 paneles pequeños, suma totalmente abordable en cuanto superficie por las mismas viviendas y justificable si se considera el enorme ahorro que significará para las familias contar con un suministro básico de electricidad de manera gratuita. Durante los días de cielo claro podrían disponer de electricidad y con un mínimo costo cuando las condiciones atmosféricas lo permitan. Se recomienda que el Estado sea quien subsidie gran parte de las instalaciones fotovoltaicas para estas viviendas, lo que además generará una publicidad extra a las empresas instaladoras, lo cual podría ser negociado en el costo. Así, el habitante podría desmitificar la tecnología fotovoltaica como cara e ineficiente.

Al impulsar que sea la propia vivienda, el grano pequeño, la encargada de autoabastecerse, se empieza a descentralizar el sistema eléctrico del país, el cual, está dividido en SING y SIC, y como ya

ha sucedido en otras circunstancias, ante una falla sistémica, un error humano, un accidente, una catástrofe, un terremoto o bien un incendio que afecte al ente distribuidor de la energía en cualquiera de sus escalas, genera un corte para toda una zona determinada sin la posibilidad de optar a una alternativa para proveerse.

Si se toma esto desde una perspectiva global, en que, debido a la crisis energética y el cambio climático, el racionamiento puede ser una realidad, se deben pensar proyectos que potencien ciudades independientes energéticamente, es decir, conformada por barrios resilientes, que sean capaces de enfrentar por sí solas los cambios y crisis que se están generando desde ya en todo el mundo. En Valparaíso, debido a su ubicación y clima, ha quedado en evidencia a través de esta investigación que el aprovechamiento de la energía solar, concretamente a través de paneles fotovoltaicos, son una opción factible para generar barrios resilientes energéticamente, los que además mejorarían la relación de estas viviendas tipo con su territorio, ya que obligatoriamente, debe haber un estudio de sombras y un análisis espacial y geométrico de la vivienda, para determinar cuál es la superficie donde más conviene orientar al sol.

Si bien, el estudio se ha hecho para un consumo austero, solo se han considerado las fachadas en los cálculos para la definición mínima y máxima del rango de paneles necesarios, el cual fluctúa

entre 21 para invierno y 10 para verano, por lo que en los techos aún queda potencial disponible si se quiere cubrir un mayor consumo o generar más energía para inyectarla a la red<sup>11</sup>.

El estudio entrega datos claros de la cantidad de radiación existente en Valparaíso en lugares determinados y cómo esta varía según su emplazamiento: altura sobre nivel del mar, orientación e influencia de las sombras; no deja de ser un tanto hipotético, ya que el programa de simulación no considera la existencia de días con nubosidad, en los que existe radiación difusa, la cual también es captada por las células fotovoltaicas.

Además, tampoco se considera que para el funcionamiento de los paneles existan otros costos que juegan un rol clave en torno a la eficiencia, como el caso de las baterías, que se utilizan para almacenar energía y utilizarla en la noche por ejemplo, los cargadores y toda la instalación fotovoltaica y eléctrica en sí. Es por esto, que el presente artículo podría tomarse como un punto de partida para continuar su desarrollo, integrando más actores a la investigación, de manera que puedan realizarse de una manera interdisciplinaria con un proyecto de ingeniería acabado para el cálculo de paneles y su eficiencia.

A pesar de ello, se obtienen lineamientos claros sobre cómo habitar la morfología de terreno “cerro” en relación a la radiación y soleamiento, morfología presente a lo largo de todo el territorio nacional, que a medida que aumenta la altura, es mayor el porcentaje de radiación, y que van a ser las viviendas emplazadas en laderas norte, noroeste y noreste las que reciban mayor radiación, en conjunto con la cumbre. Todo esto acompañado de un distanciamiento apropiado entre viviendas que no genere sombras a las superficies irradiadas. Así, otras ciudades que, por ejemplo, estén a mayor latitud, pero a mayor altura con respecto al nivel del mar, también puedan optar por este tipo de energía renovable, de manera de ir potenciando de a poco el uso del sol como una fuente de energía renovable, limpia y factible.

De esta forma, mediante el uso de la energía solar fotovoltaica, es posible enmendar en alguna medida errores de diseño arquitectónico, que no generen una sinergia con el territorio.

Finalmente, esta investigación permite dar cuenta de la factibilidad que existe en los cerros de Valparaíso para generar un aprovechamiento solar activo. Y, por consecuencia, entregar a la población residente en viviendas sociales la capacidad

---

11 Ley 20.571, 2012. También conocida como Ley del *Net Metering* o *Net Billing*.

de autoabastecerse de esta energía, ya que se ha demostrado que este tipo de energía renovable es capaz de abastecer las necesidades básicas de una familia. Si se integra esta posibilidad a los planes de gobierno y se incorpora de manera concreta y se extiende a las políticas habitacionales de otros lugares del país, el Estado estaría promoviendo la generación de fragmentos urbanos que funcionarían acorde a las situaciones del territorio y que además dispondrían de energía propia. Esto favorecería la autonomía de las nuevas poblaciones y las prepararía ante eventos en donde no se pudiera asegurar la disponibilidad energética del sistema interconectado, lo cual potenciaría la resiliencia de estas viviendas.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen el financiamiento otorgado por el proyecto FONDECYT regular 1130-139 para realizar la investigación.

## Referencias bibliográficas

- Acevedo, C. (2014).** *Valparaíso: Lineamientos para el diseño de barrios energéticamente resilientes. La reconstrucción post-incendio desde un enfoque sustentable.* (Seminario de investigación, sin publicar). Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile, Santiago.
- Cárdenas, L.A., Morales, L., y Ruivo, C. (2012).** Análisis del efecto del sombreado exterior en la radiación solar sobre fachadas de un edificio educacional de un entorno urbano de alta densidad. En M. Vásquez y J.M. Santos (Eds.), *Re-construyendo el futuro sostenible* (pp.63-68).Vigo, Galicia: Asociación Española de Energía Solar.
- Castillo, M. (2014).** Competencias de los pobladores: potencial de innovación para la política habitacional chilena. *Revista INVI*, 29(81), 79-112. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-83582014000200003>.
- Coyle, S. & Duany, A. (2011).** *Sustainable and resilient communities: A comprehensive action plan for towns, cities and regions.* Nueva Jersey: John Wiley and Sons.
- Faúndez, F. (2011).** *En Combarbalá: el primer barrio solar del país.* Plataforma urbana. Recuperado de <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2011/09/25/en-combarbala-el-primer-barrio-solar-del-pais/>.
- Kapstein, P. y Gálvez, M. (2014).** Valparaíso: vulnerabilidad, resiliencia urbana y capital social. *Márgenes Espacio Arte y Sociedad*, 11(15), 25-31. Recuperado

de <http://revistas.uv.cl/index.php/margenes/article/view/303>.

**Ley 20.365.** Establece franquicia tributaria respecto de sistemas solares térmicos. *Diario Oficial de la República de Chile*. Santiago, Chile, 19 de agosto de 2009.

**Ley 20.571.** Regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales. *Diario Oficial de la República de Chile*, Santiago, Chile, 22 de marzo de 2012.

**Marsh, W. (1998).** *Landscape planning: Environmental applications*. Nueva York: John Wiley and Sons.

**Méndez, R. (2012).** Ciudades y metáforas: sobre el concepto de resiliencia urbana. *Ciudad y Territorio: estudios territoriales*, 44(172), 215-231.

**Ministerio del Interior. (2014).** *Plan de inversiones: reconstrucción y rehabilitación urbana - Valparaíso*. Ministerio del Interior. Recuperado de <http://www.interior.gob.cl/media/2014/09/PLAN-DE-INVERSION-VALPO-2014-2021.pdf>.

**ONEMI. (s.f.).** *Viviendas de emergencia*. ONEMI. Recuperado de <http://www.onemi.cl/viviendas-de-emergencia/>

**Products. (s.f.).** Recuperado de <http://www.risenenergy.com/en/products.php?classid=22>.

**Sánchez, R. (Ed.). (2013).** *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago: CEPAL.

**Stemmers, K. & Steane, M.A. (Eds.). (2004).** *Environmental diversity in Architecture*. London: Spon Press.

**Steiner, F. (2014).** Frontiers in urban ecological design and planning research. *Landscape and Urban Planning*, 125, 304-311. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.023>

**Szokolay, V. (1983).** *Arquitectura solar: realización y proyectos a escala mundial*. Barcelona: Blume.

**Yáñez, G. (2008).** *Arquitectura solar e iluminación natural: conceptos, métodos y ejemplos*. Madrid: Munilla-Lería