

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGADO**

**MEMORIA DE TITULO**

**ESTIMACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO Y MONETARIO DE  
ELECTRICIDAD DE UN EDIFICIO PÚBLICO, AL APROVECHAR LA ENERGÍA  
SOLAR CAPTURADA EN SUS FACHADAS**

**JAVIERA ESPINOZA SAAVEDRA**

**Santiago, Chile.**

**2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGADO**

**MEMORIA DE TITULO**

**ESTIMACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO Y MONETARIO DE  
ELECTRICIDAD DE UN EDIFICIO PÚBLICO, AL APROVECHAR LA ENERGÍA  
SOLAR CAPTURADA EN SUS FACHADAS**

**ESTIMATION OF THE ENERGETIC AND MONETARY SAVING OF  
ELECTRICITY OF A PUBLIC BUILDING, ON HAVING TAKEN ADVANTAGE  
OF THE SOLAR POWER CAPTURED IN FACADES**

**JAVIERA ESPINOZA SAAVEDRA**

**Santiago, Chile.**

**2016**

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGADO**

**MEMORIA DE TITULO**

**ESTIMACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO Y MONETARIO DE  
ELECTRICIDAD DE UN EDIFICIO PÚBLICO, AL APROVECHAR LA ENERGÍA  
SOLAR CAPTURADA EN SUS FACHADAS**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**JAVIERA ESPINOZA SAAVEDRA**

<b>Profesores Guías</b>	Calificación
Sra. Luz Cárdenas J. Profesora de Urbanismo, Dra.	6,5
Sr. Luis Morales S. Profesor de Ciencias Naturales y Físicas, Dr.	6,7
<b>Profesores Evaluadores</b>	
Sr. Alejandro León S. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	6,5
Sr. Oscar Seguel S. Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,6

**Santiago, Chile**  
**2016**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar esta tesis, agradezco enormemente a aquellas personas que me dieron el ánimo y el consejo de tomarla. A aquellas que me ayudaron cuando me vi atrapada sin importar la circunstancia ni el modo. A los amigos que me dijeron más de una vez que este era el camino correcto. A los profesores guías por aceptar las reuniones, por ofrecerme la posibilidad de escoger el tema a tratar, la ayuda y correcciones que entregaron en cada momento.

Agradezco también el financiamiento otorgado para realizar la tesis por el Proyecto de Investigación FONDECYT N° 1130-139, teniendo como Investigador Responsable a la Dra. Luz Alicia Cárdenas Jirón y como Co investigador al Dr. Luis Morales Salinas.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>6</b>
Objetivos específicos.....	6
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
<b>Contexto Nacional</b> .....	<b>7</b>
Situación energética en Chile .....	7
Agenda energética del Ministerio de Energía, 2014 .....	8
Explorador solar en web, Departamento Geofísica U de Chile.....	10
<b>El sol como fuente de energía</b> .....	<b>11</b>
Utilización de la energía solar en Chile.....	11
Oportunidades de desarrollo existentes en la arquitectura y el territorio .....	12
<b>Sistemas de utilización de la energía solar para electricidad en la arquitectura</b> .....	<b>13</b>
Sistema fotovoltaico Building- Applied Photovoltaics (BAPV).....	13
Sistema fotovoltaico Building Integrated Photovoltaics (BIPV) .....	14
Funcionamiento y tipos de paneles solares .....	15
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>18</b>
<b>Ubicación geográfica de la ciudad de Temuco</b> .....	<b>18</b>
<b>Antecedentes climáticos</b> .....	<b>19</b>
<b>Contaminación visual y ambiental que afecta la radiación recibida en la ciudad</b> .....	<b>20</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODO</b> .....	<b>22</b>
<b>Materiales</b> .....	<b>22</b>
Dispositivos utilizados y ubicación .....	22
<b>Método</b> .....	<b>25</b>
Manejo de datos de radiación .....	25

Objetivo específico 1.....	25
Objetivo específico 2.....	29
Objetivo específico 3.....	30
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>31</b>
<b>Objetivo 1.....</b>	<b>31</b>
Presentación de la radiación obtenida en los planos verticales y plano horizontal en la ciudad de Temuco .....	31
Presentación de la potencia generada por los paneles .....	42
<b>Objetivo 2.....</b>	<b>52</b>
Presentación de energía producida .....	52
<b>Objetivo 3.....</b>	<b>54</b>
Presentación del periodo de recuperación e inversión .....	54
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Potencias generadas totales para cada mes en el edificio de Defensoría (W día <sup>-1</sup> ). .....	43
Cuadro 2. Potencias generadas totales para cada mes en el edificio de Fiscalía (W día <sup>-1</sup> ). ..	43
Cuadro 3. Detalle consumo energético final y porcentaje de ahorro del edificio de Defensoría. 53	
Cuadro 4. Detalle consumo energético final y porcentaje de ahorro del edificio de Defensoría. ....	54
Cuadro 5. Resumen de periodo de recuperación de la inversión en ambos edificios. ....	55

## Índice de Figuras

Figura 1. Promedio de Radiación Solar en Sudamérica.....	5
Figura 2. Visualización del Explorador Solar Web. ....	11
Figura 3. Fachada BAVP en Madrid.....	13
Figura 4. Fachada aislada BIVP.....	15
Figura 5. Fachada con láminas fotovoltaicas sobre vidrio en España.....	15
Figura 6. (A) Semiconductor tipo “n” (donde los electrones son mayoritarios) y semiconductor tipo “p” (donde los huecos son mayoritarios). (B) Unión “p-n”. ....	16
Figura 7. (A) Separación de portadores por el campo de la unión p-n. (B) Intensidad de corriente exterior de la celda solar. ....	16
Figura 8. Esquema general de un sistema fotovoltaico. ....	17
Figura 9. Región de la Araucanía, Temuco.....	18
Figura 10. Universidad de la Frontera.....	19
Figura 11. Radiación Global de Temuco (W m <sup>-2</sup> ). ....	20
Figura 12. Imagen de referencia Radiómetro (izquierda) y Datalogger (derecha) Kipp & Zonen.....	22
Figura 13. Radiómetro y Datalogger Kipp & Zonen ubicados en Santiago. ....	23
Figura 14. Ventanas cubiertas de cristales del Centro de Justicia de Santiago. ....	24
Figura 15. Arriba, ventanas cubiertas de cristales de los edificios de Defensoría (izquierda) y Fiscalía (derecha). ....	24
Figura 16. Fachadas de edificios públicos. ....	24
Figura 17. En rojo edificios utilizados .....	25
Figura 18. Panel Solar seleccionado para la investigación. ....	28
Figura 19. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante enero y febrero. ....	32
Figura 20. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante marzo y abril. ....	33
Figura 21. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante mayo y junio. ....	34
Figura 22. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante julio y agosto. ....	35
Figura 23. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante septiembre y octubre. .....	36

Figura 24. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante noviembre y diciembre.....	37
Figura 25. Radiación mensual en las tres fachadas estudiadas.....	38
Figura 26. Gráficos anuales de Radiación global en cada orientación .....	39
Figura 27. Gráficos de la radiación solar horizontal durante enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio.....	40
Figura 28. Gráficos de la radiación solar horizontal durante julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.....	41
Figura 29. Gráficos de la potencia unitaria generada durante enero y febrero para cada superficie utilizada.....	44
Figura 30. Gráficos de la potencia unitaria generada durante febrero y marzo para cada superficie utilizada.....	45
Figura 31. Gráficos de la potencia unitaria generada durante abril y mayo para cada superficie utilizada.....	46
Figura 32. Gráficos de la potencia unitaria generada durante mayo y junio para cada superficie utilizada.....	47
Figura 33. Gráficos de la potencia unitaria generada durante julio y agosto para cada superficie utilizada.....	48
Figura 34. Gráficos de la potencia unitaria generada durante agosto y septiembre para cada superficie utilizada.....	49
Figura 35. Gráficos de la potencia unitaria generada durante octubre y noviembre para cada superficie utilizada.....	50
Figura 36. Gráficos de la potencia unitaria generada durante noviembre y diciembre para cada superficie utilizada.....	51
Figura 37. Energía producida y Consumo de energía del edificio de Defensoría.....	52
Figura 38. Energía producida y Consumo de energía del edificio de Fiscalía.....	53

## RESUMEN

Actualmente las energías renovables no convencionales (ERNC) están siendo ampliamente estudiadas, debido a que el aumento en la demanda de electricidad a nivel mundial hace necesario diversificar y ampliar la matriz energética de un país. La energía solar; es una de las más estudiadas.

Existen dos tipos de implantación de sistemas fotovoltaicos que pueden ser utilizados en edificios ya construidos o en construcción. En la presente memoria se trabajó con un edificio al cual se le implementaría un sistema tipo BAPV (Building- Applied Photovoltaics), en la ciudad de Temuco. Este sistema produce energía a través de paneles solares fotovoltaicos que se adhieren a un edificio previamente construido. Con el objetivo de evaluar la energía solar que pueden capturar las fachadas de un edificio, se instaló un instrumento compuesto por tres radiómetros dispuestos en las orientaciones norte, este y oeste, mientras que los datos de radiación horizontal y temperatura ambiente fueron extraídos de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. Se evaluó la energía eléctrica producida a partir de paneles fotovoltaicos horizontales y verticales. También se estimó la energía eléctrica producida por la radiación solar global en las fachadas este, norte y oeste y en el techo de un edificio. A su vez se calculó el ahorro energético y el ahorro monetario en los costos del edificio si se implementara este sistema.

Si bien, la utilización de la radiación solar capturada en fachadas con pendiente de  $90^\circ$  no es aún utilizada en nuestro país, los resultados de este estudio muestran que la radiación recibida entrega una cantidad significativa de energía capaz de suplir diversos consumos de un edificio. No obstante, la energía producida con la radiación horizontal que llega al techo del edificio es significativamente mayor, por lo cual la energía capturada en las fachadas puede utilizarse como complemento y no como método único de obtención de energía. En cuanto al ahorro monetario, la inversión se recuperaría en un periodo de 10 años. Cabe destacar que la ciudad de Temuco ubicada al sur de Chile presenta menores cantidades de radiación que ciudades del norte del país y a la vez mayor cantidad de nubosidad. No obstante, la radiación recibida puede ser ampliamente utilizada con el fin de suplir la demanda energética actual y futura.

**Palabras claves:** Radiación solar, BAVP, fachadas, Temuco.

## ABSTRACT

Currently non-conventional renewable energy (NCRE) are being widely studied, because the worldwide increase in electricity (electrical energy) demand requires diversification and expansion of the country's energy matrix. Solar energy is one of the most studied because it is able to produce electricity and supply part of the current energy demand.

There are two types of implementation of photovoltaic systems that can be used in existing or under-construction buildings. The present thesis used a building which will implement a system type BAPV (Building-Applied Photovoltaics), in the city of Temuco. This system produces energy through photovoltaic solar panels attached to a previously constructed building. In order to assess the solar energy that can be captured by building facades, an instrument consisting of three radiometers oriented north, east and west was installed, whereas horizontal radiation and temperature data were obtained from meteorological stations near the study area. The electrical energy produced from horizontal and vertical photovoltaic panels was assessed. The overall electrical energy produced by solar radiation on the east, north and west façades, and on the roof of a building was estimated. Concurrently, we also assessed the energy and monetary savings in the costs of the building if this system is implemented

Although the use of solar radiation captured in facades sloping  $90^\circ$  is currently not used in our country, the results of this study show that the received radiation delivers a significant amount of energy capable of supplying various consumptions of a building. However, the energy produced with the horizontal radiation reaching the roof of the building is significantly higher, and therefore the energy captured on the facades can be used as a complement and not as the only method of obtaining energy. With regards to monetary savings, the investment would be recouped over a long-term period. It should be noted that the city of Temuco in the south of Chile has lower amounts of radiation and more cloud cover than cities located in the north of the country, however, the radiation received can be widely used to supply the current and future energy demand.

**Key words:** Solar Radiation, BAVP, facades, Temuco.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas Chile ha experimentado un aumento exponencial de la demanda energética. El 37% de las energías utilizadas provienen de combustibles fósiles, principalmente el petróleo y el gas natural, los cuales han ido disminuyendo progresivamente su disponibilidad, además de provocar diversos daños al ambiente en los procesos de extracción y producción de energía (CNE, 2008). Es por esto que, en los últimos años, el costo económico y ambiental de la dependencia de los combustibles fósiles ha promovido que la investigación se centre en nuevas fuentes alternativas de energía, como son las energías renovables no convencionales (ERNC), que poseen un menor costo ambiental y diversifican la matriz energética actual (CNE, 2008). Las ERNC se pueden obtener del viento, los ríos y corrientes de agua, materias orgánicas, el calor de la tierra y el sol. El sol es una fuente inagotable de energía y es el responsable de la mayoría de las formas de vida del planeta, es por esto que forma parte de las ERNC más estudiadas (CER, 2012).

La energía solar puede utilizarse para la producción de calefacción, uso sanitario, calentamiento de agua o bien para la producción de electricidad (CER, 2012). En cuanto a la producción de energía eléctrica, existen métodos de uso de energía solar que aún no son utilizados ni investigados en profundidad en Chile, basados principalmente en paneles solares fotovoltaicos en plano vertical, convirtiéndolos en una novedad capaz de ayudar a suplir diversos espacios energéticos del país (CER, 2012; CNE, 2015). No obstante, la energía solar para la generación de electricidad requiere cambios tecnológicos, nuevas infraestructuras y cambios socio-culturales (Mediavilla, 2012).

Existen dos tipos de implementación de sistemas fotovoltaicos en edificios, correspondientes a los “Building Integrated Photovoltaics” (BIPV) y “Building-Applied Photovoltaics” (BAPV) los cuales utilizan la radiación solar incidente que llega a edificaciones y hogares, pudiendo ser aprovechada en la producción de energía mediante paneles fotovoltaicos (Henemann, 2008; Jelle y Breivikb, 2012; Portolan y Rütther, 2012). En los edificios tipo BIPV, se sustituyen materiales convencionales de construcción por nuevos elementos generadores de energía, es decir, los módulos fotovoltaicos se convierten en un material más de construcción (Henemann, 2008; IDAE, 2012). Por otro lado, en los edificios tipo BAPV no se reemplazan los materiales tradicionales de construcción, sino que constituyen una adición de unidades integradas de paneles, una vez que el edificio se encuentra ya construido (James et al., 2011; Jelle y Breivikb, 2012).

Los sistemas fotovoltaicos capturan la energía solar y están contruidos con celdas fotovoltaicas (PV), las cuales están compuestas por un semiconductor que convierte la energía solar en electricidad de corriente continua (CER, 2012). Estos sistemas se pueden adaptar e integrar a construcciones, es decir, se integra una instalación fotovoltaica en cualquier superficie de un edificio, como tejados, cubiertas o fachadas (IDAE, 2012). La integración de los sistemas fotovoltaicos a estructuras urbanas se utiliza en países como

Estados Unidos, España, Japón, Países nórdicos, Holanda, Dinamarca, México (González et al., 2003; Eiffert y Gregory, 2000) y más recientemente en países como Corea del Sur, China y Alemania, entre otros (Schuetze, 2013). En Chile estos sistemas aún no son utilizados en profundidad, convirtiéndolos en una alternativa a investigar para la utilización de energías limpias.

Como ejemplo de estos tipos de implementación de sistemas fotovoltaicos, Alemania es un claro ejemplo en cuanto a la potencia que es posible obtener en la producción de electricidad, ya que el mercado alemán de BIVP para superficies en edificios se estima en 3000 km<sup>2</sup>, con una capacidad de instalación de aproximadamente 300 GW, lo que corresponde a la cobertura de alrededor de un 50% de la demanda de electricidad de todo el país (Schuetze, 2013). Si consideramos estas cifras y el avance exponencial de nuevas tecnologías, este método resulta ser viable al momento de construir nuevas edificaciones.

Según la Directiva 2010/31/EU (European Commission, 2010) del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética de los edificios, a partir de 2021 todos los estados deben construir nuevos edificios públicos con “energía cero”, es decir, toda la electricidad necesaria para el uso de las instalaciones debe provenir de energías renovables de fuentes cercanas. Esto también se aplica en la República de Corea, donde según la administración de energía del mismo país (Korea Energy Management Corporation; KEMCO), a partir de 2015 todos los edificios deben contar con energía cero (Schuetze, 2013). Diversos estudios se siguen realizando en diferentes países desarrollados, para comprobar la capacidad de producción de electricidad en construcciones a nivel residencial y en edificaciones de mayor tamaño (Memari et al., 2014; Second Workshop on Building-Integrated Photovoltaics, 2014).

Chile, al recibir grandes cantidades de radiación en comparación al resto de Sudamérica (Figura 1), hace indispensable experimentar en la obtención de energía eléctrica mediante radiación solar (Leiva et al., 2008). En 2010 se promulgó un beneficio tributario que subsidia hasta el 100% del costo de los sistemas solares para la producción de agua caliente en edificios y residencias (Ministerio de Energía, 2010). Además, se inició en enero de 2015 la construcción de una planta fotovoltaica en la Región de Atacama, que pretende convertirse en la más grande de América Latina (Ministerio de Energía, 2015a).

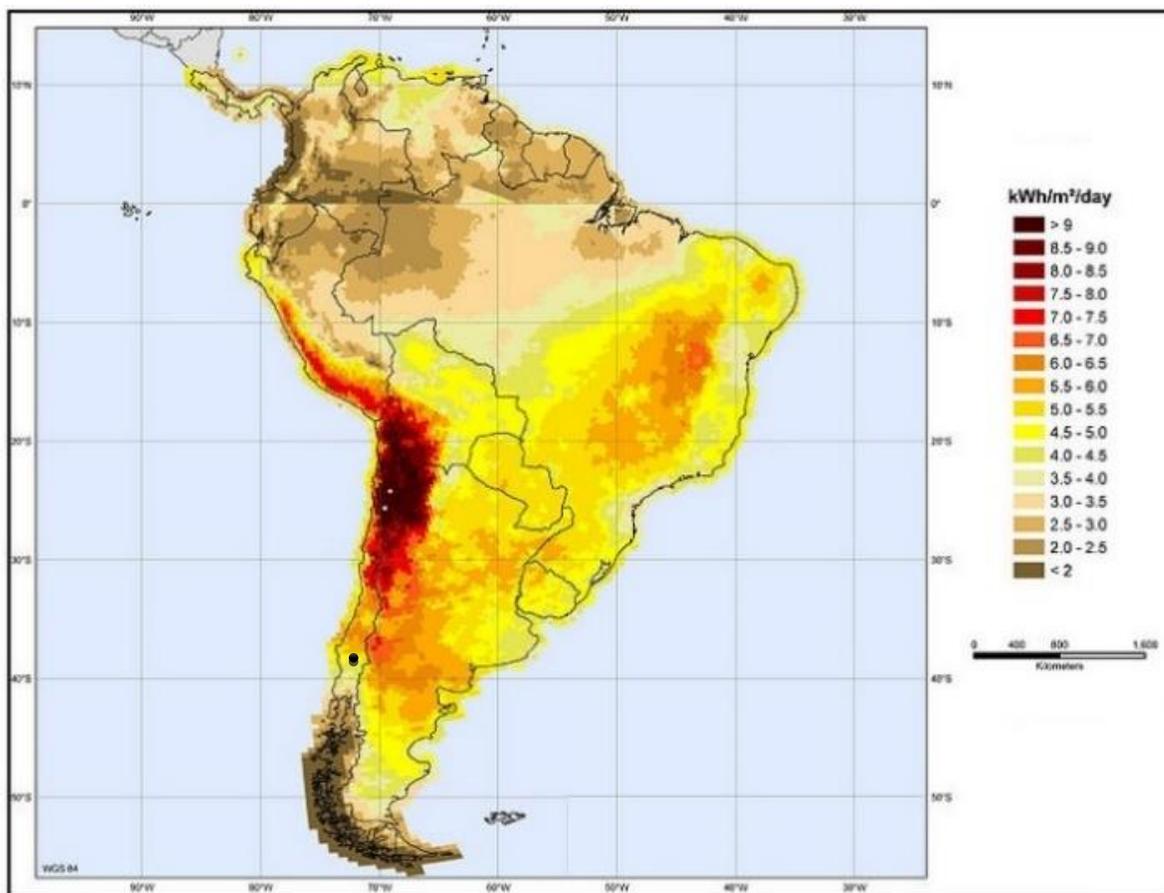


Figura 1. Promedio de Radiación Solar en Sudamérica. Punto negro indica la ciudad de Temuco. Fuente: NREL, (2010).

Si bien; se evidencia una creciente preocupación por diversificar la matriz energética en el país con el uso de energías renovables, la diversidad de modos de utilización de sistemas fotovoltaicos para la producción de electricidad aún es un tema por investigar. Por ejemplo, se desconoce la cantidad de energía que se generaría si se instalaran estos paneles en plano vertical de un edificio, aumentando así la superficie expuesta al sol. Esto puede ser relevante en áreas del sur de Chile, en donde la investigación de este tipo de energías es estudiada en menor cantidad, como en la ciudad de Temuco, lugar de estudio del presente proyecto. Esta área se escogió debido a la existencia de datos fiables y continuos de radiación en plano vertical existentes en la localidad, medidos como parte del proyecto FONDECYT al cual pertenece esta memoria.

Se analizará el comportamiento de la radiación solar en un edificio en dicha ciudad tanto en plano vertical como en plano horizontal. También, se estimará el ahorro energético y monetario que se produciría en un edificio tipo BAVP al instalar paneles en ambos planos.

## **Objetivos**

Evaluar la cantidad de energía eléctrica producida a partir de paneles fotovoltaicos horizontales y verticales en un edificio en Temuco.

### **Objetivos específicos**

1. Estimar la energía eléctrica que se produciría con la radiación solar global recibida en la fachada este, norte y oeste y en el techo de un edificio en Temuco.
2. Evaluar el ahorro energético que se produciría al instalar paneles solares fotovoltaicos en un edificio al comparar el consumo energético actual de este con la energía producida por los paneles.
3. Evaluar el ahorro monetario que se produce al disminuir el consumo de energía por métodos convencionales al utilizar paneles fotovoltaicos en un edificio en operación.

## MARCO TEÓRICO

### Contexto Nacional

#### Situación energética en Chile

En las últimas décadas, Chile ha experimentado un aumento de la demanda de todo tipo de recursos, al querer desarrollarse social, económica y tecnológicamente como país. Dentro de estos, la demanda energética ha sido una de las más afectadas, conllevando no solo a la necesidad de expandir la matriz energética, sino también al aumento del precio de la energía (Ministerio de Energía, 2015b).

Los principales problemas que experimenta el país es que ha mantenido desde a lo menos 20 años una pobre dotación de recursos energéticos primarios tradicionales, además de concentrarse en la generación de energía hidroeléctrica, quedando en vulnerabilidad respecto a los cambios climáticos últimamente experimentados (Corbo y Hurtado, 2014). Junto a esto, Chile comenzó a invertir en centrales de ciclo combinado, que al encontrar constantes dificultades en las restricciones del paso del gas (importado desde Argentina) se creó una dependencia del diésel y el carbón. Estas materias primas experimentan dificultades debido a los elevados precios luego de que se sustituyeran los insumos provistos por Argentina. Por otro lado, al ser la generación de energía eléctrica un rubro privado que se ha mantenido el mando en las mismas empresas desde hace décadas, las cuales representan un 75% de la capacidad total a nivel país, se ha mantenido un alto precio de la energía y una poca experimentación de nuevas alternativas (Corbo y Hurtado, 2014; Hernando, 2014).

Actualmente, en Chile operan el Sistema Interconectado Central (SIC) que hasta febrero de 2016 poseía una potencia instalada de 16.052,2 MW, abasteciendo a más del 90% de la población y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) que suma una potencia instalada de 4.162 MW hasta el mismo año. Este sistema se abastece principalmente por la energía producida en centrales termoeléctricas (60,1%) seguido de un 32% de origen hídrico, mientras que los sistemas de Aysén y Magallanes poseen una potencia que no supera los 50 MW y 101 MW respectivamente (Generadoras de Chile, 2016).

Ambos sistemas (SIC y SING) no han sufrido cambios estructurales durante las últimas décadas, sin embargo, los costos marginales de estos se han visto modificados, debido a las centrales carboneras que los abastecen y los problemas judiciales que han presentado durante los últimos años, como, por ejemplo: las centrales Bocamina II de Endesa, Campiche y Ventanas IV de AES Gener, Santa María de Colbún, entre otras. Así mismo, las centrales hidroeléctricas han avanzado en cuanto a la cantidad proyectos en estado de construcción que actualmente existen, no obstante, la mayoría de estas presentan problemas

con las comunidades que se encuentran en contra de estas construcciones, por lo que no se asegura que estas centrales comiencen su funcionamiento (Palma, 2014).

Por otro lado, en los últimos años Chile ha crecido en cuanto a la matriz de Energías Renovables No Convencionales (ERNC); hasta febrero de 2015 el país tenía una potencia instalada de 2.117 MW provenientes en su mayoría de la energía eólica, con una potencia de 452 MW y la solar, con 832 MW. Las ERNC se concentran principalmente en las regiones de Coquimbo (28% del total a nivel nacional) y Antofagasta (15% del total a nivel nacional) (Palma, 2014; Goyeneche, 2015). En marzo de 2016, la capacidad instalada de ERNC de las empresas pertenecientes a la Asociación Generadoras de Chile A.G. fue de 480,9 MW (Generadoras de Chile, 2016).

En cuanto a los proyectos en evaluación ambiental, durante enero de 2015 el SEIA acogió en trámite 6 nuevos proyectos, de los cuales 4 son solares y 2 eólicos. De esta forma, los proyectos en calificación suman un total de 7.413 MW, mientras que los proyectos con Resolución de Calificación Ambiental (RCA) aprobada que aún no están en construcción suman 15.037 MW. Durante enero de 2015, la generación de ERNC fue de un 9,15% de la matriz energética nacional, inyectando al SIC 455 GWh, una suma que triplica la inyección estipulada por obligación en la Ley 20.257, lo que mantiene las esperanzas de superar una inyección de un 20% hacia el año 2025 (Goyeneche, 2015).

Respecto a otros países, Chile se encuentra lejano a implementar las innovaciones que se están llevando a cabo a nivel internacional, debido a la falta de iniciativas legales y a la poca cultura de las ERNC que presenta la población. Como ejemplo se toman los países de Alemania, que ha experimentado una masificación de la energía eólica mediante incentivos por parte del gobierno y China, que ha impulsado la producción de tecnologías limpias, lo que ha conllevado a impulsar la baja de los precios y la pérdida de competitividad en las empresas que producen electricidad mediante convencionales (Corbo y Hurtado, 2014; Palma, 2014).

### **Agenda energética del Ministerio de Energía, 2014**

En base a la agenda energética del Ministerio de Energía (2014), se establece que durante el 2014 el gobierno de Chile se comprometió a cumplir 6 ejes relacionados en materia energética propuestos por la comisión correspondiente. El Ministerio de Energía aspira a la elaboración de energía confiable, sustentable, con una matriz eléctrica diversificada y equilibrada que garanticen mayor soberanía en esta materia.

El contexto mundial no es alentador si sobre recursos fósiles se trata, ya que el escenario que se proyectaba hace 30 años difiere totalmente del que se proyecta para 30 años más para este tipo de combustibles. Sumado a esto, la urbanización mundial y los países con grandes demandas energéticas, están provocando un aumento en el precio de la energía producida y una disminución de la disponibilidad de los combustibles fósiles.

En el contexto nacional, Chile importa el 60% de su energía primaria y en los últimos 10 años ha dependido del gas natural provisto por Argentina, involucrándose en las dificultades que esto trae, como las largas sequías y los permisos ambientales necesarios. Por otra parte, en nuestro país la leña es una fuente de primera necesidad, utilizada tanto para calefacción y para cocina en diversas zonas del país, siendo el segundo componente de mayor relevancia en la matriz energética, luego del petróleo.

De acuerdo a los contextos nacional e internacional y a la soberanía que se quiere obtener en materia energética, es que una de las metas y objetivos de la Agenda Energética del año 2014 fue levantar las barreras existentes para las Energías Renovables No Convencionales (ERNC), comprometiéndose a que un 45% de la capacidad de generación eléctrica que se instalará entre 2014 y 2025 provenga de fuentes renovables, cumpliendo de esta forma la Ley 20.698, que establece que de la incorporación de energía al sistema eléctrico central, un 20% debe provenir de ERNC.

El primer eje, “Un nuevo rol del estado”, establece dentro de sus lineamientos y metas que se incluyan nuevas funciones al Centro de Energías Renovables, transformándolo en el Centro Nacional de Fomento e Innovación en Energía Sustentable. implementando a su vez Programas Estratégicos de Innovación y Desarrollo Industrial en Energía Solar.

En el tercer eje de la agenda, “Desarrollo en Recursos Energéticos Propios”, se establece aprovechar las condiciones propias del país, como los vientos, el potencial hidroeléctrico, la energía geotérmica y las excepcionales condiciones de radiación solar que posee la zona norte y centro del país. En cuanto a energía solar, se promovió el uso de colectores solares térmicos y en materia de energía solar fotovoltaica, se estableció que durante 2015 se implementarán mecanismos de apoyo al financiamiento de las empresas para que faciliten su acceso a la autogeneración de energía, obteniendo así una oportunidad para reducir sus costos. Además, el 2014 se creó en Santiago la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, una unidad especializada en la fiscalización de la autogeneración de energía térmica y eléctrica.

En este contexto se crea la Política Energética de Chile con una visión a futuro, en donde se establecen nuevos ejes de trabajo y metas a lograr para el 2050. Los 4 pilares fundamentales de esta política son la seguridad y calidad del suministro de energía, la energía como motor de desarrollo, energía compatible con el medio ambiente y eficiencia y educación energética. En relación al cuidado del ambiente se plantea que hacia el año 2035 el 60% de la energía producida provenga de energías renovables y al menos un 70% para el 2050, reduciendo en 30% las emisiones de gases de efecto invernadero al 2030. Con esto se quiere lograr un estado avanzado en tecnologías para la producción de energías limpias, utilizando al máximo la infraestructura ya existente (Ministerio de Energía, 2015b).

### **Explorador solar en web, Departamento Geofísica U de Chile**

Durante la última década, la energía solar ha comenzado a ser valorada de acuerdo a las dificultades energéticas a nivel local y mundial, es por esto que se han financiado estudios que permiten obtener datos válidos y reales de la energía solar que reciben las diferentes regiones del país. Mediante estos es posible realizar una serie de investigaciones que ayuden a fomentar la utilización de esta energía en pro del cuidado del medio ambiente, para con el tiempo disminuir la utilización de energías convencionales.

Ante esto, el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile llevó a cabo un proyecto llamado “Ámbitos de investigación necesarios para el desarrollo eólico en Chile relacionados con el recurso viento”, por encargo del Ministerio de Energía y GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit), el cual midió la radiación solar a partir de modelos atmosféricos y datos satelitales con resolución de aproximadamente 1 km, durante el periodo 2003 y 2011 (Molina y Rondanelli, 2012).

Este explorador analiza la radiación solar superficial, entregando resultados gráficos. Utiliza una metodología donde combina el modelo de transferencia radiactiva (CLIRAS-SW) el cual calcula la radiación solar en cielo despejado; este modelo considera todas las interacciones de un rayo de luz proveniente del sol con los distintos componentes de la atmósfera (aerosoles, vapor de agua, nubosidad, etc.). Estos componentes atmosféricos, especialmente los distintos tipos de nubes, se estimaron mediante el satélite geoestacionario GOES EAST, a través de un modelo empírico basado en observaciones locales de irradiancia superficial. Además, se utilizó indirectamente el satélite MODIS que entrega mapas semanales de albedo superficial para Chile, esto se utilizó como referencia para detectar la nubosidad de GOES (Molina y Rondanelli, 2012).

La validación de esta metodología se llevó a cabo mediante la comparación con bases de datos de diferentes estaciones meteorológicas a lo largo del país, implementadas por GIZ y el Ministerio de Energía, en conjunto con información proveniente de la Dirección Meteorológica de Chile (Molina y Rondanelli, 2012).

El explorador solar permite seleccionar una región o localidad del país en el mapa satelital que la página presenta (Figura 2), en donde el usuario solicita la información que necesita, pudiendo ser esta Irradiancia Global Horizontal, el Albedo, Nubosidad, Viento y Temperatura. A la vez, permite generar un reporte que entrega datos detallados sobre el sitio seleccionado (latitud, longitud, elevación, mapa de ubicación), el promedio anual y mensual de radiación global horizontal para los años desde 2003 hasta 2012, con sus respectivos gráficos. Finalmente, entrega los promedios mensuales de insolación diaria y frecuencia mensual de nubosidad.

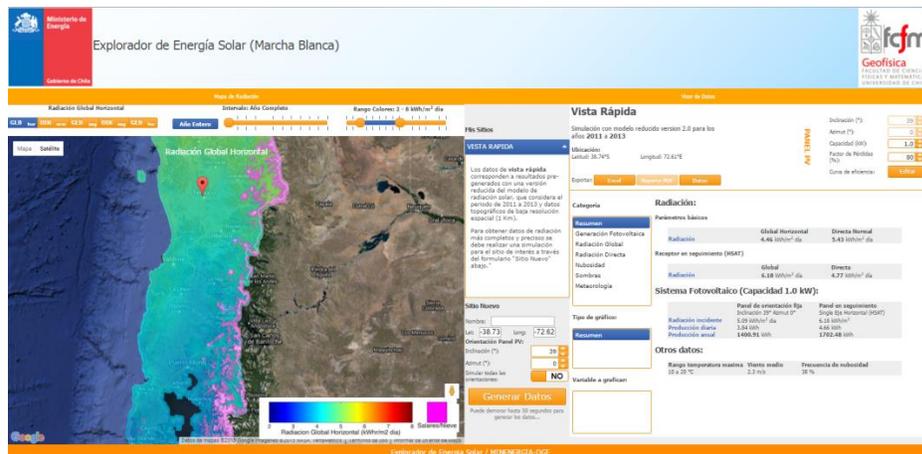


Figura 2. Visualización del Explorador Solar Web. Fuente: Ministerio de Energía, (2012).

## El sol como fuente de energía

### Utilización de la energía solar en Chile

Como se ha evidenciado, Chile aún es incipiente en cuanto a la explotación de las ERNC, no obstante, la energía solar es la rama más usada actualmente en el país, debido a las condiciones geográficas que este presenta. Dentro de sus usos es posible encontrar la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica (CNE, 2015).

La energía fotovoltaica es utilizada en aplicaciones de empresas de telecomunicaciones, en carreteras, sistemas de iluminación de faros y para la electrificación rural (PER), abasteciendo de energía eléctrica a viviendas rurales, escuelas y postas. (Bernardelli, 2010; CNE, 2015). Otro ejemplo de utilización de este sistema son los sistemas de potabilización de agua mediante la energía solar; este mecanismo es utilizado en la zona norte del país donde el abastecimiento de agua potable es escaso y la radiación solar abundante, de esta forma se crea un sistema de potabilización mediante membranas de desalación que funcionan a través de celdas fotovoltaicas (FCH, 2015).

La energía solar térmica, es utilizada con mayor intensidad y desde mucho antes que la energía fotovoltaica. Los colectores transforman la radiación solar en energía térmica lo que permite obtener agua caliente sanitaria a nivel residencial e industrial. Con el fin de utilizar esta energía, actualmente se está llevando a cabo la Ley 20.365 sobre subsidios de colectores solares térmicos para viviendas y edificios, de esta forma las empresas constructoras podrán, gracias al estado, subsidiar parte o todo el valor de la instalación de sistemas solares térmicos que entreguen agua caliente de uso sanitario. Para obtener este beneficio, el sistema térmico debe aportar al menos un 30% del promedio anual de demanda de agua caliente en las viviendas convenidas (Ley N° 20.635, 2009; CER, 2012; CNE, 2015).

Por otro lado, existe la combinación de estos sistemas, en las llamadas chimeneas solares, ciclos combinados o centrales solares termoeléctricas, en donde se utiliza el mecanismo de calentamiento de agua, lo que genera vapor, este hace funcionar turbinas que finalmente producen energía eléctrica (CER, 2012; Bernardelli, 2010).

### **Oportunidades de desarrollo existentes en la arquitectura y el territorio**

El territorio se relaciona con la arquitectura, de tal manera que cada forma, accidente geográfico y pared construida determina las posibilidades de uso de este, marcando estas características los límites de construcción y las edificaciones se convierten en los elementos modeladores, que en su conjunto convierten el espacio en el paisaje (Muntañola, 2004; Tillería, 2010). En los últimos 10 años, el paradigma del urbanismo ha trascendido al paradigma de la sostenibilidad, abriéndose campos a nuevos proyectos de arquitectura y urbanismo, construyendo edificios relacionados con el entorno y el medio ambiente; además, se practica el urbanismo del reciclaje y se buscan intervenciones a gran escala que conjuguen las leyes geométricas, estructurales y ecológicas que el territorio provee (Solà-Morales et al., 2000; Hernández, 2009).

Esta relación territorio-arquitectura ha existido desde los comienzos de la humanidad, buscando siempre alcanzar el máximo confort aprovechando las características del entorno, para lo cual se utilizan diferentes materiales capaces de captar o aislar el calor, siendo capaces de adaptarse a las variables climáticas de las diferentes zonas (Guimarães, 2008).

Los principales factores de clima que la arquitectura debe tener en cuenta son la temperatura del ambiente, la humedad, radiación solar, vientos, nubosidad y pluviometría. Estudios realizados por Cárdenas et al. (2012a), han demostrado que la sombra que pueden proveer los edificios continuos afecta de manera directa la radiación recibida, disminuyendo en un 16%. Esto genera que se deba aumentar en un 19% la cantidad de paneles solares en las fachadas que reciben menos sombra, con el fin de recuperar la radiación que se pierde.

Una obra arquitectónica considera estos factores como modificadores de su propia estructura y a la vez se considera a sí misma como modificador del territorio donde se inserta (Echeverría, 2012). Existen dos formas de relacionar el entorno a la arquitectura, principalmente en cómo utilizar la energía que el sol provee, siendo estas los diseños arquitectónicos pasivos y activos. Los diseños pasivos aprovechan las ventajas del clima y minimizan las desventajas de este, disminuyendo el consumo de energía, para esto se deben considerar factores como la orientación del edificio para recibir mayor radiación o mejorar la ventilación, la forma de este, la zonificación interior, el color de la estructura (fachadas y techo) y los materiales de construcción aprovechando las máximas características del territorio, para obtener una mayor ganancia energética sin ningún tipo de mecanismo ni transformación previa de esta. A este sistema también se le conoce como arquitectura bioclimática (Congreso Nacional de Energía, 2011; Echeverría, 2012; D'Alençon, 2013).

Por su parte, los sistemas activos utilizan determinados materiales para transformar la energía proveniente del sol, ya sea en energía eléctrica o térmica. La energía térmica se obtiene mediante sistemas de conducción y convección que almacenan la radiación para el posterior consumo. En cuanto a la generación de electricidad mediante sistemas fotovoltaicos, consiste en integrar estos materiales al diseño arquitectónico de un edificio o estructura, convirtiéndose en una innovación prometedora y adaptable a áreas urbanas que ya se encuentran construidas. En la actualidad los edificios se diseñan para aprovechar las máximas cualidades del territorio donde se insertan, integrando diversos métodos y materiales (Reinberg, 2009; D'Alençon; 2013).

### **Sistemas de utilización de la energía solar para electricidad en la arquitectura**

#### **Sistema fotovoltaico Building- Applied Photovoltaics (BAPV)**

El sistema BAPV (por sus siglas en inglés) corresponde a la superposición arquitectónica de la planta fotovoltaica sobre los elementos del edificio, vale decir, se agrega un sistema fotovoltaico a un edificio ya construido. Estos sistemas envuelven el edificio en cuestión o utilizan estructuras para la instalación, como se ve en la Figura 3 (IDAE, 2012; Valencia, 2013). Este método es el más utilizado en nuestro país.

El funcionamiento de este sistema es el conjunto de celdas fotovoltaicas que forman un módulo, el cual generalmente alimenta un inversor que transforma y sincroniza la energía en corriente alterna, utilizándola al instante o bien conectándose a la red central de electricidad; sin embargo, también existen sistemas aislados que guardan la energía producida en baterías, de tal forma de utilizarla en horas ausentes de sol o cuando se sobrepasa la cantidad de energía utilizada en el edificio en relación a la producida por los paneles (Castro et al., 2000).



Figura 3. Fachada BAVP en Madrid. Fuente: Google, (2015).

### **Sistema fotovoltaico Building Integrated Photovoltaics (BIPV)**

Este método consiste en la integración solar fotovoltaica en cualquier superficie de un edificio, tejado, cubierta o fachada. La integración solar fotovoltaica en edificios (BIPV por sus siglas en inglés), consiste en la sustitución de los materiales convencionales de construcción por nuevos elementos arquitectónicos generadores de energía. De esta forma no solo se piensa en la generación de energía eléctrica, sino también en el diseño arquitectónico del edificio. Este método se suele utilizar mayormente en fachadas de edificios o en tejados, en donde lo que se pretende es maximizar la eficiencia energética dentro del edificio que demanda la energía, además provee protección visual y de acondicionamiento, reduciendo costos en la calefacción o aireamiento del lugar, a su vez aporta iluminación natural y protección contra ruidos (Eiffert y Gregory, 2000; IDAE, 2012).

El costo de estos sistemas en la actualidad aún supera a la instalación de un sistema fotovoltaico tradicional, como fue revelado un estudio realizado por James et al. (2011), quienes determinaron que para el 2009 el sistema BIPV tenía menos de un 1% de capacidad total instalada a nivel mundial en comparación con métodos tradicionales.

Sin embargo, los beneficios que entrega este sistema, han ido promoviendo su utilización y la creación de nuevos sistemas para su funcionamiento lo cual ha disminuido los costos de instalación en los últimos años. Para el 2013, se estimó que el total de los productos BIPV vendidos representan más del 70%, representando así un 85% del mercado fotovoltaico, utilizándose en su mayoría celdas de silicio cristalino (Valencia, 2013).

El comercio ofrece una amplia variedad de productos para la utilización de este método, los módulos fotovoltaicos se pueden dividir en dos variedades. Se pueden nombrar los productos de cristal grueso, que incluyen celdas solares de silicio cristalino o policristalinos y los módulos de películas finas, láminas que se colocan sobre un sustrato de vidrio o metal. De esta forma, existen varias combinaciones posibles a utilizar, siendo estas módulos solares de vidrio- lámina que poseen láminas transparentes, blancas o negras, esta combinación tiene la característica de ser de bajo peso, por lo cual no requieren sistemas de seguridad especiales. También existen los módulos solares de vidrio- vidrio, que si bien tienen más peso, son más recomendados para las fachadas, como protectores solares y antepechos. Por último, están los módulos de vidrio aislado, también llamados fachadas cortinas o fachadas frías, consistiendo en el mismo módulo de vidrio-vidrio que se configuran para que sean una capa aislante entre la pared y los módulos solares, dejando un espacio de aireación entre la pared y el panel solar, ofreciendo protección contra el ruido, el calor o el frío (IDAE, 2012; ONYX, 2015; SolarNova, 2015).

En las figuras 4 y 5 es posible apreciar alguno de estos modelos de paneles que forman parte del diseño y construcción de diversas edificaciones.

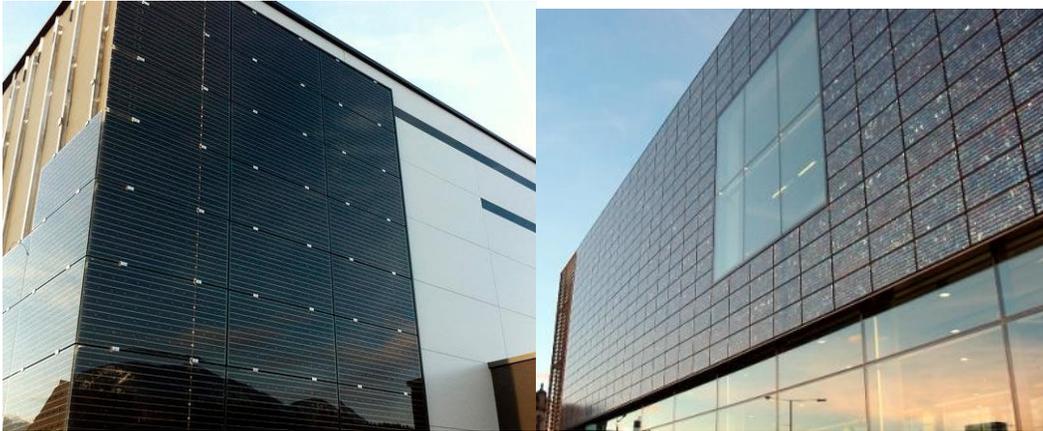


Figura 4. Fachada aislada BIVP. Fuente: Google, (2015).



Figura 5. Fachada con láminas fotovoltaicas sobre vidrio en España. Fuente: Google, (2015).

### **Funcionamiento y tipos de paneles solares**

Un panel solar está compuesto por un conjunto de celdas fotovoltaicas. Estas celdas están hechas de un material semiconductor, principalmente silicio. La estructura típica de una celda solar es la unión p-n. Un semiconductor tipo “n” se consigue dopando un cristal de silicio con fósforo (es decir, se le introducen impurezas) quedando así el semiconductor del tipo “n” con un exceso de electrones con respecto al silicio puro. Al contrario, el semiconductor del tipo “p” es cuando el cristal de silicio se dopa con boro, quedando con un menor número de electrones o con más “huecos”. De esta forma la unión p-n genera una diferencia de potencial cada vez que un haz de luz incide sobre la placa solar, generando de esta forma una corriente continua (Figura 6); esto es conocido como efecto fotovoltaico. Este efecto, se produce cuando un rayo de luz impacta una superficie fotovoltaica y esta se energiza. Cuando la energía alcanza un nivel crítico, se establece un voltaje a través de ella, capaz de formar corriente eléctrica; es decir, los electrones de valencia del material

semiconductor son arrancados por la energía de los fotones provenientes de la radiación solar recibida, tal como se muestra en la Figura 7 (Castro et al., 2000; Sarmiento, 2009; Vilaboa, 2009).

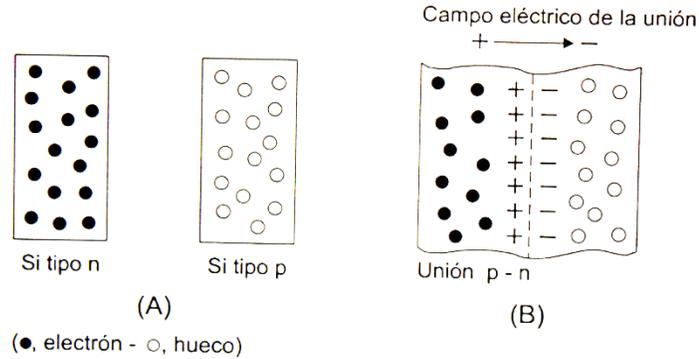


Figura 6. (A) Semiconductor tipo “n” (donde los electrones son mayoritarios) y semiconductor tipo “p” (donde los huecos son mayoritarios). (B) Unión “p-n”. Fuente: Castro et al., (2000).

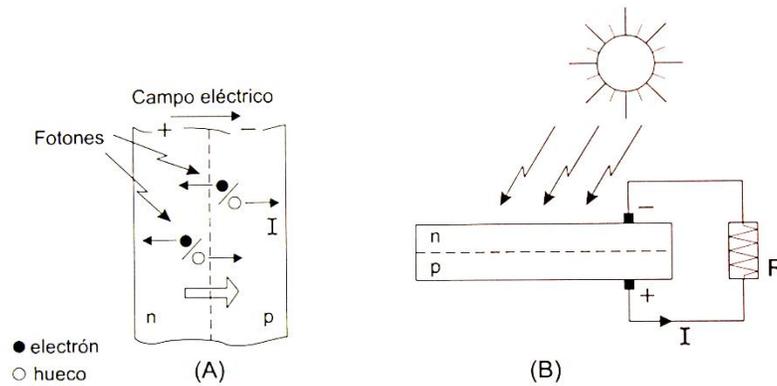


Figura 7. (A) Separación de portadores por el campo de la unión p-n. (B) Intensidad de corriente exterior de la celda solar. Fuente: Castro et al., (2000).

Existen diversos tipos de paneles solares, entre los que destacan los compuestos por células mono-cristalinas elaboradas de silicio mono-cristalino, es decir, están constituidas por un único tipo de cristal de silicio, esto es porque cuando se fabrican se controla el crecimiento del cristal, de forma que queda un alineamiento perfecto. En las celdas policristalinos no se controla el crecimiento del cristal, por lo cual crece en todas direcciones, creando conjuntos de cristales diferentes unidos entre sí. Por último, las células de silicio amorfo son fabricadas sobre una capa fina de amorfo (no cristalino) de silicio sobre una amplia variedad de superficies, lo que da la posibilidad de ser flexibles. Existen otros tipos de paneles como los de Teluro de Cadmio, Arseniuro de Galio, Diseleniuro de cobre en indio y paneles Tándem que combinan dos tipos de materiales semiconductores (Sarmiento, 2009; Vilaboa, 2009; SIMEC, 2014).

La eficiencia de cada una de estas células va disminuyendo en la medida que el cristal de silicio es menos puro, de esta forma un panel de silicio monocristalino tiene una eficiencia de un 24,7% en laboratorio y un aproximado de 16% en paneles comerciales, un módulo de silicio policristalino posee un 19,8% de eficiencia en laboratorios y hasta un 14% en paneles comerciales, un módulo amorfo oscila entre 5 y 10% de eficiencia en paneles comerciales y un 13% en módulos de laboratorio. Sin embargo, el costo de la fabricación de cada una de estas disminuye a medida que se hace más impuro (Sarmiento, 2009; Vilaboa, 2009; SIMEC, 2014).

El esquema básico de un sistema fotovoltaico requiere de un generador fotovoltaico (panel solar o módulo solar) el cual capta la radiación y la convierte en energía eléctrica. A si como también, un inversor o acondicionador de la energía eléctrica para adaptar la corriente continua a las características que se requieren, ya sea para almacenar la energía o transformarla a corriente alterna y una batería o acumulador para almacenar la energía eléctrica y así poder utilizarla en periodos en donde no se recibe radiación solar. Este sistema se aprecia en la Figura 8 (Castro et al., 2000).

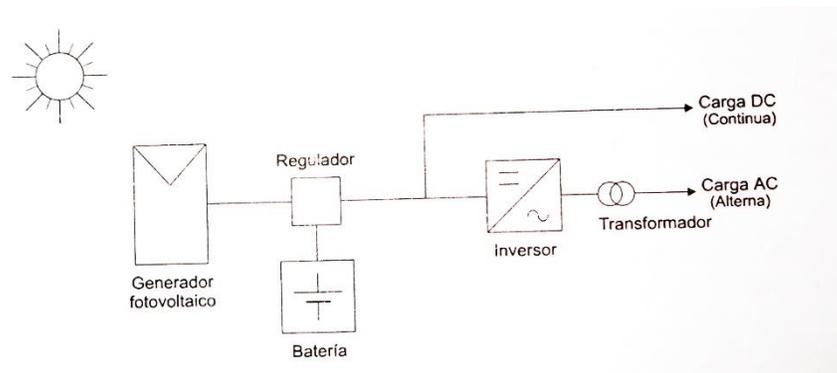


Figura 8. Esquema general de un sistema fotovoltaico. Fuente: Castro et al. (2000).

No obstante, en sistemas fotovoltaicos en edificios con el método BIVP, la mayoría de las veces, en ejemplos vistos de otros países, el método de funcionamiento es sin acumulación de energía, vale decir, la corriente generada es utilizada en el instante o el sistema se conecta a la red central.

## ÁREA DE ESTUDIO

### Ubicación geográfica de la ciudad de Temuco

El lugar de estudio es la ciudad de Temuco ( $38^{\circ} 44' S$ ;  $72^{\circ} 35' W$ ) (Figura 9). Los datos que se utilizaron en esta memoria se obtuvieron desde la Universidad de la Frontera. (Figura 10). Geofísicamente la comuna presenta Cordón montañoso Ñielol, Llanura aluvial, Llanura de inundación, Plataforma, Terrazas superiores, media e inferior. En cuanto a la topografía, Temuco es una ciudad mayoritariamente plana, sin relieves significativos. No obstante, está rodeado por los cerros Conun Huenu y Ñielol (I. Municipalidad de Temuco et al., 2012).

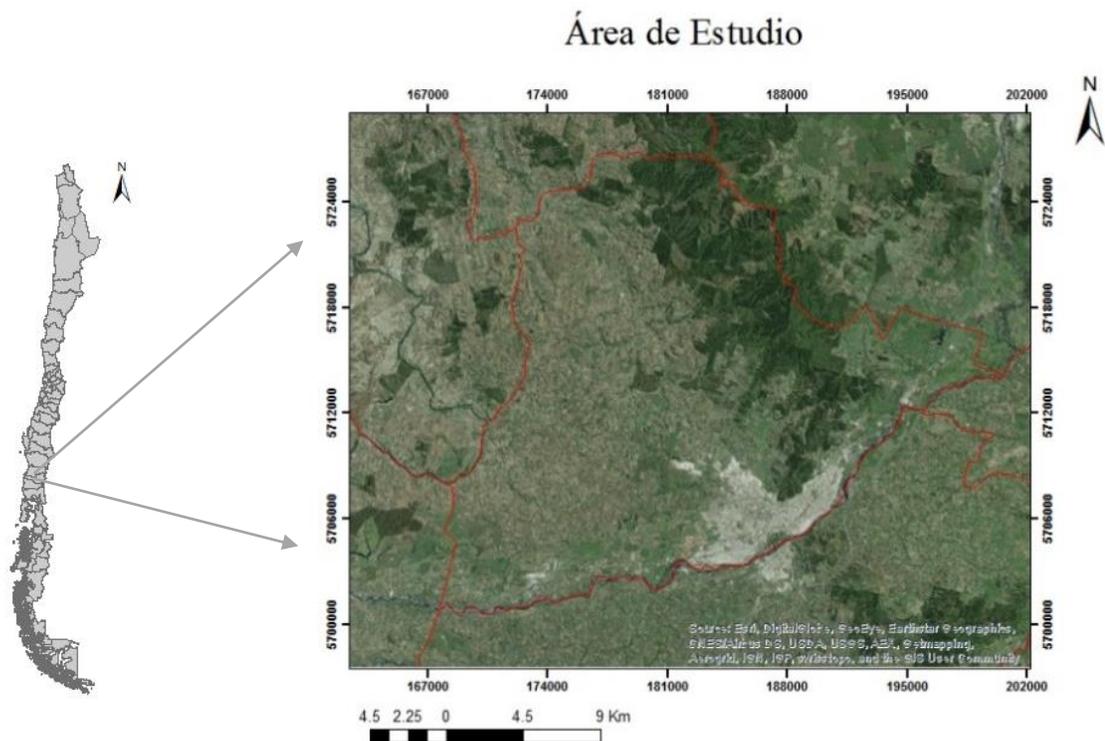


Figura 9. Región de la Araucanía, Temuco.

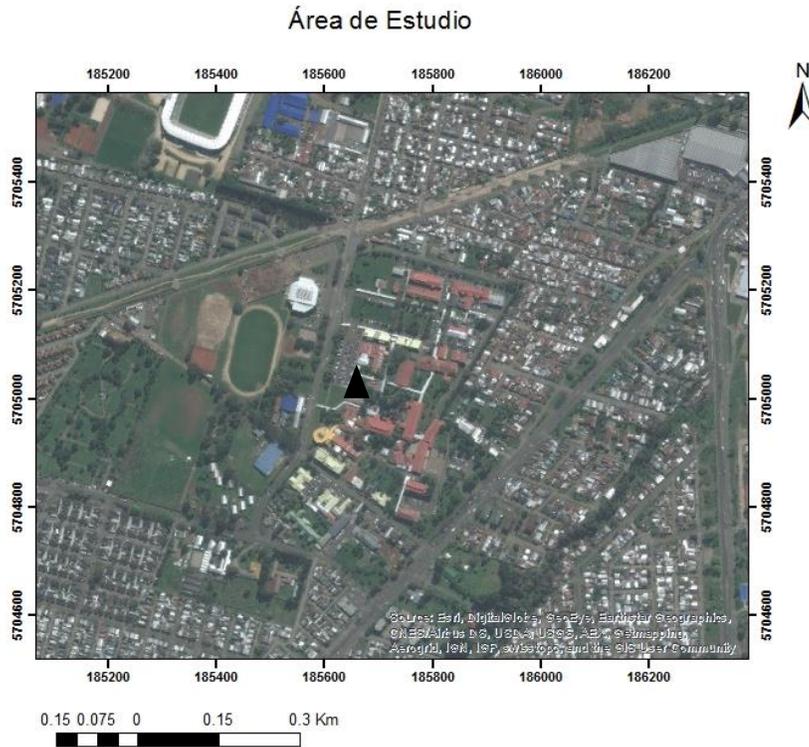


Figura 10. Universidad de la Frontera. Triángulo negro indica área de medición de datos.

### Antecedentes climáticos

Las estaciones de Temuco registraron precipitaciones anuales de 955, 778,2 y 1247,9 mm en 2012, 2013 y 2014 respectivamente (DGAC y Dirección Meteorológica de Chile, 2013; Agromet, 2015; INE, 2015), siendo los meses de febrero y diciembre los que presentan menor agua caída, alcanzando solo los 13,2 y 26 mm respectivamente. Por otro lado, mayo presenta 163,4 mm y julio 270 mm, siendo los meses de mayor precipitación (Agromet, 2015).

La temperatura media anual de la zona fue de 11,6°C el 2013, variando milésimas respecto a años anteriores, siendo la máxima alcanzada en enero (36,5°C) y alcanzando una mínima en julio (-5,4°C), mientras que en 2014 el promedio medio anual fue de 23,5°C, mientras que la máxima temperatura fue de 32,5 °C en enero y la mínima de 0,6°C en julio (DGAC y Dirección Meteorológica de Chile, 2013; Agromet, 2015; INE, 2015).

La nubosidad que presenta la ciudad de Temuco en promedio durante los últimos años, varía entre los 3,6 octavos en diciembre y 6,9 octavos en junio durante las mañanas. La ciudad presenta una totalidad de 20 días con cielo cubierto (nubosidad superior a 6 octavos) durante los meses mayo y junio y un máximo de 21 días de cielo cubierto en julio,

presentando una totalidad de 141 días durante el 2013 con días de cielo cubiertos. Por otro lado, el mes de diciembre es el que presenta mayor número de días con cielo descubierto (menor a 2 octavos) equivalente a 15 (DGAC y Dirección Meteorológica de Chile, 2013).

En cuanto a la humedad relativa (HR), la zona suele presentar abundante porcentaje de esta durante la mayor parte del día. El 2013 Temuco presentó un promedio anual de 91% de HR alrededor de las 8 hrs, 61% de HR alrededor de las 14 hrs y 78% de HR alrededor de las 20 hrs (DGAC y Dirección Meteorológica de Chile, 2013).

Respecto a la radiación solar horizontal en la zona de estudio, posee un promedio anual entre 2003 y 2011 de  $4,19 \text{ kWhm}^{-2}\text{día}^{-1}$ , oscilando entre los  $1,81 \text{ kWhm}^{-2}\text{día}^{-1}$  en meses fríos y  $7,58 \text{ kWhm}^{-2}$  día en meses cálidos (FCFM, 2015). La Figura 11 muestra la radiación global medida en la estación meteorológica Las Encinas de Temuco en  $\text{Wm}^{-2}$  durante el periodo 2004- 2013, sobrepasando en los meses cálidos los  $800 \text{ Wm}^{-2}$ .

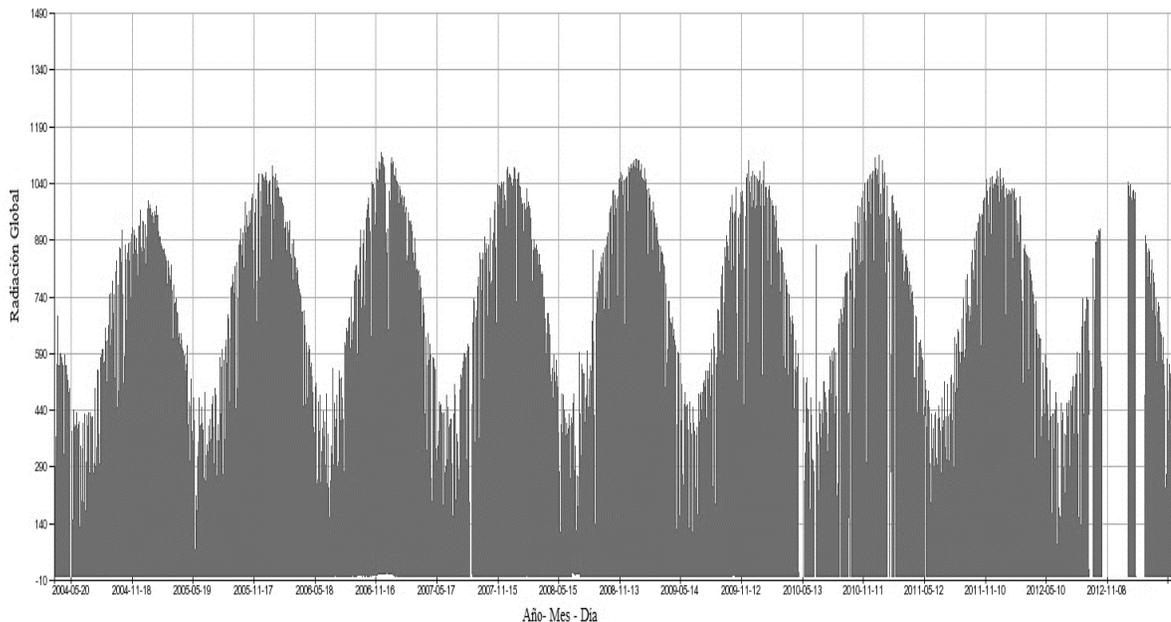


Figura 11. Radiación Global de Temuco ( $\text{Wm}^{-2}$ ). Fuente: SINCA, (2015).

### **Contaminación visual y ambiental que afecta la radiación recibida en la ciudad**

Temuco es una de las ciudades del sur del país más afectadas por la contaminación ambiental. La contaminación del aire ha llevado a declarar la zona como saturada en más de una ocasión, debido a que el material particulado grueso ha llegado a 472 microgramos por metro cúbico de aire. El 2005 fue la primera vez que Temuco se declaró como zona saturada y recién en 2010 se llevó a cabo un plan de descontaminación. El 92% del material

particulado generado es a causa de la utilización de leña como fuente de calefacción, consumiendo aproximadamente 600 mil metros cúbicos de este combustible en el 2011 (Asenjo, 2011). Durante el 2013, Temuco presentó 85 episodios críticos de contaminación de MP<sub>2,5</sub> excediendo hasta 8 veces la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Durante el periodo 2014-2018 se comenzaron a ejecutar planes de descontaminación y prevención atmosférica para la ciudad de Temuco y alrededores (MMA, 2014).

Esta es una de las variables fundamentales en la cantidad de radiación solar recibida en la superficie terrestre. Estudios realizados por Cárdenas et al. (2012b) para conocer la interacción entre los competentes de la atmósfera y la radiación solar han llegado a la conclusión que uno de los factores más importantes que afectan la radiación recibida corresponde a las partículas de aerosol presentes en la atmósfera, ya sean sólidas o líquidas, además de la nubosidad presente (Wen, 1996; Eltbaakh et al., 2012). Las partículas de aerosol influyen en la turbidez de la atmósfera y dependerá de la climatología del lugar y la contaminación presente el grado en que esta aumente. Cuando los aerosoles son suficientemente grandes en tamaño, se dispersan y absorben la luz, cuando son pequeños actúan como núcleo de condensación de nubes, ayudando a la formación de estas y aumentando la reflectividad, de esta forma aumenta la radiación difusa que llega a la superficie terrestre (Eltbaakh et al., 2012; Zhao et al., 2013).

Por otro lado, Temuco presenta durante la mayor parte del día gran porcentaje de humedad relativa y en cuanto a nubosidad, se caracteriza por tener más de 130 días con cielo cubierto que descubierto durante el año. Las partículas naturales como el vapor de agua, también provocan turbidez en la atmósfera, afectando la radiación solar recibida; estas influyen en la radiación solar de manera directa e indirecta dependiendo del tamaño y las propiedades ópticas y físicas de la partícula (Eltbaakh et al., 2012). Mediante los estudios realizados, es posible concluir que la radiación dependerá, en gran medida, de los factores atmosféricos presentes en la zona de estudio, ya que en días nublados la radiación será mayormente difusa (Soler y Ramírez, 1995; Sarmiento, 2009).

Es importante mencionar, las características de una ciudad para implementar medidas avanzadas en la utilización de la energía solar. Se deben tener en consideración la orientación de las fachadas a utilizar, las sombras producidas por árboles u otros edificios, la influencia de la hora del día y el número de estas y las variables meteorológicas y topográficas (Cárdenas y Uribe, 2012), debido a que no será igual instalar sistemas solares en lugares con mayor radiación como Arica y lugares con menor radiación como Temuco (Sarmiento, 2009). Estas variables constituyen dificultades si se quiere implementar métodos como el BIVP o BAVP, en especial este último, ya que las infraestructuras de la ciudad no fueron creadas para la instalación de sistemas para el aprovechamiento del sol.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Materiales

#### Dispositivos utilizados y ubicación

Parte de los datos a utilizar fueron obtenidos por el proyecto “Aprovechamiento Energético Solar en fachadas de edificios integrando el entorno urbano”<sup>1</sup>. La radiación global en plano vertical se midió entre enero-diciembre de 2014 y fue registrada con radiómetros Kipp & Zonen (Figura 12), los cuales constan de un sensor de alta precisión y un difusor cónico. La radiación fue medida a través de 3 radiómetros en las orientaciones norte, este y oeste con una pendiente de 90°. La orientación sur no fue medida por el equipo, lo que se debe a la escasa intensidad de radiación que recibe. Los datos fueron almacenados en un “datalogger” (Figura 12) de las mismas características de origen que los radiómetros. Los aparatos se encuentran ubicados en la azotea de la Universidad de la Frontera (UFRO) de Temuco, como ejemplo se muestran los mismos aparatos ubicado en la ciudad de Santiago en la Figura 13.

El resto de los datos, correspondientes a la radiación horizontal y la temperatura ambiente, se obtuvieron de la estación Carillanca de Temuco. Esta base de datos se descargó de la página de la Red de Agrometeorología a cargo del Instituto Nacional de Investigaciones (Agromet, 2015).



Figura 12. Imagen de referencia Radiómetro (izquierda) y Datalogger (derecha) Kipp & Zonen.

---

<sup>1</sup>Proyecto FONDECYT, Investigador Responsable: Cárdenas, L.A. Co-investigador: Morales, L., años 2013-2015.



Figura 13. Radiómetro y Datalogger Kipp & Zonen ubicados en Santiago.

Para estimar el consumo de energía se utilizó el edificio del Centro de Justicia de Santiago de Chile, debido a que es un edificio público de oficinas; que tienen un gasto significativo de consumo energético<sup>2</sup>. Además, el Centro de Justicia posee la superficie disponible para la simulación de instalación de paneles solares en las fachadas verticales, ya que el exterior se conjuga con muros cortina de aluminio y cristal (Centro de Justicia, 2015). Esta área es ideal para suponer que los cristales podrían ser módulos fotovoltaicos (figuras 14 y 15). Para esta investigación se supondrá que el edificio está emplazado en Temuco y se considerará como modelo, ya que puede ser replicado en virtud de los estándares de superficies requeridos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) (MOP, 2011; Ministerio de Desarrollo Social, 2013) En la Figura 16 se observa la similitud de las edificaciones de defensoría en el país de acuerdo a estas tipologías. De esta manera, los resultados de esta memoria serán un análisis para la factibilidad de utilizar la radiación solar global recibida y en la hipotética implementación de un edificio tipo BAPV en la ciudad de Temuco. Por lo tanto, se utilizará el consumo energético y las dimensiones del Centro de Justicia, como un edificio tipo, de tal forma que los métodos utilizados sean replicables a otros lugares. Para hacer representativo este edificio, se ocuparán datos específicos de la localidad de Temuco (tarifas de electricidad). También se utilizará una escala apropiada de trabajo, por lo cual se considerará solo una parte del edificio, ya que el tamaño total de este estaría sobredimensionado para la ciudad (Figura 17).

---

<sup>2</sup>No se usaron datos de un edificio en Temuco porque se envió una solicitud de acceso a datos de consumo de energía a la Universidad de la Frontera y al Centro de Justicia de Santiago. Dentro de la fecha establecida para la respuesta, la Universidad de la Frontera no entregó ninguna información, mientras que el Centro de Justicia envió los datos de consumo energético para cada mes del 2014.



Figura 14. Ventanas cubiertas de cristales del Centro de Justicia de Santiago.



Figura 15. Arriba, ventanas cubiertas de cristales de los edificios de Defensoría (izquierda) y Fiscalía (derecha).



Figura 16. Fachadas de edificios públicos. De izquierda a derecha: Defensoría Penal Pública en Valdivia; Tribunal de Apelaciones en Temuco; Centro de Justicia en Santiago.



Figura 17. En rojo edificios utilizados, Fiscalía (derecha) y Defensoría (izquierda).

## Método

Se entenderá como ahorro energético; la disminución en el consumo de energía proveniente del tendido eléctrico usual, ya que se compensará con la energía producida por los paneles solares. Para esto se utilizará el consumo de energía de un edificio público según los estándares propuestos por el MOP. El consumo de energía se entenderá como la cantidad de kiloWatts (kW) que se utilizan durante un intervalo de tiempo de referencia (kW/día, kW/mes, kW/año). La disminución en el consumo de energía finalmente se traducirá en disminución del costo operacional, entendiéndose como la disminución de energía consumida por métodos convencionales al usar energía propia, una vez que se haya recuperado la inversión inicial de la instalación de los paneles.

### Manejo de datos de radiación

**Objetivo específico 1.** Estimar la energía eléctrica que se produciría con la radiación solar global recibida en la fachada este, norte y oeste y en el techo de un edificio en Temuco.

## 1. Procesamiento de datos de radiación solar global en superficies verticales y horizontales

Los datos de la investigación corresponden a la radiación global recibida en los sensores ubicados en superficies verticales con orientación norte, este y oeste. Estos presentaron un desfase de aproximadamente 4 horas en los meses de verano y 5 en los meses de invierno, respecto de la hora de salida y puesta de sol, considerando que hasta el 2014 aún era efectivo el cambio horario realizado a nivel país. Esto se corrigió de forma manual en una planilla de Excel, tomando en consideración la hora de salida y puesta de sol aproximada de cada mes en cuestión. Por otra parte, los datos de orientación oeste, presentaron valores muy altos durante la noche, debido a una fuente externa de luz que afectó a los sensores del radiómetro. Estos valores fueron suprimidos desde la hora de puesta de sol de cada mes correspondiente.

Para trabajar de forma gráfica la base de datos fue modificada en cuanto a la escala temporal, debido a que las mediciones se realizaron cada 10 minutos, se convirtieron a datos horarios, lo que fue realizado para proceder a trabajar tanto con los diarios y mensuales. Con este procedimiento se construyó una base de datos de radiación en plano vertical y en plano horizontal.

Por otro lado, la base de datos tuvo aproximadamente 14 días sin valores de radiación, presentando lagunas de datos durante 3 días en enero, 1 en junio, 1 en septiembre y 9 en octubre, esto debido a una falla humana en la extracción de estos. Para corregir este error se intentó trabajar con ecuaciones para radiación con ángulo de  $90^\circ$  propuestas por autores como Iqbal (1993), Younes, et al. (2005), Duffie y Beckman (2006), Plasencia et al. (2007), Sarmiento (2009) y Oluwaseyi (2014); sin embargo, con estas no se pudieron integrar todas las variables que contempla la radiación con la que se estaba trabajando.

Ante esto, se realizó un análisis estadístico que consistió en un control de calidad de los datos, para lo cual se hizo una prueba de salto con resolución horaria (Ecuación 1). Esta consiste en fijar un delta calculado a partir de la serie de datos que se va a analizar, mediante un percentil a escoger. El delta se comparó con un umbral de promedios horarios de radiación consecutivos, con el fin de conocer los saltos de tiempo en la base de datos (Araya, 2010).

$$|R_i - R_{(i-1)}| > \delta \quad (1)$$

Donde:

$|R_i - R_{(i-1)}|$  : Umbral de magnitud de la diferencia de radiación entre las horas consecutivas por encima del cual los promedios horarios de radiación serán considerados anómalos.

$\delta$  : Delta de comparación

También se realizó una prueba de límites de tolerancia (Ecuación 2), la cual consta en identificar a los valores de radiación fuera del rango esperable. Esta prueba consiste en establecer un límite inferior y uno superior de valores que se compararán con el promedio horario de radiación. Se consideraron como datos anómalos a aquellos que varíen un 10% del promedio horario (Araya, 2010).

$$Rg_{min} \leq Rg \leq Rg_{max} \quad (2)$$

Donde:

$Rg_{min}$  y  $Rg_{max}$  : Límites inferior y superior de valores de radiación

$Rg$  : Promedio de los valores de radiación

Una vez realizadas estas pruebas, los valores anómalos se eliminaron, transformándose en “Gaps”. Para solucionar estas “Gaps” se trabajó con el método de interpolación con la ponderación de distancias inversas (IDW por sus siglas en inglés) (Ecuación 3), en el cual se evalúa el grado de influencia de los puntos cercanos al valor faltante, expresados por el inverso de la distancia elevado a un exponente, en este caso 2, teniendo más peso los valores cercanos al valor desconocido (Pizarro et al., 2003; Niño, 2011). Para realizar esta operación se trabajó con los valores diarios de radiación y se utilizaron 10 días como valores cercanos antes y después de la fecha incompleta.

$$IDW = \frac{\sum \left( \frac{1}{d_{(x)}^2} \right) * R_{(x)}}{\sum \left( \frac{1}{d_{(x)}^2} \right)} \quad (3)$$

Donde:

$d_{(x)}$  : Distancia temporal desde el punto  $x$  al valor faltante

$R_{(x)}$  : Radiación en el punto  $x$

Para realizar las operaciones pertinentes del cambio de la escala temporal de los datos, realización de gráficos y aplicación de ecuaciones, se utilizó el lenguaje de programación R y el programador Visual Basic.

## 2. Cálculo de energía producida por panel solar

Se seleccionó un panel estándar policristalino de 60 celdas fotovoltaicas, cada una de 156x156 mm, el cual tiene una eficiencia de un 16% y una potencia de 260W, con vidrio templado y de alta transmisión (permite sobre un 90% del paso de la luz), de dimensiones totales de 1640x992x40 mm (Figura 18). Esta decisión se tomó en base a revisiones bibliográficas sobre el método a utilizar.



Figura 18. Panel Solar seleccionado para la investigación. Fuente: ReneSola (2015).

Para calcular la potencia máxima del generador se utilizaron ecuaciones basadas en las propuestas por Townsend (1989). Las ecuaciones que se emplearon (ecuaciones 4 y 5) se encuentran en el Programa de Capacitación en Energías Renovables (ONUDI, 2013) y en el libro Energías Renovables para el Desarrollo (García et al., 2008).

$$P_m = P_{m\ ref} \frac{G}{G_{ref}} [1 - \gamma(T_c - T_{c\ ref})] \quad (4)$$

Donde:

$P_m$  es la potencia máxima del generador en las condiciones deseadas de irradiancia  $G$  y temperatura de la celda  $T_c$

$P_{m\ ref}$  es la potencia máxima del generador en las condiciones de referencia (260W)

$G_{ref}$  es la irradiancia solar en las condiciones de referencia (1000W/m<sup>2</sup>)

$T_{c\ ref}$  es la temperatura de la celda en las condiciones de referencia (25°C)

$\gamma$  es el coeficiente de variación del punto de máxima potencia con la temperatura (-0.4 %/°C)

$T_c$  es la temperatura de la celda instantánea (hora a hora), la cual se obtiene de la siguiente fórmula:

$$T_c = T_a + \frac{TONC - 20}{800} G \quad (5)$$

Donde:

$T_a$  es la temperatura ambiente de la zona de trabajo (hora a hora) °C

$T_{ONC}$  es la temperatura de operación nominal de modulo fotovoltaico (45°C)

$G$  es la irradiancia solar ( $Wm^{-2}$ )

**Objetivo específico 2.** Evaluar el ahorro energético que se produciría al instalar paneles solares fotovoltaicos en un edificio al comparar el consumo energético actual de este con la energía producida.

1. Cálculo de la variación en el consumo de energía desde el tendido eléctrico usual al utilizar la energía producida por los paneles solares fotovoltaicos.

Para conocer la energía que consumió el edificio mensualmente desde enero a diciembre de 2014 y los costos asociados, se elevó una solicitud de acceso a la información, vía web en el portal de transparencia. La solicitud fue respondida dentro de los 20 días hábiles posteriores, entregando toda la información solicitada, siendo esta el consumo de energía que presentaron los edificios de Fiscalía y Defensoría mensualmente durante el 2014.

El cálculo de la energía que el sistema solar integrado aportaría si ocupara un edificio tipo BAVP se obtuvo calculando el número de paneles requeridos hasta obtener una aproximación a la superficie disponible en el edificio (fachadas verticales con orientación este, norte y oeste y el techo).

Para esto fue necesario estimar las medidas de los edificios con los cuales se trabajó, esta información también se pidió mediante solicitud de transparencia, sin embargo, no hubo respuesta satisfactoria. Por lo tanto, al no haber información de planimetría de los edificios, se estimaron en conjunto con un arquitecto las aproximaciones de dichas medidas, mediante el uso de Google Earth e imágenes obtenidas en terreno. A partir de esto, se calcularon las medidas de altura, ancho y alto de los dos edificios en cuestión, diferenciando entre medidas totales y las pertenecientes a las estructuras de vidrio. Una vez que se obtuvieron las medidas se procedió a calcular el número de paneles totales que sería posible instalar en dichos edificios, utilizando las medidas del panel escogido. De acuerdo a lo planteado anteriormente, se estimó el número de paneles en las fachas este, norte y oeste y además se consideró la superficie disponible en el techo, dejando para este último el mismo margen que existe entre el área total y el de las ventanas que existe en las fachadas verticales.

Para calcular la variación energética con y sin el uso de los paneles, se calculó la potencia total que se obtendría con el total de paneles instalados, extrapolarlo la potencia unitaria obtenida anteriormente al número total de paneles. La variación se obtuvo mediante un delta entre el consumo de energía del edificio y la potencia total generada mediante energía solar. Además, se calculó el porcentaje de energía que aportan los paneles para cada mes.

**Objetivo específico 3:** Evaluar el ahorro monetario que se produce al disminuir el consumo de energía por métodos convencionales al utilizar paneles fotovoltaicos en un edificio en operación.

Para conocer el ahorro monetario se tomó en cuenta la instalación del sistema fotovoltaico y el aporte energético que este generaría, estimando la inversión y el periodo de recuperación, esto se hizo considerando los paneles de cada fachada y del techo de los edificios. Se consideró un horizonte de 10 años, ya que el panel fotovoltaico escogido asegura una eficiencia de un 90-100% durante este lapso. Como ingreso económico se utilizó la energía que producen los paneles valorada a precio de mercado en Temuco desde enero de 2012 hasta abril de 2016. Con dicho horizonte de datos se calculó la tendencia que estos siguen con el fin de estimar los valores para los siguientes 10 años.

Para conocer el costo de la instalación de los paneles fotovoltaicos, se realizaron cotizaciones a diferentes empresas, ocupando finalmente el valor de menor costo, el cual corresponde a \$1250 + IVA por Wp instalado (Watt Pico; unidad de Potencia del panel solar fotovoltaico).

Debido a que los paneles fotovoltaicos son un aporte para el consumo de electricidad que tienen los edificios utilizados, no es posible utilizar una ecuación que considere los costos de la energía que estos no son capaces de suplir, ya que se obtendrían valores negativos constantemente. Esto porque los paneles no son capaces de suplir el consumo total de electricidad. Por lo cual se consideró para el periodo de recuperación el monto inicial de inversión y el aporte monetario de la potencia generada por los paneles evaluado a la tarifa de Temuco, de esta forma se hizo una evaluación cerrada que consideró únicamente el sistema fotovoltaico. La ecuación utilizada para calcular el periodo de recuperación se muestra a continuación (León-Machado et al., 2010):

$$PRD = \text{años negativos} \frac{\text{Valor último año negativo}}{\text{Valor siguiente al último año negativo}} \quad (6)$$

Donde:

Año negativo corresponde al año en el cual los ingresos son valores negativos, es decir, se consideran pérdidas de ganancia.

## RESULTADOS

### Objetivo 1

#### **Presentación de la radiación obtenida en los planos verticales y plano horizontal en la ciudad de Temuco**

Los gráficos de radiación por cada fachada (norte, este y oeste) (figuras 19, 20, 21, 22, 23 y 24), se construyeron mediante el programa estadístico R (de libre acceso), desde enero hasta diciembre de 2014. En estos se ve expresado con claridad la tónica que sigue la radiación solar a lo largo del día, aportando mayor radiación en las diferentes orientaciones dependiendo de la hora del día. Además, se ven reflejadas las diferentes horas de sol que tiene cada mes debido a la alternancia de las estaciones del año. Estos gráficos representan el día tipo del mes, graficando los valores horarios durante cada día.

La fachada este recibe mayor radiación durante las primeras horas del día, alcanzando su mayor valor alrededor de las 10:00 AM, mientras que la fachada norte recibe mayor radiación durante el mediodía, teniendo su “peak” a las 12.00 AM. o cercano a esta. Por otro lado, la fachada oeste recibe mayor radiación durante las horas de la tarde, presentando su mayor valor cercano a las 18:00 hrs, esto debido a la trayectoria que sigue el sol a lo largo del día.

A su vez, se puede observar que los meses con mayor radiación son los de verano (enero, febrero, noviembre y diciembre), mientras que los con menores valores son aquellos de otoño- invierno, no superando los  $0,8 \text{ kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$  ningún día el mes de julio en ninguna orientación. La fachada norte siempre presenta valores más bajos que las fachadas este y oeste, sin embargo, son más constantes durante todo el año.

En cuanto a la radiación recibida en las orientaciones este y oeste, se mantienen de forma casi constante a lo largo del año, no obstante, existen meses en que la radiación recibida en la orientación oeste es significativamente mayor, lo que conlleva a que la utilización de la radiación en esta fachada sea en algún grado más provechosa para su utilización. Cabe considerar que el sistema con el cual se está suponiendo la utilización de la energía producida no contempla baterías de guardado por lo cual se utilizaría en el momento de producción instantánea de esta.

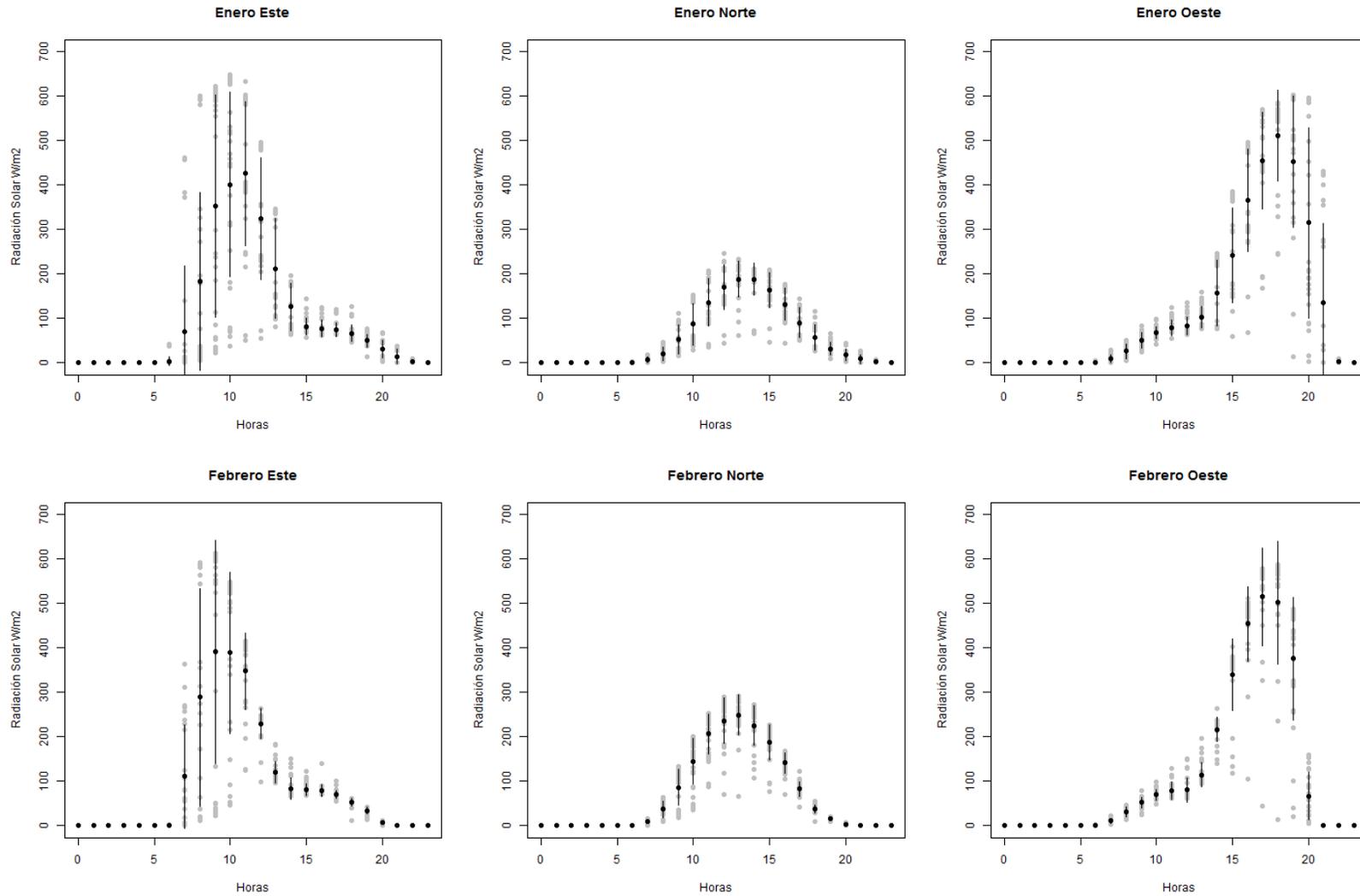


Figura 19. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante enero y febrero. Radiación en  $\text{Wm}^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

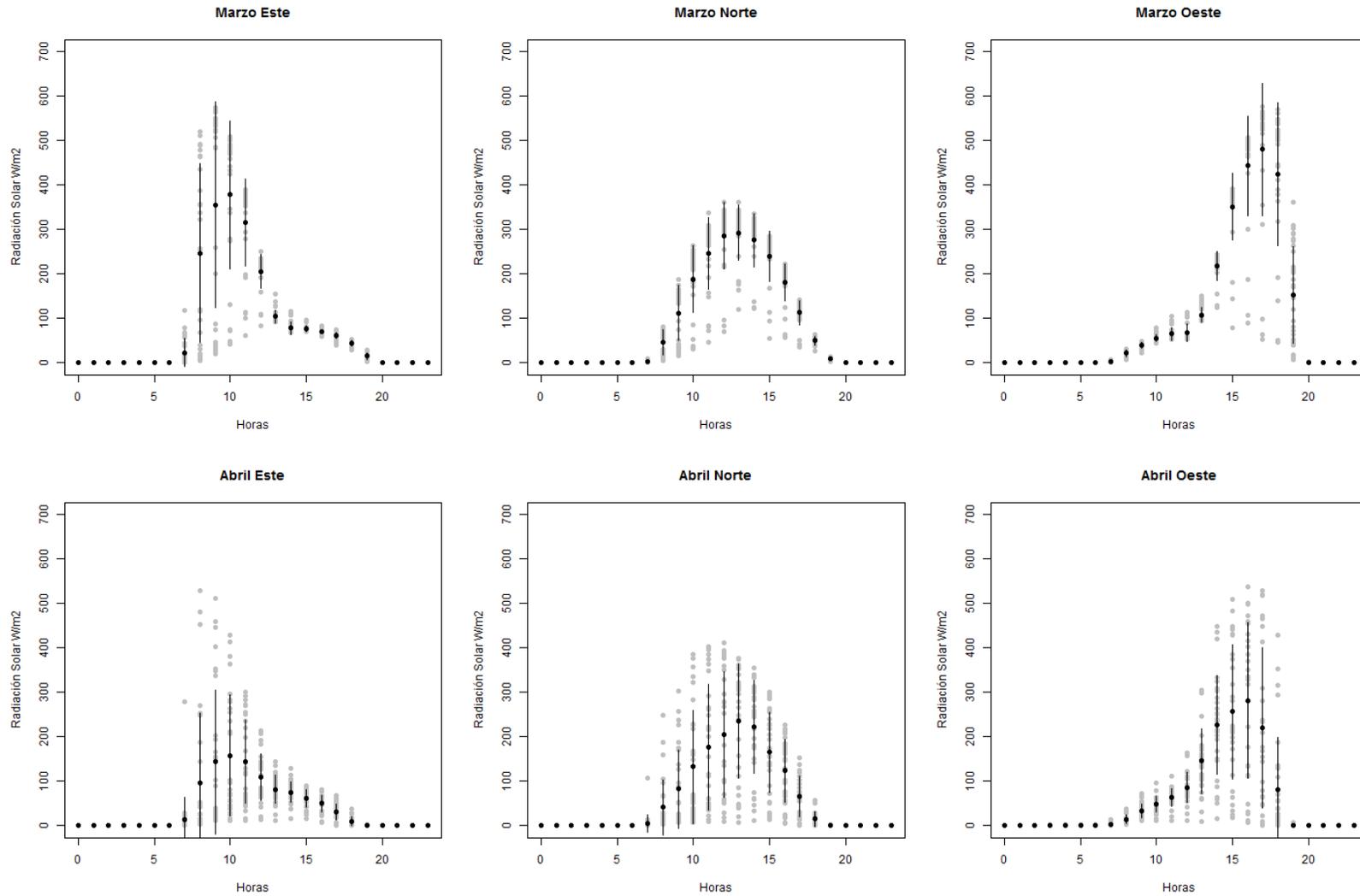


Figura 20. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante marzo y abril. Radiación en  $Wm^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

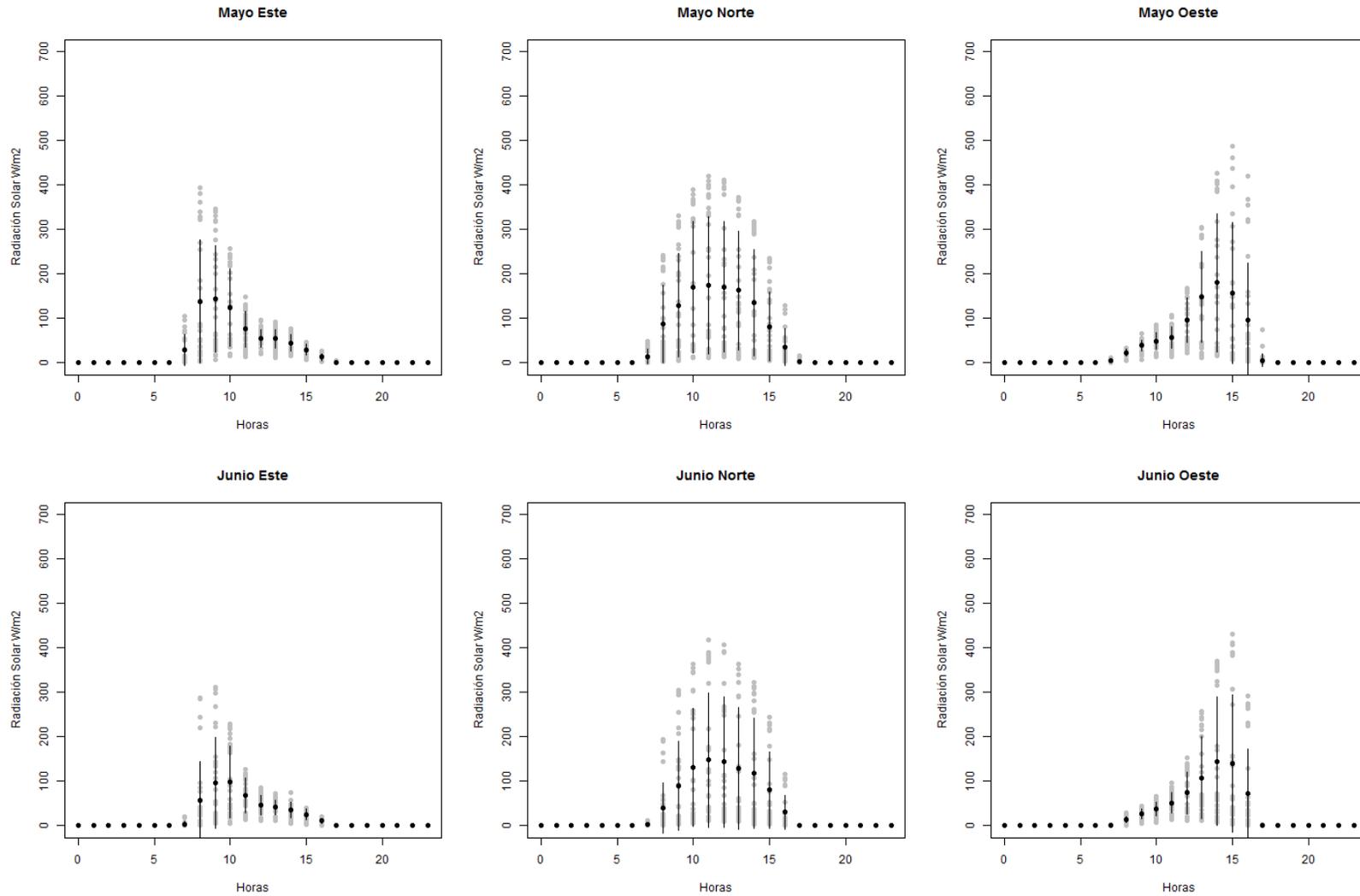


Figura 21. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante mayo y junio. Radiación en  $Wm^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

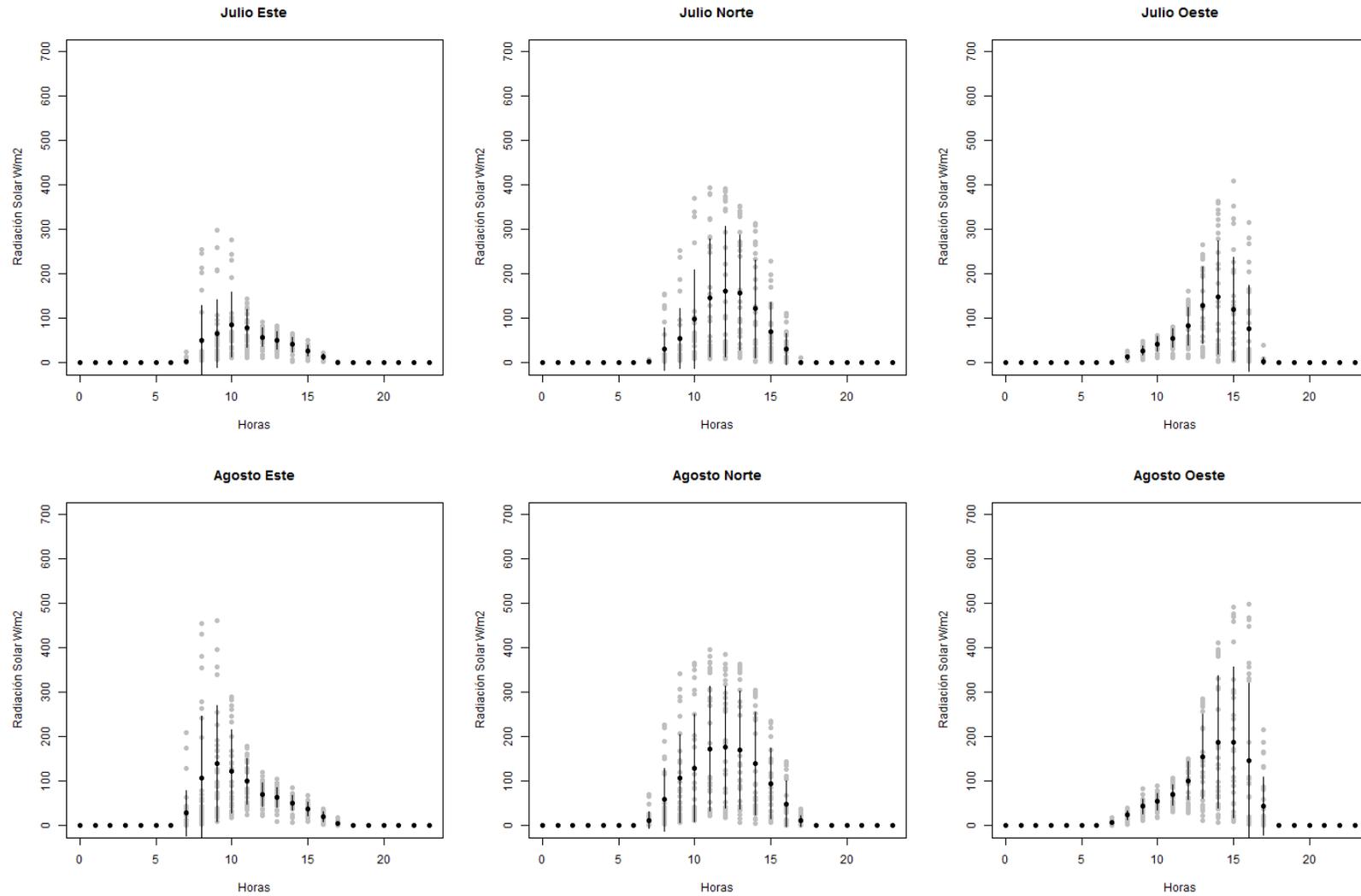


Figura 22. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante julio y agosto. Radiación en  $\text{Wm}^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

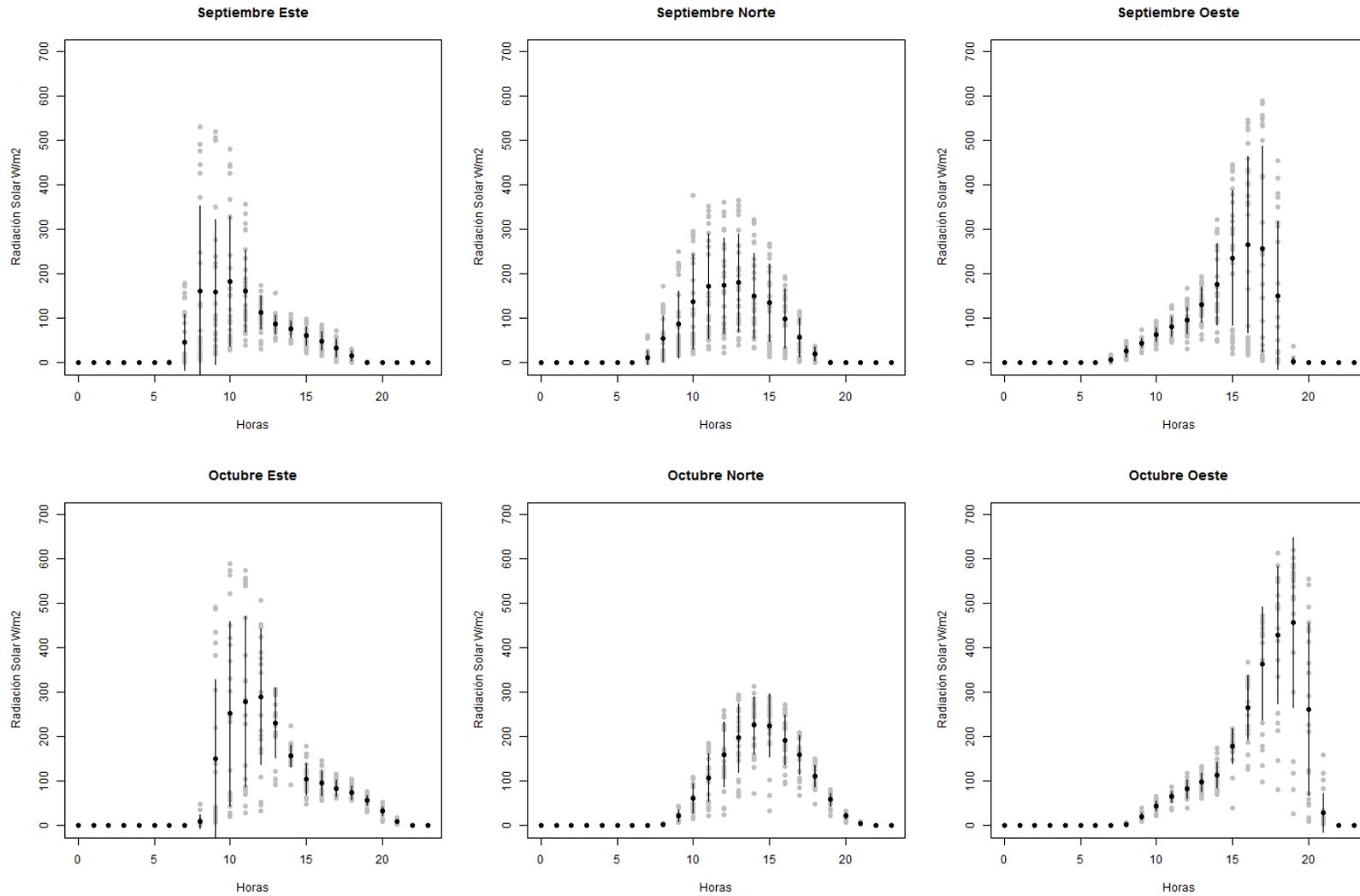


Figura 23. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante septiembre y octubre. Radiación en  $Wm^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

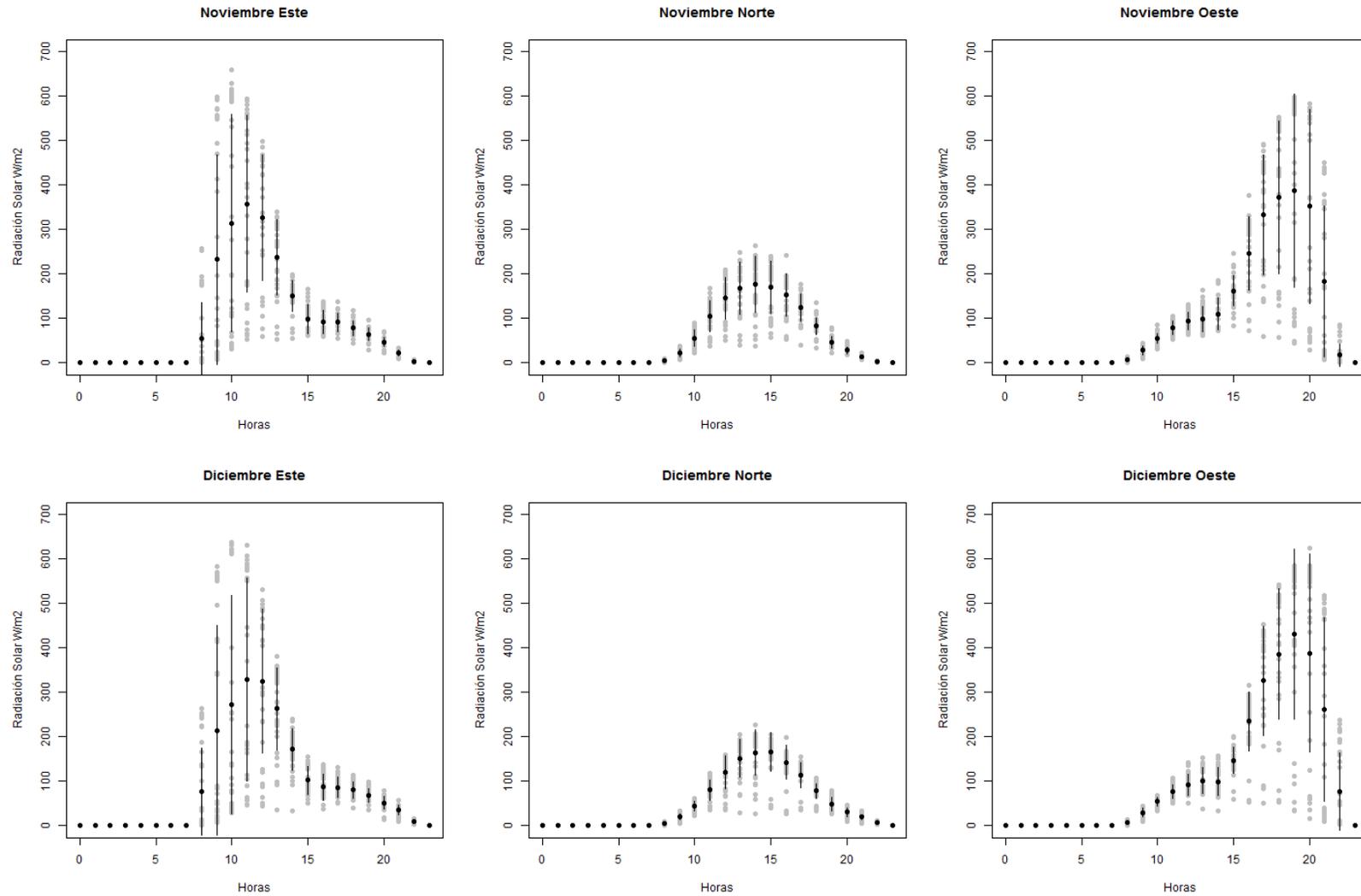


Figura 24. Gráficos de la radiación solar recibida por fachada durante noviembre y diciembre. Radiación en  $Wm^{-2}$ . Línea negra corresponde a la desviación estándar de los datos; punto negro corresponde a la media; puntos grises corresponden a los datos.

A nivel mensual (Figura 25) se puede observar que la radiación oeste es la que presenta valores más altos, alcanzando los  $3 \text{ kWm}^{-2}\text{mes}^{-1}$  en los meses de verano y manteniéndose con valores superiores a la orientación este. Como se mencionó anteriormente, la orientación norte oscila entre valores similares durante el año, presentando solo como mes resaltante, marzo.

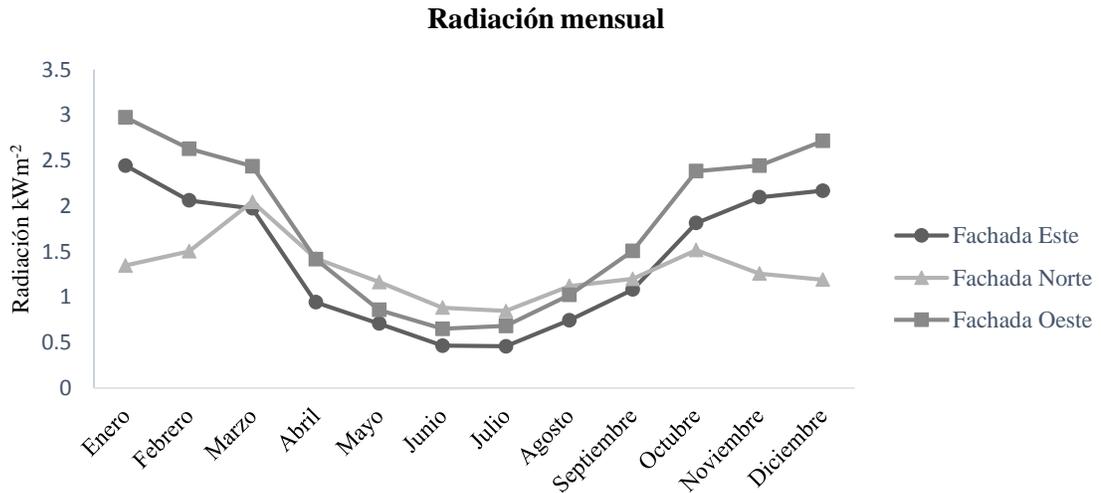


Figura 25. Radiación mensual en las tres fachadas estudiadas.

A su vez, se puede observar que la orientación norte presenta valores más altos que las orientaciones este y oeste en los meses de invierno. Esto se debe al grado de inclinación que posee el sol durante estos meses, encontrándose de manera directa con la orientación norte, no así en los meses de verano, en donde el grado de inclinación es alrededor de  $85^\circ$  respecto del suelo, por lo tanto, la trayectoria que el sol realiza beneficia a las orientaciones este y oeste. La radiación a nivel anual se puede observar en la Figura 26, en esta se visualiza en forma detallada como la radiación correspondiente a la orientación norte presenta valores más altos que las orientaciones oeste y este en invierno, y como estas últimas presentan comportamientos similares, a pesar de recibir radiación en diferentes horarios.

En cuanto a la radiación solar horizontal que fue medida por la estación Carillanca en la zona de estudio, se realizaron gráficos a nivel diario para cada mes, en donde se reflejan los días que presentaron valores más bajos, probablemente debido a la nubosidad presente en la ciudad durante dicho periodo. En los gráficos (figuras 27 y 28) se puede apreciar la variabilidad en el tiempo de la zona, ya que existen días con un alto valor de radiación recibida, mientras que en días cercanos a estos los valores disminuyen considerablemente, lo que indica la inestabilidad de la radiación global en el área. No obstante, los valores son mayoritariamente altos, en el orden de los  $2 \text{ kWm}^{-2}$ . El valor más alto registrado fue de  $11,1 \text{ kWm}^{-2}$  durante el mes de noviembre y el más bajo fue de  $0,177 \text{ kWm}^{-2}$  durante el mes de junio.

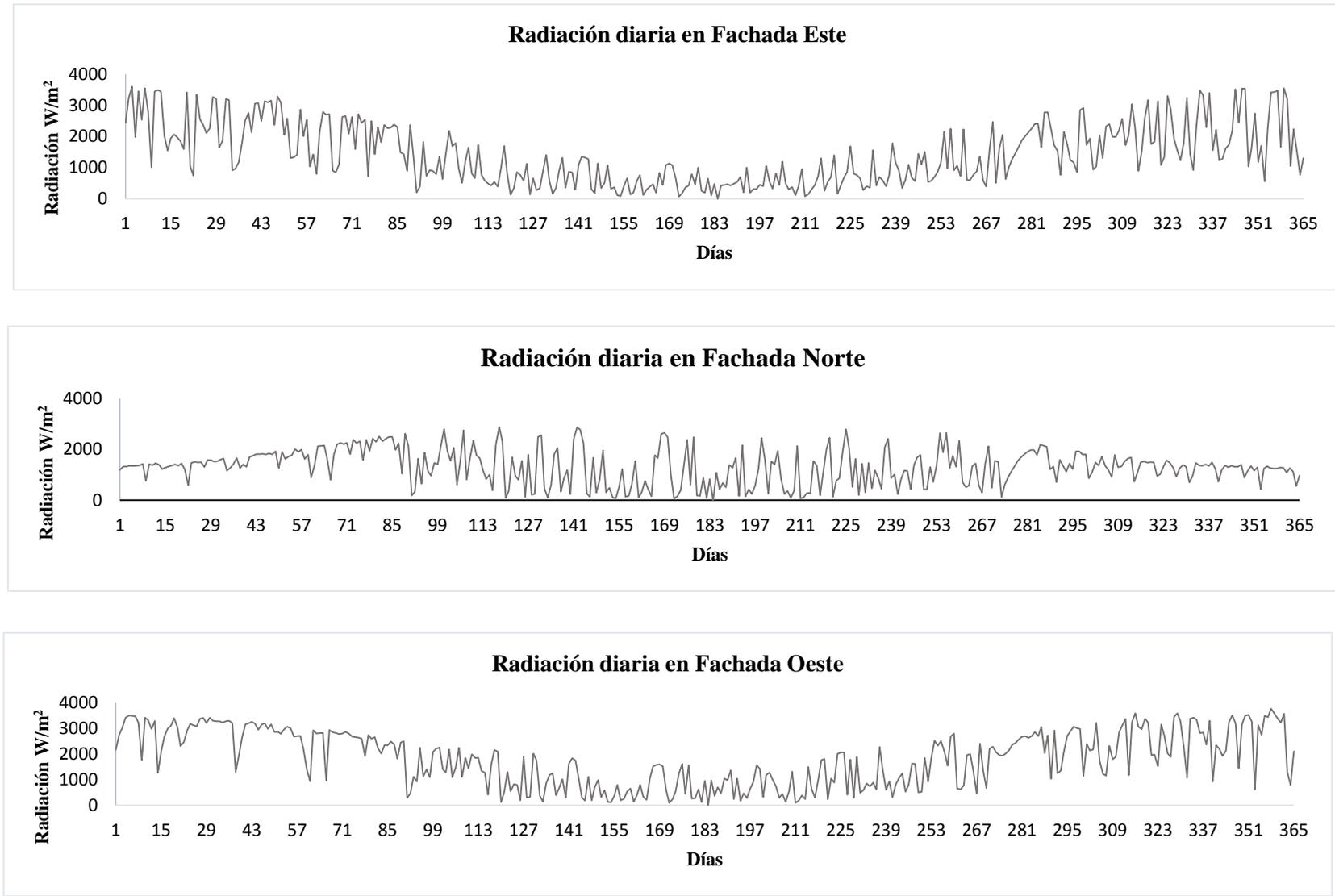


Figura 26. Gráficos anuales de Radiación global en cada orientación.

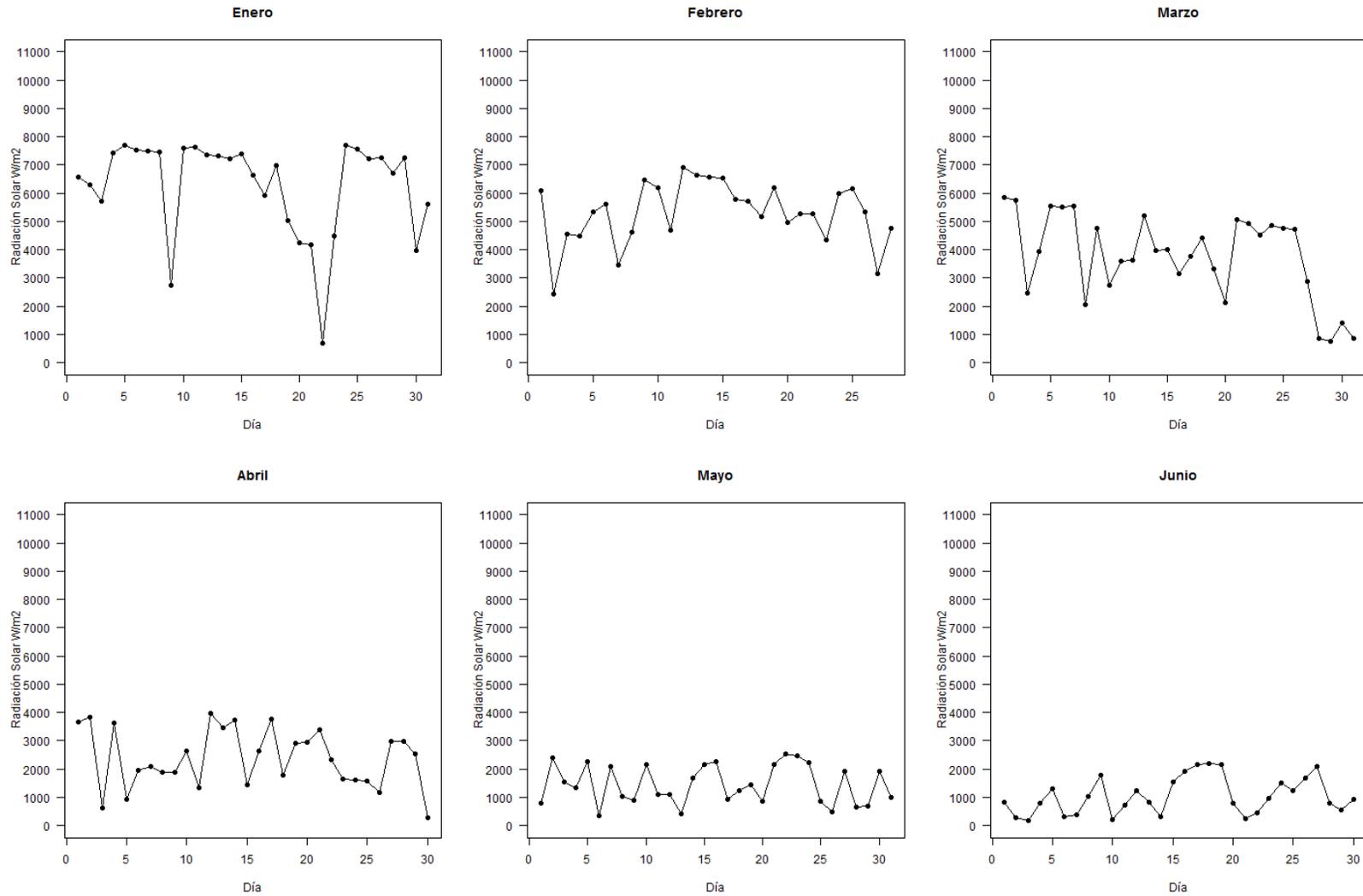


Figura 27. Gráficos de la radiación solar horizontal durante enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio. Radiación en  $Wm^{-2}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

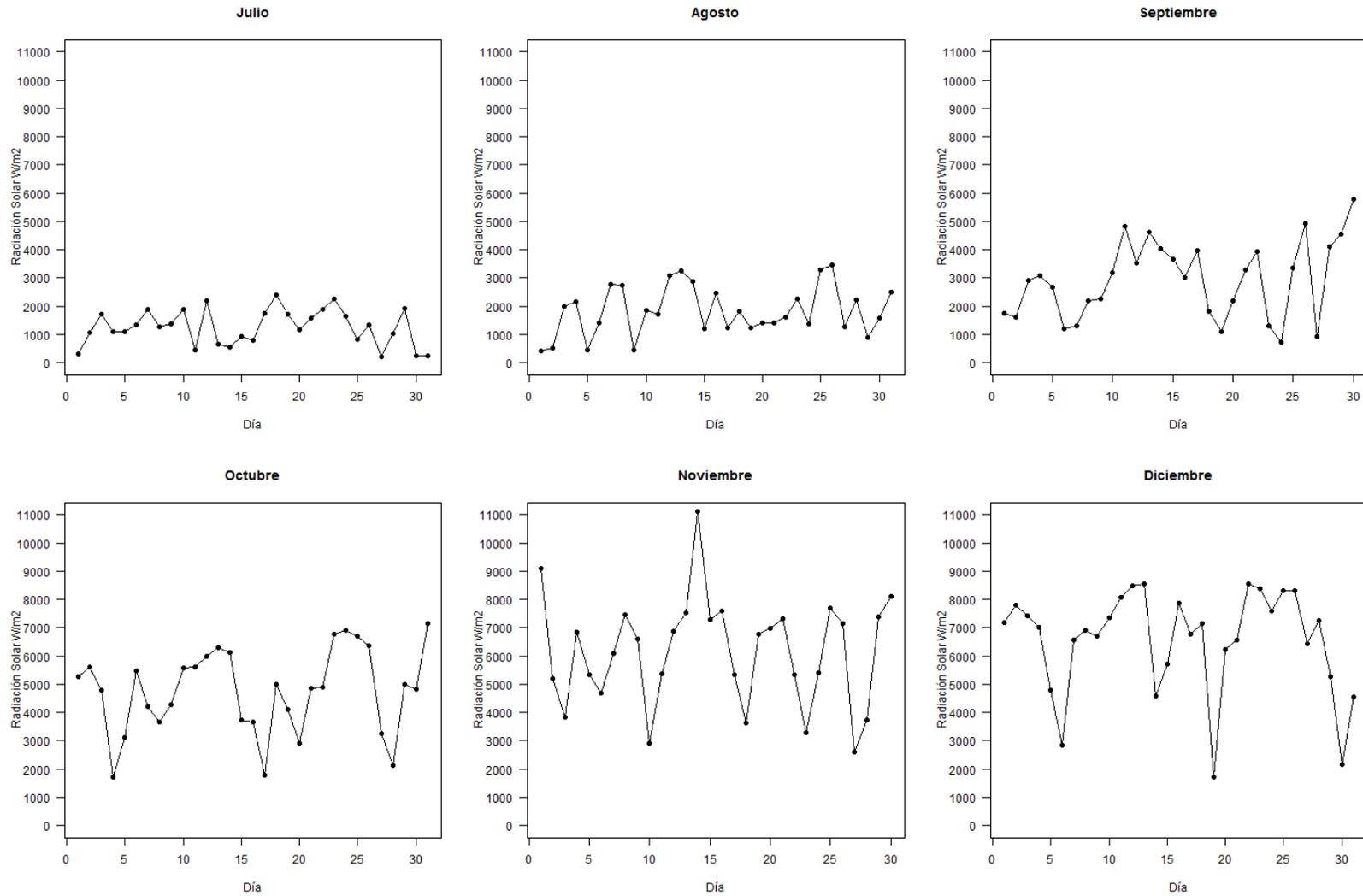


Figura 28. Gráficos de la radiación solar horizontal durante julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Radiación en  $Wm^2$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

Como es posible apreciar, la radiación solar en superficies con una inclinación de  $90^\circ$ , presenta valores más bajos que la radiación medida en forma horizontal, ya que esta posee en promedio  $3,6 \text{ kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$ , mientras que la radiación en las orientaciones no supera los  $2,7 \text{ kWm}^{-2}\text{h}^{-1}$ . Esto se debe a que una superficie horizontal recibe radiación de forma constante durante todo el día, suponiendo que no hay estructuras que impidan el paso de la luz, no así las diferentes orientaciones, que dependen de la trayectoria del sol durante el día y se ven mayormente afectadas por la nubosidad o calidad del aire que exista en la zona.

A su vez, se puede ver la relación entre la radiación recibida en las distintas orientaciones y la superficie horizontal en cuanto a los días que presentaron valores más bajos de radiación, debido a mayor nubosidad, otorgando credibilidad a los datos obtenidos y trabajados, ya que se obtuvieron de fuentes distintas.

### **Presentación de la potencia generada por los paneles**

La potencia fue graficada de manera unitaria, vale decir, la potencia que generaría un panel para cada orientación y en superficie horizontal en la zona de estudio (figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36). Estas varían en función directa con la radiación recibida presentada anteriormente, siendo mayor en los meses de verano y menor en los de invierno, excluyendo la orientación norte, que presenta su mayor valor en el mes de mayo, siendo este de  $731,93 \text{ Wdía}^{-1}$  y entregando una menor potencia durante el mes de julio, siendo su valor más bajo de  $13,993 \text{ Wdía}^{-1}$ . En cuanto a las orientaciones este y oeste, presentaron como valores más altos  $950,7$  y  $997,2 \text{ Wdía}^{-1}$ , respectivamente para los meses de enero y diciembre; los valores más bajos generados fueron en junio, con valores de  $18,5$  y  $20,3 \text{ Wdía}^{-1}$  para este y oeste. Por otro lado, la potencia generada para superficie horizontal varía entre los  $42,5$  en junio y  $3170 \text{ Wdía}^{-1}$  en noviembre, siendo significativamente más alta que para la radiación vertical registrada.

En cuanto a la superficie total del edificio, se estimó que el edificio de Defensoría tiene como medidas  $29 \text{ m}$  de alto,  $23 \text{ m}$  de largo y  $11,3 \text{ m}$  de ancho, mientras que el área disponible para la instalación de paneles, de acuerdo a la superficie de cristal y las medidas de los módulos fotovoltaicos, es en la cara norte  $9 \times 28 \text{ m}^2$ , mientras que la cara este y oeste presentan la misma medida de  $20 \times 28 \text{ m}^2$  y en el techo el área disponible es  $20 \times 9 \text{ m}^2$ . Lo que entrega una totalidad de  $336$  paneles en las fachadas este y oeste,  $140$  en la fachada norte y  $60$  paneles en el techo.

En el edificio de la fiscalía, el área total del edificio es de  $29 \text{ m}$  de alto,  $23 \text{ m}$  de largo y  $48 \text{ m}$  de ancho. El área disponible para los paneles en las fachadas este y oeste es de  $20 \times 28 \text{ m}^2$ , para la fachada norte  $43,5 \times 20 \text{ m}^2$  y el techo es de  $43,5 \times 20 \text{ m}^2$ . Ante esto, el número de paneles a instalar es de  $336$  en las fachadas este y oeste,  $520$  en la fachada norte y  $870$  en el techo.

Por lo tanto, las potencias generadas ( $\text{Wdía}^{-1}$ ) considerando la totalidad de paneles para cada mes se resumen en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Potencias generadas totales para cada mes en el edificio de Defensoría ( $\text{Wdía}^{-1}$ ).

	Este	Norte	Oeste	Techo	Total
Enero	6.762,6	1.530,3	8.178,1	3.247,3	19.718,3
Febrero	5.639,7	1.699,6	7.347,3	2.445,7	17.132,3
Marzo	5.329,2	2.299,8	6.707,7	1.882,5	16.219,2
Abril	2.466,6	1.573,4	3.796,3	1.115,9	8.952,2
Mayo	1.857,7	1.304,1	2.301,7	688,0	6.151,5
Junio	1.183,0	958,1	1.694,8	471,8	4.307,8
Julio	1.203,4	945,3	1.832,4	583,9	4.565,0
Agosto	1.915,8	1.222,0	2.695,0	867,8	6.700,6
Septiembre	2.930,7	1.360,8	4.027,2	1.371,2	9.689,9
Octubre	5.005,7	1.764,3	6.468,1	2.373,2	1.561,2
Noviembre	5.679,7	1.394,7	6.638,3	3.016,9	16.729,6
Diciembre	5.928,3	1.334,3	7.449,3	3.354,2	18.066,2

Cuadro 2. Potencias generadas totales para cada mes en el edificio de Fiscalía ( $\text{Wdía}^{-1}$ ).

	Este	Norte	Oeste	Techo	Total
Enero	6.762,6	5.684,0	8.178,1	47.086,5	67.711,1
Febrero	5.639,7	6.312,7	7.347,3	35.462,9	54.762,6
Marzo	5.329,2	8.542,0	6.707,7	27.295,9	47.874,9
Abril	2.466,6	5.844,0	3.796,3	16.180,9	28.287,8
Mayo	1.857,7	4.843,9	2.301,7	9.975,7	18.979,0
Junio	1.183,0	3.558,7	1.694,8	6.841,5	13.278,0
Julio	1.203,4	3.511,2	1.832,4	8.466,5	15.013,5
Agosto	1.915,8	4.539,0	2.695,0	12.582,5	21.732,4
Septiembre	2.930,7	5.054,2	4.027,2	19.883,0	31.895,1
Octubre	5.005,7	6.553,1	6.468,1	34.411,3	52.438,1
Noviembre	5.679,7	5.180,3	6.638,3	43.744,9	61.243,3
Diciembre	5.928,3	4.956,1	7.449,3	48.636,4	66.970,2

En los cuadros se puede observar que las fachadas este y oeste tienen valores iguales tanto para los edificios de Defensoría y Fiscalía, esto debido a que la superficie disponible en ambas fachadas y para ambos edificios es la misma.

Las potencias presentadas corresponden a la máxima capacidad que sería posible producir, debido a que se calculó el mejor acomode de los paneles para utilizar la mayor superficie posible.

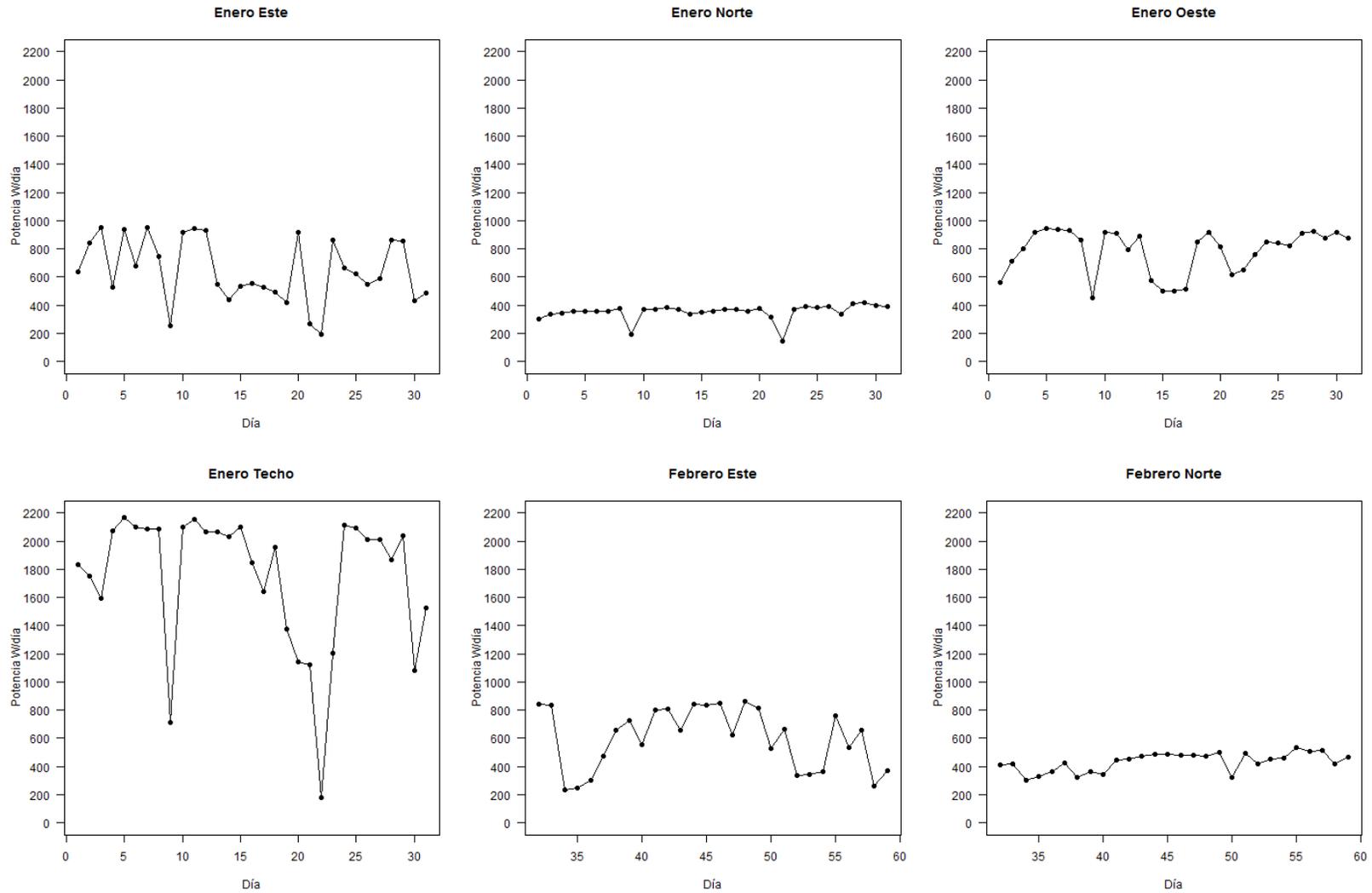


Figura 29. Gráficos de la potencia unitaria generada durante enero y febrero para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

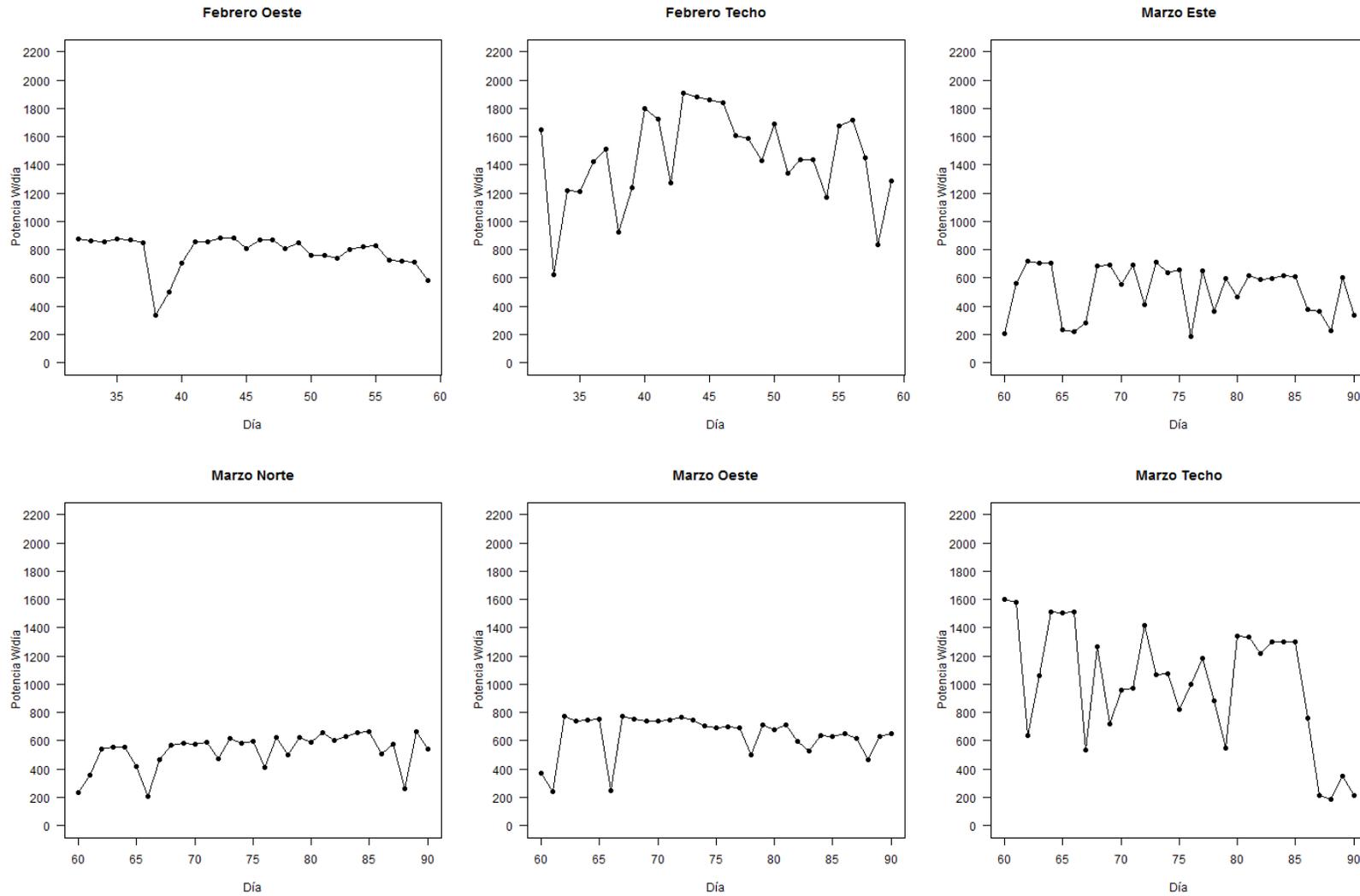


Figura 30. Gráficos de la potencia unitaria generada durante febrero y marzo para cada superficie utilizada. Potencia en  $Wdía^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

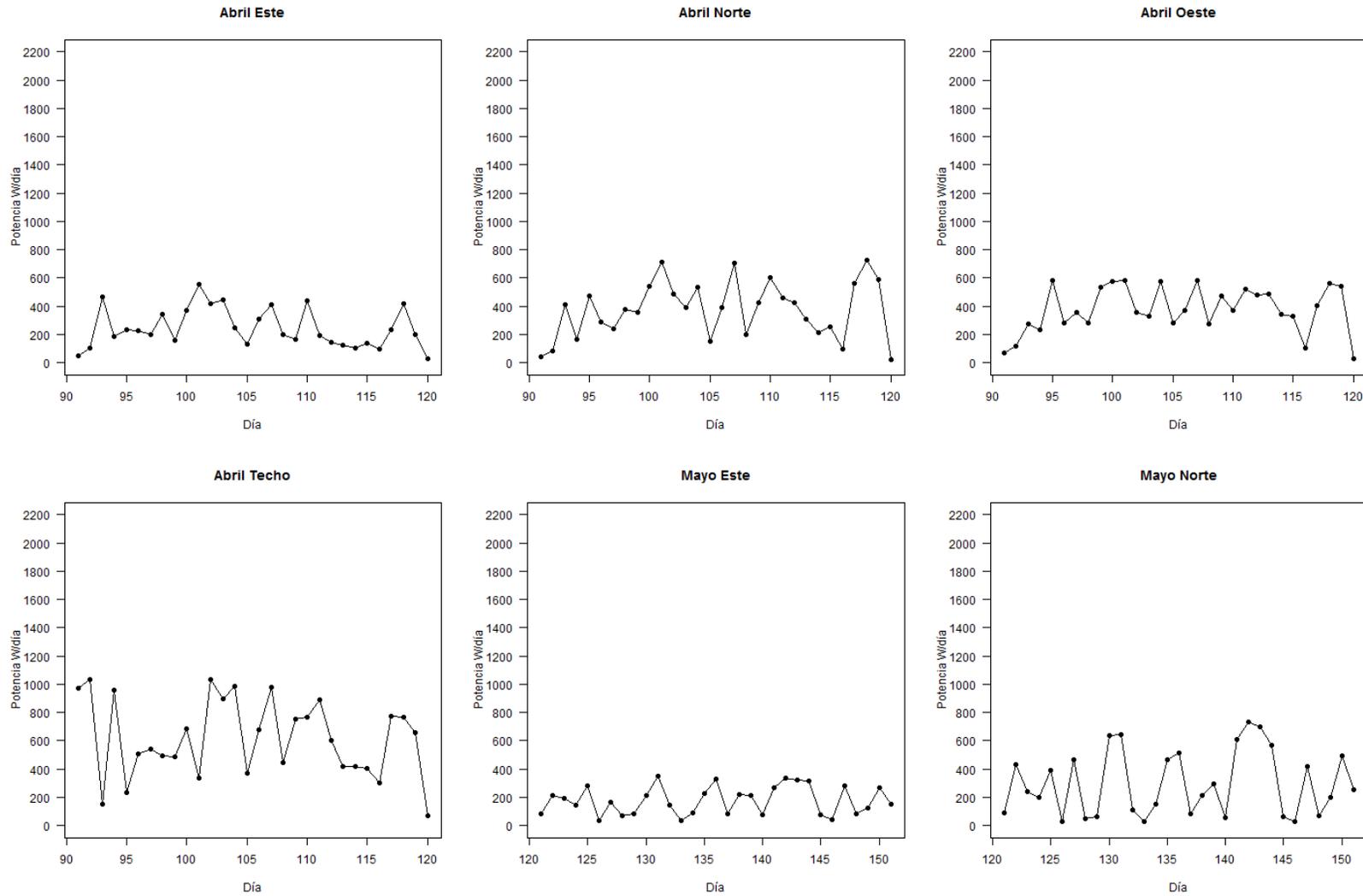


Figura 31. Gráficos de la potencia unitaria generada durante abril y mayo para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

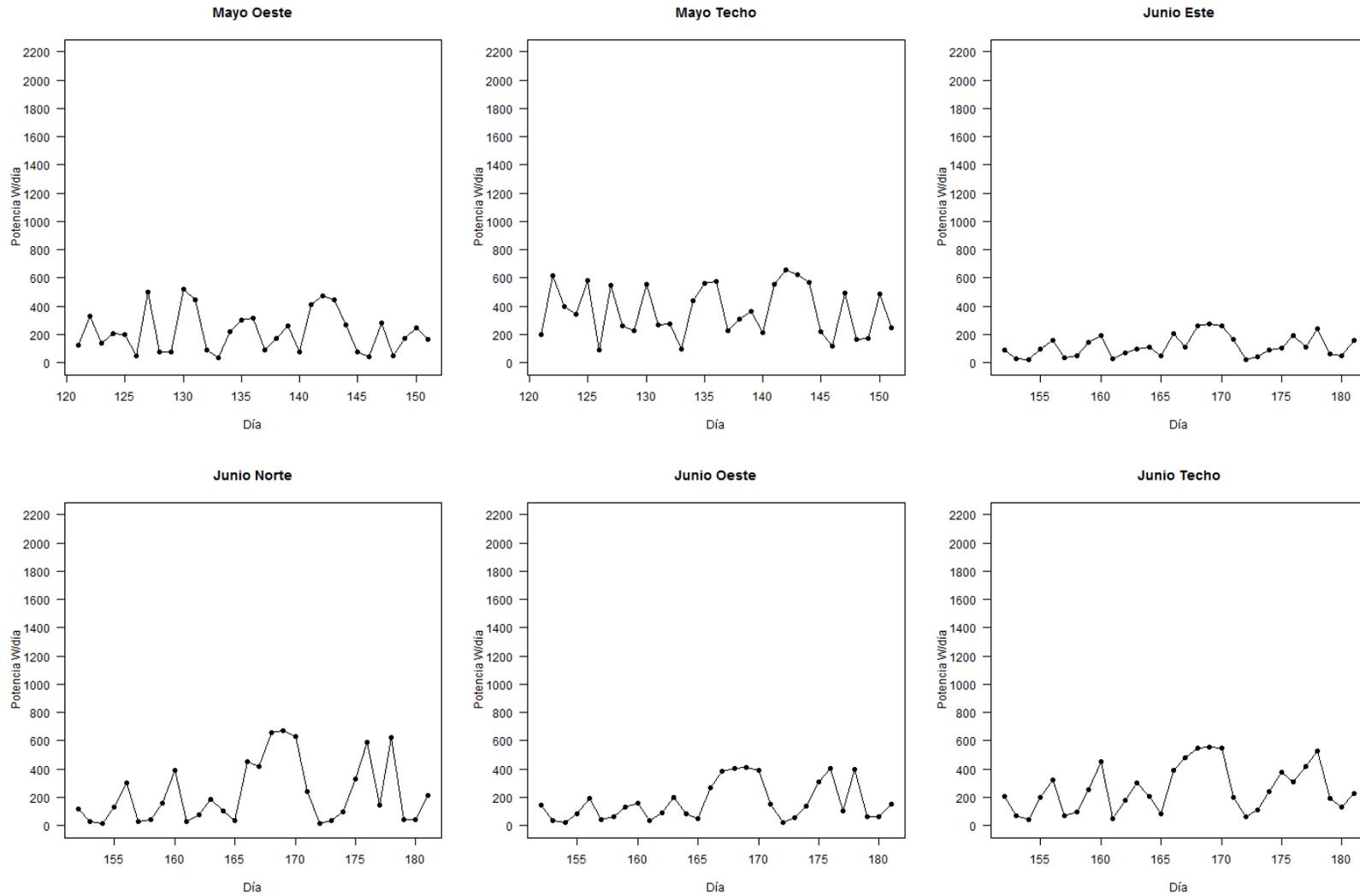


Figura 32. Gráficos de la potencia unitaria generada durante mayo y junio para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

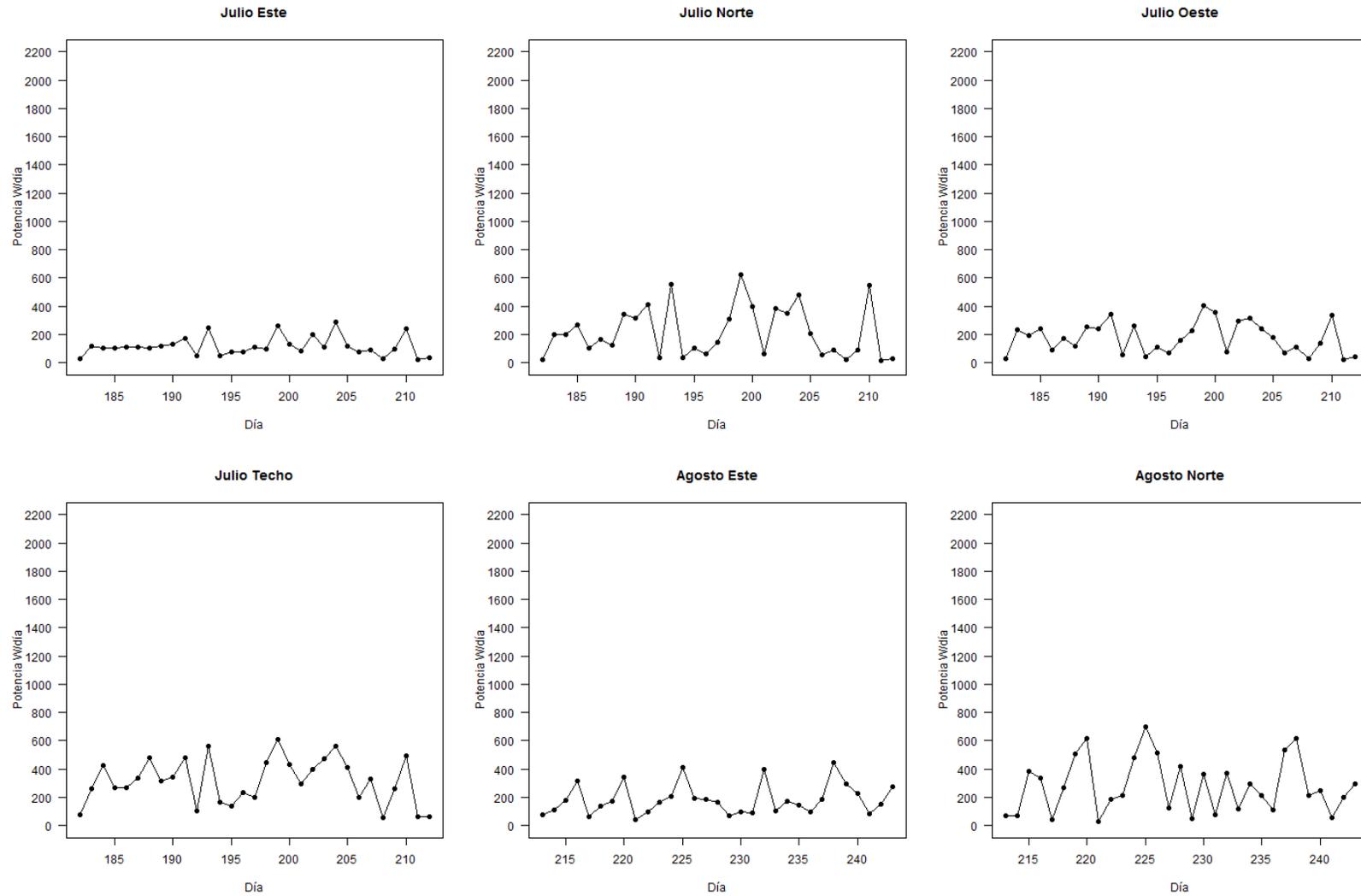


Figura 33. Gráficos de la potencia unitaria generada durante julio y agosto para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

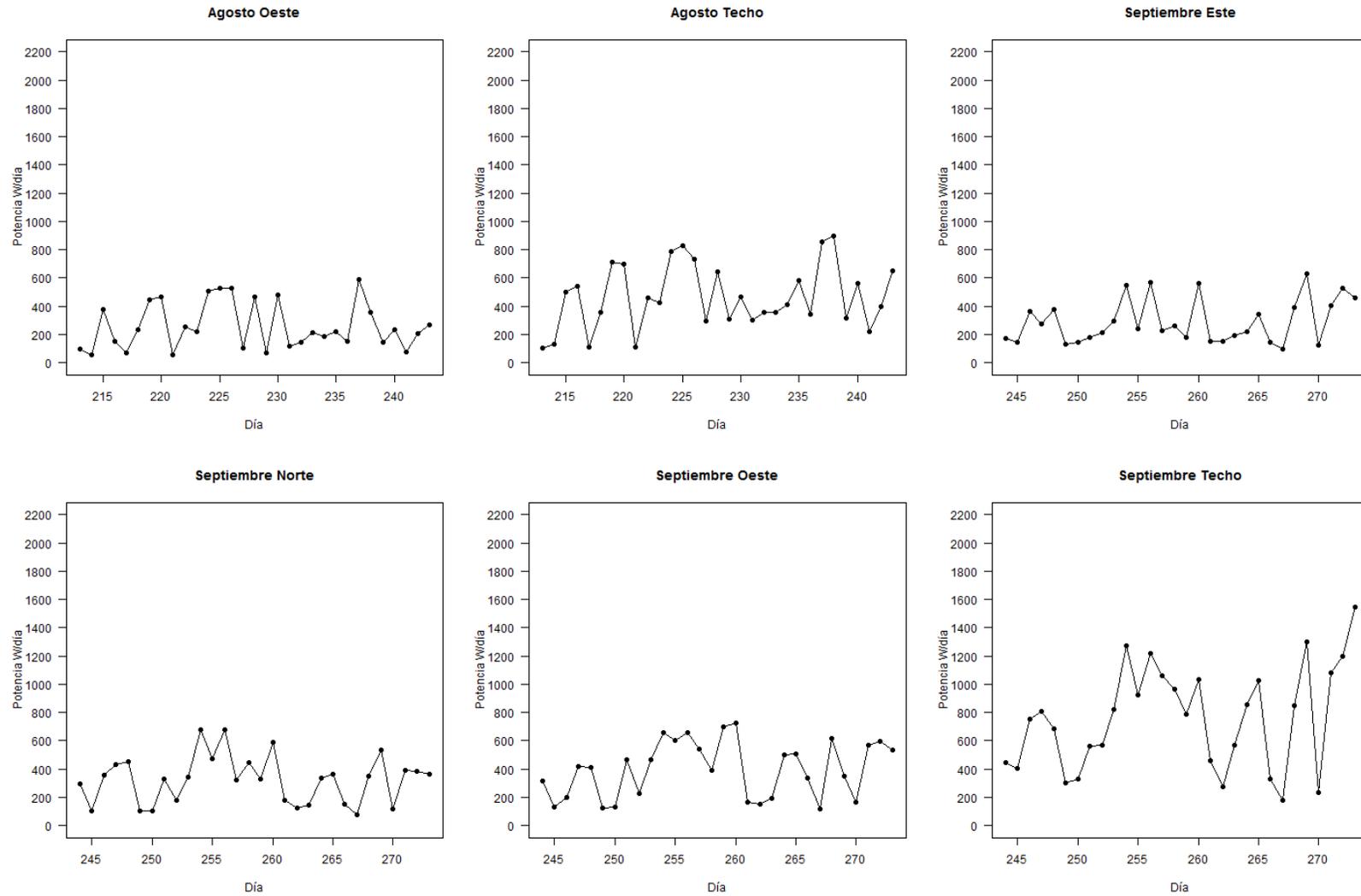


Figura 34. Gráficos de la potencia unitaria generada durante agosto y septiembre para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

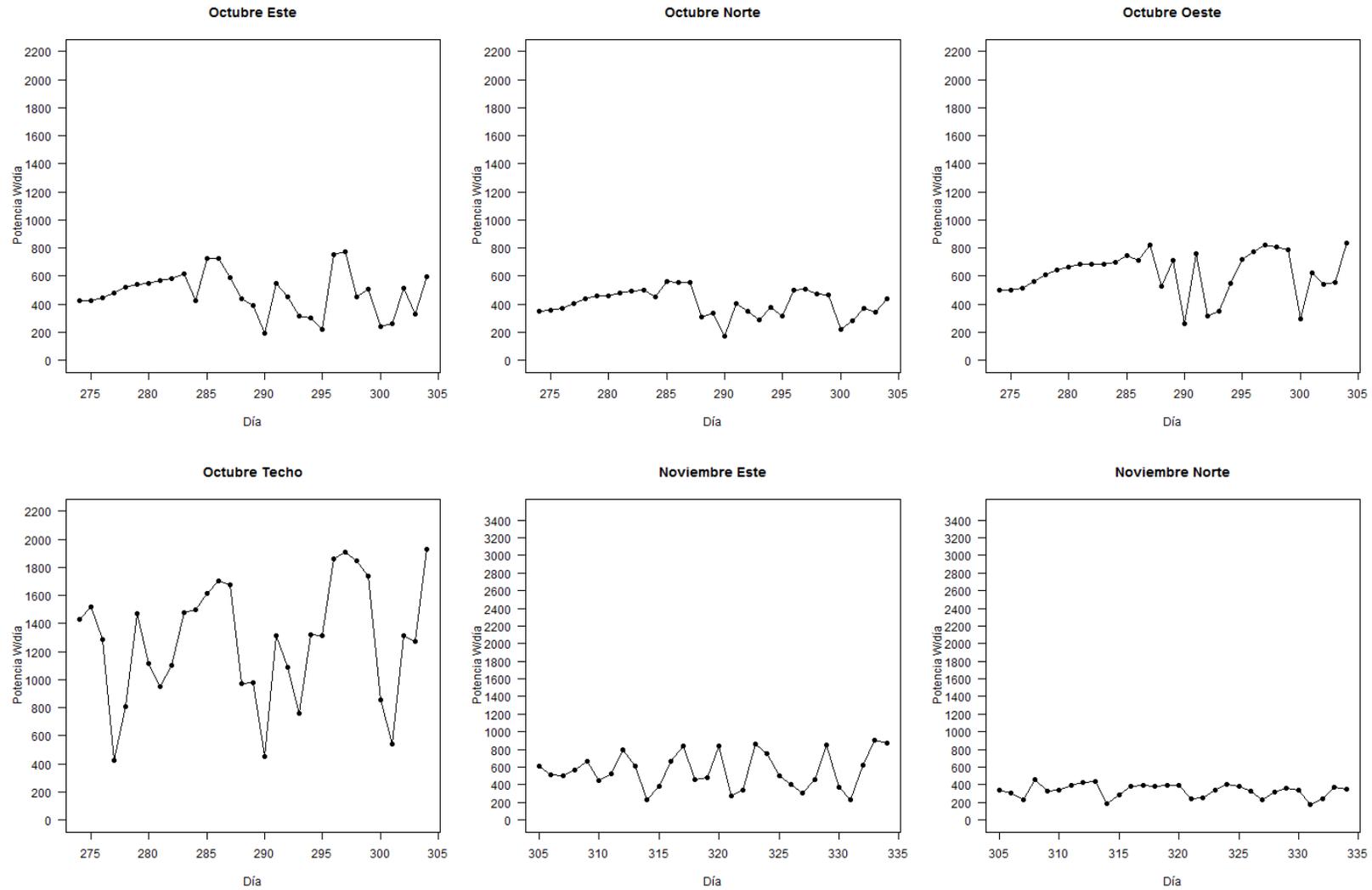


Figura 35. Gráficos de la potencia unitaria generada durante octubre y noviembre para cada superficie utilizada. Potencia en  $W/día^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

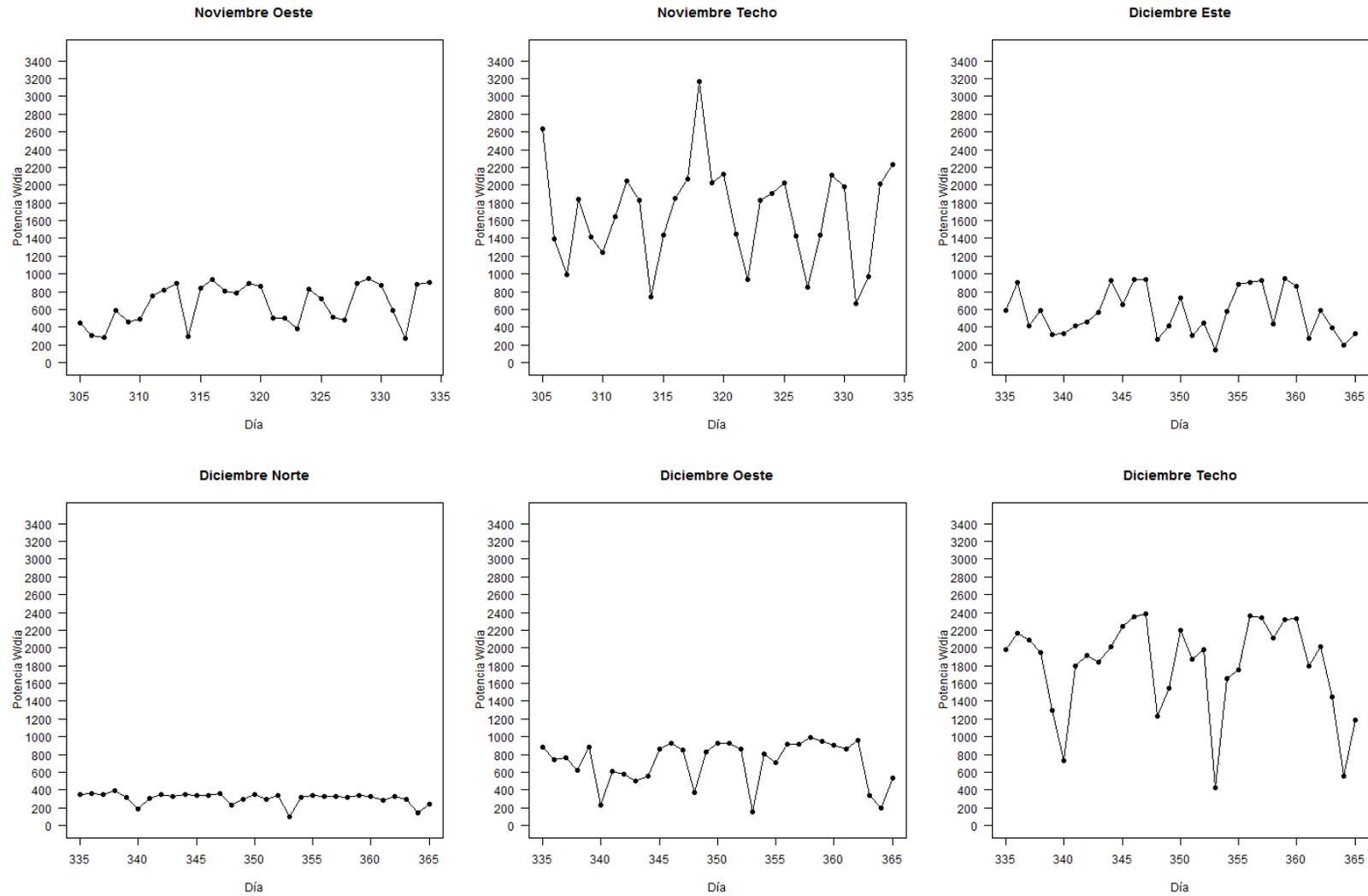


Figura 36. Gráficos de la potencia unitaria generada durante noviembre y diciembre para cada superficie utilizada. Potencia en  $\text{Wdía}^{-1}$ . Puntos grises corresponden a datos diarios.

## Objetivo 2

### Presentación de energía producida

En las figuras 37 y 38 se muestra la energía total producida por los paneles (EP), siendo la suma de las orientaciones y la superficie horizontal utilizada; además se muestra el consumo energético (C) que los edificios tuvieron el 2014.

En cuanto al consumo de energía de los edificios se puede observar que en los meses de verano este es superior a los meses de invierno, lo que se debe principalmente al sistema de aire acondicionado que poseen los edificios, debido a que el tipo de construcción de estos concentra el calor en su interior, lo que es favorable en meses de invierno.

En los cuadros 3 y 4 se detalla el consumo final de energía (C-EP) desde una red convencional que los edificios tendrían si se implementara el método BAVP y el porcentaje de ahorro de esta.

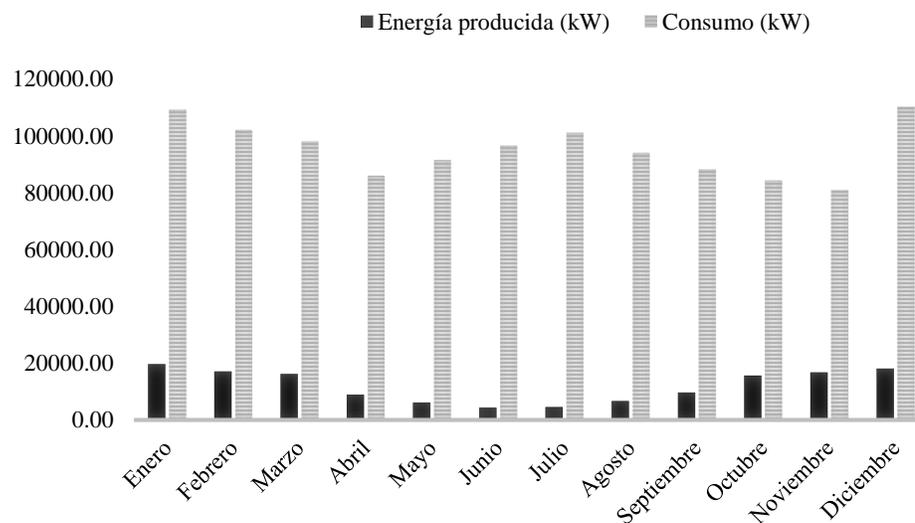


Figura 37. Energía producida y Consumo de energía del edificio de Defensoría

Cuadro 3. Detalle consumo energético final y porcentaje de ahorro del edificio de Defensoría.

Mes	C - EP	% de ahorro
Enero	89.519	18
Febrero	84.910	17
Marzo	81.805	17
Abril	77.055	10
Mayo	85.355	7
Junio	92.333	4
Julio	96.561	4
Agosto	87.295	7
Septiembre	78.511	11
Octubre	68.656	19
Noviembre	64.253	21
Diciembre	92.160	16

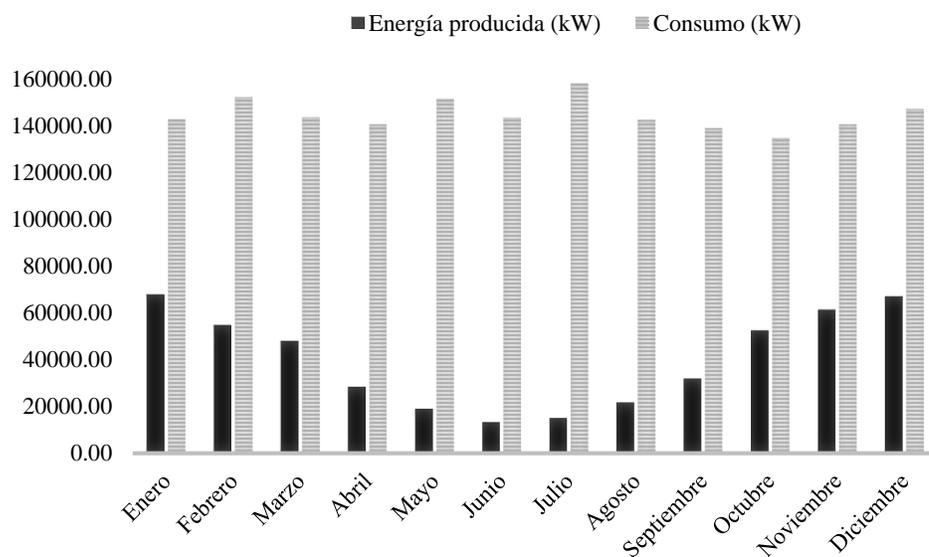


Figura 38. Energía producida y Consumo de energía del edificio de Fiscalía

Como es posible apreciar, en la columna de porcentaje de ahorro, los paneles aportan en el edificio de Defensoría un rango de 4 a 21% de energía entre los meses de invierno y verano, siendo más significativo en los meses que se recibe mayor radiación.

Para el edificio de Fiscalía (Cuadro 4), el rango de aporte va desde los 9 a 47% en los meses de junio y enero respectivamente. Si bien es proporcionalmente directo el tamaño del edificio con el consumo de energía y con la superficie disponible para la instalación de paneles, estos logran ser un aporte significativo en los meses de mayor radiación, aportando 19.718,2 y 67.711,1 kWdía<sup>-1</sup> en el edificio de Defensoría y Fiscalía respectivamente durante enero.

Cuadro 4. Detalle consumo energético final y porcentaje de ahorro del edificio de Defensoría.

Mes	C - EP	% de ahorro
Enero	74.957	47
Febrero	97.259	36
Marzo	95.692	33
Abril	112.266	20
Mayo	132.405	13
Junio	130.159	9
Julio	143.009	10
Agosto	120.650	15
Septiembre	106.969	23
Octubre	82.255	39
Noviembre	79.257	44
Diciembre	80.084	46

Los meses de mayor producción para el edificio de Defensoría corresponden a enero, diciembre, febrero y noviembre. Mientras que, para el edificio de Fiscalía son enero, diciembre, noviembre y diciembre. La diferencia entre febrero y noviembre radica en la cantidad de radiación que se recibe en las orientaciones norte, oeste y en el techo en ambos meses y la proporción de paneles que existe entre ambos edificios.

### Objetivo 3

#### Presentación del periodo de recuperación e inversión

El costo de electricidad en la ciudad de Temuco, para abril de 2016 se encontraba en \$85,7/kWh. Se estableció a través de una línea de tendencia realizada con el valor del kWh durante los últimos 5 años, que el valor de este subirá aproximadamente cada año \$19. Con este dato se calcularon los flujos de caja para cada edificio luego de la instalación de los paneles.

En el Cuadro 5 es posible observar que a partir del año 10 para el edificio de Defensoría y a partir de los 9 años para el edificio de Fiscalía se recuperaría el total de la inversión necesaria (correspondiente al valor de instalación de los paneles fotovoltaicos), esto considerando exclusivamente el ingreso monetario que registran los paneles al evaluar la potencia generada al costo de electricidad que tiene la ciudad de Temuco.

Luego de superar la inversión inicial, se comenzarían a generar ingresos de 62.740.000 y 537.774.000 millones aprox. para los edificios de Defensoría y Fiscalía respectivamente.

Cuadro 5. Resumen de periodo de recuperación de la inversión en ambos edificios.

PROYECTO	DEFENSORÍA	FISCALÍA
<b>INVERSIÓN</b>	<b>\$ 337,246,000</b>	<b>\$ 797,478,500</b>
FLUJO AÑO 1	-\$ 324,918,581	-\$ 756,326,564
FLUJO AÑO 2	-\$ 309,814,975	-\$ 705,907,039
FLUJO AÑO 3	-\$ 291,115,273	-\$ 643,482,865
FLUJO AÑO 4	-\$ 268,819,474	-\$ 569,054,042
FLUJO AÑO 5	-\$ 241,489,140	-\$ 477,818,711
FLUJO AÑO 6	-\$ 209,124,270	-\$ 369,776,872
FLUJO AÑO 7	-\$ 170,286,427	-\$ 240,126,665
FLUJO AÑO 8	-\$ 124,256,391	-\$ 86,467,160
FLUJO AÑO 9	-\$ 71,034,161	\$ 91,201,643
FLUJO AÑO 10	-\$ 9,181,299	\$ 297,681,602
FLUJO AÑO 11	\$62,740,632.66	\$537,774,578

El edificio de Defensoría tiene un gasto monetario, sin considerar el aporte de energía que se produce con los paneles, de \$67.773.534 al año (correspondiente al total del consumo energético del edificio de Defensoría, evaluado al valor de la tarifa de electricidad en Temuco). Luego de sumar la energía producida el gasto monetario se reduce a \$57.242.020, generando un ahorro de un 15%.

Para el edificio de Fiscalía se gasta un total de \$99.766.576 al año en el consumo de energía por métodos convencionales (correspondiente al total del consumo energético del edificio de Fiscalía, evaluado al valor de la tarifa de electricidad en Temuco). Luego de sumar la energía producida el gasto monetario se reduce a \$71.950.739, generando un ahorro de 27%.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Si bien la instalación de paneles solares en superficies con una inclinación de  $90^\circ$  no es aún experimentado en Chile, mediante la presente memoria se demuestra que el porcentaje de aporte de los paneles solares en diferentes orientaciones en plano vertical, con dicha inclinación más la utilización de la superficie horizontal, es considerable, mayoritariamente en los meses de verano, en donde la radiación recibida es más alta que en los meses de invierno. De implementarse los paneles se logra obtener una potencia instalada de alta amplitud, capaz de generar y suplir altos consumos de energía en edificios en donde la utilización de esta es de forma constante, como lo son los edificios públicos. Ante esto, es de esperar que en zonas donde la abundancia de radiación es mayor que en la Región de la Araucanía, los resultados de esta investigación serán aún más satisfactorios, debido a la cantidad de potencia generada que se podría llegar a obtener en dichas zonas. No obstante, los resultados estimados fueron en base a la utilización de un número significativo de paneles fotovoltaicos, en donde se necesitaría una gran cantidad para lograr los resultados mostrados; sin embargo, con el tiempo las tecnologías irán aumentando su efectividad con lo cual se podrán obtener similares resultados con la utilización de menor material.

Al trabajar con datos de radiación medidos “in situ” en la zona de estudio, con la temperatura de una estación meteorológica cercana a esta y con la información real de paneles solares que se utilizan para los métodos propuestos, se elaboró un informe con un alto grado de veracidad, en donde la potencia unitaria producida representa la potencia real que se habría obtenido si se tuvieran las condiciones planteadas en el área de estudio durante el 2014. Así mismo, el procesamiento de los datos de radiación global medidos en orientaciones este, norte y oeste con una pendiente de  $90^\circ$ , entrega valores utilizables para diversos estudios en el área de trabajo, pudiendo ocuparse para la estimación de generación de otros tipos de energía.

Para el buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos tipo BIVP y BAVP se deben considerar diversas variables del entorno, como la distancia a otros edificios, árboles o estructuras que podrían proveer sombra, la superficie disponible para la instalación de los paneles, la ubicación geográfica del edificio estudiado y la climatología del lugar. La climatología puede ser determinante a la hora de escoger el sitio donde instalar módulos fotovoltaicos, ya que las orientaciones en la que estos se instalarán podrían afectar la producción de electricidad, como se demostró en esta memoria, esto porque la ciudad de Temuco se caracteriza por presentar nubosidad matinal durante casi todo el año, lo que conlleva a que la radiación recibida en la orientación este sea menos provechosa que la utilización de las orientaciones norte y oeste y significativamente menor que la radiación recibida de forma horizontal. Esto podría traducirse en que luego de una evaluación de costos y beneficios, utilizar esta fachada en ciudades que presenten las características de Temuco no sea del todo viable. Además, se debe tener en consideración el alto grado de contaminación atmosférica de la ciudad, el cual supera los límites establecidos de material

particulado en el aire, influyendo en la cantidad de radiación que es capaz de llegar hasta la superficie de los paneles.

A su vez, cabe destacar que si bien la utilización de las orientaciones este, norte y oeste, pueden aportar de manera abundante a la generación de energía, ya sea calorífica o eléctrica, no es capaz de generar la misma energía que produce la radiación horizontal. Por lo tanto, si se desea utilizar alguno de los métodos propuestos de sistemas de integración fotovoltaica se debe privilegiar, dentro de lo posible, una mayor extensión de superficie horizontal (techos), de tal forma que la utilización de las fachadas verticales sea un aprovechamiento de estas superficies y actúen en conjunto con la radiación horizontal y no como fuente de energía principal.

En cuanto al ahorro energético y monetario de los edificios utilizados, el consumo de energía que estos tienen es significativamente mayor que la energía que producen todos los paneles en conjunto, debido a que son edificios de oficinas que requieren electricidad durante todo el día de forma constante, tanto para sistemas de iluminación como para sistemas calefacción o enfriamiento de ambientes. A pesar de haber utilizado la radiación de una ciudad ubicada al sur del país, se logra generar un aporte en la disminución del consumo eléctrico, entre un 4 y un 47% del consumo total, dependiendo de las dimensiones del edificio y del mes del año. Esto plantea que no necesariamente los sistemas fotovoltaicos deben centrarse en zonas con mayor radiación, como es el norte del país, debido a que independiente de donde estén emplazados estos sistemas generarán un aporte, que si bien variará su eficiencia, hará disminuir el consumo de electricidad desde las redes establecidas y como consecuencia un ahorro monetario en el mediano y largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

Agromet (Red Agrometereologica). 2015. [en línea]. Osorno, Chile: INIA. Recuperado en: < <http://agromet.inia.cl/> >. Consultado el: 20 de octubre de 2015.

Araya, J. 2010. Resultados de un control de calidad de datos de temperatura superficial del aire y humedad relativa. *Tecnología en Marcha*, 24(1)- 33-49.

Asenjo, D. 2011. Contaminación del aire en Chile: “Temuco y Osorno están ahogadas por el humo”. Magister en Periodismo, Mención Prensa Escrita. Santiago, Chile: Facultad de Comunicaciones, Pontificia Universidad Católica de Chile. 21p.

Bernardelli, F. 2010. Energía solar termodinámica en América Latina: Los Casos de Brasil, Chile y México. Santiago, Chile: CEPAL. 50p.

Castro, M.; J. Carpio; R. Guirado; A. Colmenar y L. Dávila. 2000. Energía solar fotovoltaica. España: PROGENSA. 70p.

Cárdenas, L.; L. Morales y C. Ruivo. 2012a. Análisis del efecto del sombreado exterior en la radiación solar incidente sobre fachadas de un edificio educacional en un entorno urbano de alta densidad (pp. 63-68). En: XV Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de energía solar (CIES2012) (19-22 junio de 2012, Galicia, España). Libro de actas del XV Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vázquez, M. y Santos, J. Vigo, España. 626p.

Cárdenas, L.; L. Morales y C. Ruivo. 2012b Estimación de la radiación global en Chile central a partir de un modelo simple en GIS (pp. 621- 626)-. En: XV Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de energía solar (CIES2012) (19-22 junio de 2012, Galicia, España). Libro de actas del XV Congreso Ibérico y X Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Vázquez, M. y Santos, J. Vigo, España. 626p.

Cárdenas, L. y P. Uribe. 2012. Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la legislación urbanística chilena de la actividad proyectual. [en línea]. *Revista Urbanismo*, 1(26):1-20. Recuperado en: <<http://revistaurbanismo.uchile.cl>>. Consultado el 30 de junio de 2016.

Centro de Justicia. 2015. [en línea]. Recuperado en: < <http://www.centrodejjusticia.cl/> >. Consultado el: 18 de julio de 2015.

CER (Centro de Energías Renovables). 2012. Energía Solar. Santiago, Chile: CORFO. 28p.

CNE (Comisión Nacional de Energía). 2008. Política Energética: Nuevos lineamientos. Transformando la crisis energética en oportunidad. [en línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: <[http://www.cne.cl/archivos\\_bajar/Politica\\_Energetica\\_Nuevos\\_Lineamientos\\_08.pdf](http://www.cne.cl/archivos_bajar/Politica_Energetica_Nuevos_Lineamientos_08.pdf)>. Consultado el: 14 de noviembre de 2014.

CNE (Comisión Nacional de Energía). 2015. Energía Solar. [en línea]. Recuperado en: <<http://www.cne.cl/component/content/article/39-otros-niveles-renovables-noconvencionales-tipos-energia/389-energia-solar>>. Consultado el: 30 de junio de 2015.

Congreso Nacional de Energía. (30°, 5-7 de octubre de 2011, Chihuahua, México). 2011. Caracterización y uso de sistemas pasivos de climatización en viviendas de la zona metropolitana de Tampico-Madero-Altamira, Tamaulipas. P. López, R. Roux, A. Espuna y V. García (Eds). Chihuahua, México: ANES.

Corbo, V. y A. Hurtado. 2014, nov. Causas y consecuencias del problema energético en Chile: Una visión desde la macroeconomía. [en línea]. *Puntos de Referencia*, 1(382):1-16. Recuperado en: <[http://www.cepchile.cl/dms/archivo\\_5729\\_3625/pder382\\_VCorbo\\_AHurtado.pdf](http://www.cepchile.cl/dms/archivo_5729_3625/pder382_VCorbo_AHurtado.pdf)>. Consultado el: 29 de junio de 2015.

D'Alençon, R. 2013, ago. Fachadas Transparentes: Sistemas activos y pasivos. *ARQ*, 1(84): 97-101.

DGAC (Dirección General de Aeronáutica Civil) y Dirección Meteorológica de Chile. 2013. Anuario Climatológico 2013. Santiago, Chile. 90p.

Duffie, J. and W. Beckman. 2006. Solar engineering of thermal processes. 3a ed. Madison, United States. Wiley. 908p.

Echeverría, B. 2012. Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Santiago, Chile: CORFO, Dirección de Arquitectura, Ministerio de Educación. 101p.

Eiffert, P. and J. Gregory. 2000. Building-Integrated Photovoltaic designs for commercial and institutional structures: A sourcebook for architects. New York, United States: DOE's. 92p.

Eltbaakh, Y.; M. Ruslan; M. Alghoul; M. Othman; K. Sopian and T. Razykov. 2012, may. Solar attenuation by aerosols: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (16): 4264-4276.

European Commission. 2010. Energy Performance of Buildings: Directive 2010/31/EU. Brussels, Belgium: European Parliament and the Council of the European Union. 23p.

FCFM (Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas). 2015. Evaluación del recurso solar. Santiago, Chile: Ministerio de Energía. 11p.

FCH (Fundación Chile). 2015. Energía solar para sistema de potabilización de aguas. [en línea]. Recuperado en: < <http://www.fch.cl/proyecto/sustentabilidad/sistema-de-potabilizacion-de-aguas-en-base-a-energia-solar-para-comunidades/> >. Consultado el 11 de abril de 2015.

García, A.; R. Illanes; J. Torres y M. Castillo. 2008. Energía solar fotovoltaica. (cap. 4, pp. 93- 143). En: De Juana, J., Santos, F., Crespo, A., Herrero, A. De Francisco, A., et al. Energías renovables para el desarrollo. 2a ed. Madrid, España: Paraninfo. 311p.

Generadoras de Chile A.G. abr, 2016. Boletín de mercado eléctrico: Sector generación. Santiago, Chile. 27p.

González, R.; H. Jiménez y J. Lagunas. 2003. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red. (Bol., N°3), Instituto de Investigaciones Eléctricas. México: IIE. 5p.

Goyeneche, P. 2015, feb. Reporte ERNC febrero 2015. (rep. téc. N°3), CORFO. Santiago, Chile: Ministerio de Energía. 2p.

Guimarães, M. 2008. Confort térmico y tipología arquitectónica en clima cálido-húmedo. Master oficial arquitectura energía y medio ambiente. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya. 88h.

Henemann, A. 2008. BIVP: Built- in solar energy. *Renewable Energy Focus*, 9 (6): 14–19.

Hernández, C. 2009, ene. Arquitectura, ciudad y territorio, nuevos retos de las políticas públicas urbanas españolas en relación con la energía. Málaga España: OMAU. 10p.

Hernando, A. 2014, dic. El sector energético en Chile y la Agenda Energética de Energía 2014: Algunos elementos para la discusión. *Propuestas de Política Pública*, 1(5): 1-55.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2012. Guía de integración solar fotovoltaica. Madrid, España: Conserjería de Energía y Hacienda. 98p.

INE (Instituto Nacional de Estadísticas). 2015. Medio Ambiente: Informe anual 2014. Santiago, Chile. 234p.

Iqbal, M. 1983. Introduction to solar radiation. Toronto, Canada: Academic Press. 390p.

James, T.; A. Goodrich; M. Woodhouse.; R. Margolis and S. Ong. 2011. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the residential sector: An analysis of installed rooftop system prices. Colorado, United States: NREL. 50p.

Jelle, B. and C. Breivikb. 2012. The path to the building integrated photovoltaics of tomorrow. *Energy Procedia*, 20(1): 78- 87.

Leiva, R.; C. Herrera y R. Bolocco. 2008. Estudio de contribución de ENRC al SIC al 2025: Informe final. Santiago, Chile: UTFSM. 91p.

León-Machado, I.; D. Lezcano; L. González y M. León-Machado. 2010. Fundamentos teóricos metodológicos para la evaluación económico financiera de proyectos de inversión. *CITMA*, 12(1): 10.

Ley N° 20.635. Establece franquicia tributaria respecto de sistemas solares térmicos. Santiago, Chile: Ministerio de Hacienda. 7p. [Publicada en Diario Oficial el: 19 de agosto de 2009].

Ley N° 20.698. Propicia la ampliación de la matriz energética, mediante fuentes renovables no convencionales. Santiago, Chile: Ministerio de Energía. 4p. [Publicada en Diario Oficial el: 22 de octubre de 2013].

Mediavilla, M. 2012. Una visión global de la crisis energética. *Ecologista*, (73): 30 - 34.

Memari, A.; L. Iulo; R. Solnosky and C. Stultz. jun, 2014. Building Integrated Photovoltaic systems for single family dwellings: Innovation concepts. *Open Journal of Civil Engineering*, (4): 102 – 119.

Ministerio de Desarrollo Social. 2013. Metodología de preparación y evaluación proyectos de edificación pública. 32p.

Ministerio de Energía. 2010. Beneficio tributario para paneles solares térmicos regirá a partir del 24 de agosto. [en línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: < [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/02\\_Noticias/index/noticia\\_detalle.jsp?noticia=02\\_Noticias/10.0.1.6.noticias\\_anteriores/f\\_noticias\\_09\\_06\\_2010.html&nom](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/02_Noticias/index/noticia_detalle.jsp?noticia=02_Noticias/10.0.1.6.noticias_anteriores/f_noticias_09_06_2010.html&nom) > Consultado el: 20 de febrero de 2015.

Ministerio de Energía, 2012. Explorador de Energía Solar (Marcha Blanca). [en línea]. Recuperado en: < <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar/> >. Consultado el: 28 de marzo de 2015.

Ministerio de Energía. 2014. Agenda de Energía: Un desafío país, progreso para todos. Santiago, Chile: Ministerio de Energía. 128p.

Ministerio de Energía. 2015a. Comienza la construcción de la primera planta termosolar de América Latina en la Región de Antofagasta. [en línea]. Santiago, Chile. Recuperado en: < <http://www.minenergia.cl/ministerio/noticias/generales/comienza-la-construccion-de-la-primer.html> > Consultado el: 20 de febrero de 2015.

Ministerio de Energía. 2015b. Energía 2050: Política energética de Chile. Santiago, Chile. 158p.

MMA (Ministerio del Medio Ambiente). 2014. Planes de Descontaminación Atmosférica: Estrategia 2014-2018. Santiago, Chile. 34p.

Molina, A. y R. Rondanelli. 2012. Explorador del recurso solar en Chile: Documentación y manual de uso. Santiago, Chile: Universidad de Chile. 33p.

MOP (Ministerio de Obras Públicas). 2011. Estándares de dimensionamiento para la elaboración del programa arquitectónico oficinas administrativas – Edificación Pública. 4p.

Municipalidad de Temuco, IDER (Instituto de Desarrollo Local y Regional) y Universidad de la Frontera. 2012. Plan de Desarrollo Comunal: PLADECO Temuco 2012- 2017. Temuco, Chile. 119p.

Muntañola, J. 2004. Arquitectura, educación y dialogía social. *Revista Española de Pedagogía*, 58(228): 221-228.

Niño, L. 2011. Interpolación espacial de la abundancia larval de *Aedes aegypti* para localizar focos de infestación. *Panam Salud Pública*, 29(6): 22-416.

NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2010. Solar Maps. [en línea]. Recuperado en: < <http://www.nrel.gov/gis/solar.html> > Consultado el: 28 de mayo de 2015.

Oluwaseyi, T. 2014, jen. Restoration of long-term missing gaps in solar radiation. *Energy and Buildings*, 1(82): 580-591.

ONUDI (Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial). 2013. Observatorio de Energía Renovable para América Latina y Caribe. Programa de Capacitación en Energías Renovables: Energía Solar Fotovoltaica. Viena, Austria. 90p.

ONYX, 2015. Photovoltaic Building Materials. New York, United States. 21p.

Palma, R. 2014, abril. El sector eléctrico en Chile: Desafío para la innovación y desarrollo. *Anales*, 1(5): 99-111.

Pizarro, R.; C. Ramirez y J. Flores. 2003. Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos. *Bosque*, 24(3): 31-38.

Plasencia, E.; L. Matos; A. Posadas y C. Cabrera. 2007. Estimación horaria de la irradiancia solar total extraterrestre. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10(19): 72-77.

Portolan, I. and R. Rüther. 2012. The potential of building-integrated (BIPV) and building-applied photovoltaics (BAPV) in single-family, urban residences at low latitudes in Brazil. *Energy and Buildings*, 50(1): 290 -297.

Reinberg, G. 2009, jul. Apuntes Sobre: La arquitectura de la construcción ecológica. *Dearquitectura*, 1(4): 4-13.

ReneSola. 2015. Solar: Poly Solar Panel:250W, 255W, 260W. [en línea]. Recuperado en: < <http://renesola.com/product/Solar/SOLAR%20PANELS%20/Poly%20Solar%20Panel%3A250W%2C255W%2C260W/> >. Consultado el 19 de junio de 2015.

Sarmiento, P. 2009. Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería. 4a ed. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 266p.

Schuetze, T. mar, 2013. Integration of photovoltaics in buildings- support policies addressing technical and formal aspects. *Energies*, (6): 1 – 20.

Second Workshop on Building-Integrated Photovoltaics. (2º, 15 – 16 september 2014, France). 2014. INES (Institut National de L'Energie Solaire), CEA (Eds). France. 5p.

SIMEC, 2014. Proyecto SIMEC Chile. Santiago, Chile. 138p.

SINCA (Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire). 2015. Estación Las Encinas Temuco. [en línea]. Recuperado en: < <http://soporte.r9.cl/sinca/index.php/estacion/index/id/196> >. Consultado el: 20 de mayo de 2015.

Solà-Morales, I.; M. Llorente; J. Montaner; A. Ramon y J. Oliveras. 2000. Introducción a la arquitectura: conceptos fundamentales. Barcelona, España: Edicions UPC. 149p.

SolarNova, 2015. Efficiency Meets Desing: Módulos solares individuales para la integración arquitéctonica en edificios. Santiago, Chile. 7p.

Soler, A. and R. Ramirez. 1995, aug. Dependence on cloudiness and solar altitude of global solar radiation received at 315 and 545 nm on horizontal surfaces. *Renewable Energy*, 6(4): 407-412.

Tillería, J. 2010, dic. La arquitectura sin arquitectos: algunas reflexiones sobre arquitectura vernácula. *AUS (Valdivia)*, 1(8): 12-15.

Townsend, T. 1989. A method for estimating the long-term performance of direct-coupled photovoltaics systems. Madison: University of Wisconsin. 564p.

Valencia, D. 2013. Aplicaciones del film y nanocoatings como mejora activa y pasiva en la integración fotovoltaica en edificios. Máster en Nanociencia y nanotecnología Molecular. Valladolid, España: Facultad de Ciencias, Universidad de Valladolid. 71p.

Vilaboa, V. 2009. Análisis y caracterización del mercado de los paneles solares en Chile. Memoria de Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 71p.

Wen, C. 1996. The Fundamentals of Aerosol Dynamics. Singapore: World Scientific. 256p.

Younes, S.; R. Claywell and T. Muneer. 2005. Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Energy*, 1(30): 1533-1549.

Zhao, N.; X. Zeng and S. Han. 2013, aug. Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China. *Energy Conversion and Management*, (76): 846-851.