**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA**

**Repositorio Digital USM** **https://repositorio.usm.cl**

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental Ingeniería Civil Química

2018

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR COMO RECURSO TERRITORIAL PARA CONTRIBUIR A LA AUTONOMÍA ENERGÉTICA DE LA COMUNA DE VALPARAÍSO

WALKER VALDIVIESO, ISABEL MARGARITA

https://hdl.handle.net/11673/47427

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL

VALPARAISO - CHILE

# EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR COMO RECURSO TERRITORIAL PARA CONTRIBUIR A LA AUTONOMÍA ENERGÉTICA DE LA COMUNA DE VALPARAÍSO

Isa Walker Valdivieso

Memoria para optar al Título de Ingeniería Civil Química

Profesor Guía: Dr. Sergio Almonacid Merino

Profesor Co-Referente: Dr. Ricardo Simpson Rivera

21 de diciembre de 2018

ESTA PÁGINA ESTA INTENCIONALMENTE EN BLANCO

Somos ingenieras valiosas cuando usamos nuestro intelecto
y esfuerzo en favor de un progreso social.

Somos protagonistas de nuestro presente y futuro,
responsables, como tantas otras, de proponer y accionar el movimiento.

Somos llamadas a generar cambios
y a no delegar ideales,
porque no existe nadie mejor para cumplirlos que nosotras misma.

Creemos un mundo mejor

*“Si no puedes cambiar el mundo, que al menos el mundo no te cambie a ti”*

Noviembre
Achero Mañas

España, 2003

## Contenidos


Resumen ejecutivo ..... 8

Capitulo 1 - Introducción ..... 9

Capitulo 2 - Antecedentes ..... 10

1. Energía en el mundo ..... 10
    - 1.1. Perspectivas sobre la situación energética mundial ..... 10
    - 1.2. Relación entre demanda de energía y desarrollo económico ..... 12
    - 1.3. Territorios que favorecen la producción de energías limpias ..... 14
    - 1.4. Energía convencional, gases efecto invernadero y cambio climático ..... 15
    - 1.5. Atribución de cambio climático a las influencias humanas o naturales ..... 21
2. Energía en Chile ..... 23
    - 2.1. Institucionalidad ..... 24
    - 2.2. Sector eléctrico ..... 27
    - 2.3. Legislación eléctrica ..... 36
    - 2.4. Capacidad instalada de generación de energía eléctrica ..... 39
    - 2.5. Energías renovables no convencionales en Chile ..... 42
    - 2.6. Mercado eléctrico en Chile ..... 45
    - 2.7. Medio ambiente y energía ..... 46
3. Energía solar ..... 46
    - 3.1. Recurso Solar ..... 46
    - 3.2. Potencial del recurso solar en Chile ..... 48
    - 3.3. Medición de datos solares ..... 52
    - 3.4. Tecnologías para el aprovechamiento de energía solar ..... 53
4. Aspecto geográficos y climáticos locales de la comuna de Valparaíso ..... 55
    - 4.1. Topografía de la ciudad Valparaíso ..... 55
    - 4.2. Vaguada costera ..... 57

Capitulo 3 - Instrumentos y métodos ..... 59

1. Instrumentación para la medición de irradiación solar ..... 59
2. Método de implementación de estaciones de medición de irradiación solar en la comuna de Valparaíso ..... 61

3. Método de análisis de los datos ..... 67
3.1. Método de tratamiento de los datos ..... 68
3.2. Método para la relación geo-espacial e interpretación de los datos ..... 70
3.3. Disponibilidad, coherencia y confianza de los datos de irradiación solar ... 73
4. Resultados y discusión ..... 79
4.1. Resultado del tratamiento de los datos ..... 79
4.2. Validación de resultados del tratamiento de los datos ..... 83
4.3. Resultados de análisis geo-espacial e interpretación gráfica de los datos .. 85
4.4. Resultados de análisis de factor de exposición solar geo-espacial para el territorio de estudio definido en la comuna de Valparaíso ..... 86
4.5. Resultados de análisis de radiación solar en la comuna de Valparaíso ..... 87
4.6. Resultados de análisis de coherencia espacial de los datos ..... 89
4.7. Resultados potencial energía solar Valparaíso ..... 90
4.8. Resultados potencial de autonomía eléctrica en Valparaíso ..... 90
Capitulo 4 - Conclusiones y recomendación ..... 96
1. Conclusiones ..... 96
2. Recomendaciones ..... 96
Reflexión general ..... 100
Referencias..... 102

## Índice de Figuras

Figura 1: Suministro de energía primaria en el mundo desde 1971 a 2014 por combustible.... 11
Figura 2: Demanda de energía primaria en 1973 y 2014. AIE, 2018. ..... 11
Figura 3: Participación de las ERNC en la matriz energética internacional. El Mercurio ..... 15
Figura 4: Emisiones antropógenas globales anuales de dióxido de carbono ..... 16
Figura 5: Emisiones antropógenas anuales totales de gases de efecto invernadero. ..... 17
Figura 6: Emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero. IPCC, 2014. ..... 18
Figura 7: Tendencias de calentamiento en el periodo 1951-2010. IPCC, 2014. ..... 22
Figura 8: Costo Marginal Sistemas Interconectados Norte Grande y Central ..... 23
Figura 9: Prioridad de entrada operación centro de despacho de carga por tecnología.. ..... 32
Figura 10: Capacidad instalada en sistemas eléctricos SIC, SING, SEA y SEM ..... 40
Figura 11: Matriz de generación en el Sistema Interconectado Central (SIC) y SING ..... 41
Figura 12: Potencia bruta de fuentes renovables v/s capacidad instalada de generación..... 44
Figura 13: Radiación solar promedio 1990-2004. Fuente: Ecole de mines París, 2006. ..... 48
Figura 14: Mapa radiación solar mundial. 3TIER. ..... 49
Figura 15: Mapa radiación Chile. 3TIER ..... 49

Figura 16: Energía solar por Región en Chile v/s Alemania. Fundación Chile, 2010. ..... 52
Figura 17: Materialidad de células fotovoltaicas ..... 54
Figura 18: Valparaíso a escala continental. ..... 55
Figura 19: Componentes de la topografía de Valparaíso. ..... 56
Figura 20: Componentes instrumentación medición irradiación solar. ..... 59
Figura 21: Perfil solar en tiempo real. ..... 60
Figura 22: Mapa Tiempo Universal Coordinado UTC ..... 61
Figura 23: Mapa ubicación de diez estaciones de medición de irradiación solar ..... 63
Figura 24: Ejemplo archivos de datos de irradiancia solar. ..... 74
Figura 25: Ejemplo datos en archivo Laguna Verde. ..... 75
Figura 26: Tabla resumen disponibilidad de datos por cada archivo. ..... 75
Figura 27: Radiación anual en diez puntos de la comuna de Valparaíso ..... 82
Figura 28: Radiación mensual [KWh/m2] para diez puntos de la comuna de Valparaíso. ..... 83
Figura 29: Radiación Media Acumulada KWh/m2 Comparativa 2016 ..... 83
Figura 30: Gráfico comparativo radiación [KWh/m2] obtenido v/s datos de referencia. ..... 84
Figura 31: Mapa de porcentaje de horas de exposición solar sobre total teórico anual. ..... 87
Figura 32: Mapa energía solar acumulada para la comuna de Valparaíso . ..... 88

## Índice de Tablas

Tabla 1: Participación por empresa en generación eléctrica en SIC. ..... 29
Tabla 2: Participación por empresa en generación eléctrica en SIC. ..... 29
Tabla 3: Empresas de transmisión de energía eléctrica en Chile. ..... 33
Tabla 4: Empresas distribuidoras de energía eléctrica en Chile. ..... 35
Tabla 5: Radiación en distintos lugares del mundo. ..... 50
Tabla 6: Radiación solar por comuna en Chile. ..... 50
Tabla 7: Detalle estaciones de medición de radiación solar ..... 64
Tabla 8: Leyenda disponibilidad de datos de un día característico de cada mes ..... 76
Tabla 9: Disponibilidad de datos para el intervalo solar de un día característico. ..... 76
Tabla 10: Disponibilidad de datos para el intervalo solar de un día característico. ..... 77
Tabla 11: Datos de referencia registro solarimétrico. ..... 84
Tabla 12: Área comprendida por el mapa de radiación solar anual ..... 85
Tabla 13: Inyección mensual [GWh] Chilquinta 2016. Fuente: 2016 ..... 91
Tabla 14: Inyección año [GWh] Chilquinta 2016. Fuente: 2016. ..... 91
Tabla 15: Inyección energía eléctrica comuna Valparaíso [GWh] para el año 2016. ..... 92
Tabla 16: Consumo eléctrico Valparaíso 2017. ..... 93
Tabla 17: Tarificación Valparaíso 2017. ..... 93

## Resumen ejecutivo

En las ciudades actuales, la energía se ha transformado en un bien indispensable para la vida, donde cada actividad, económica o cultural, depende la gran mayoría de las veces de este recurso. Hasta ahora estas han sido fuertemente basadas en combustibles fósiles. La generación eléctrica en Chile depende en su gran mayoría de la importación de combustibles fósiles, nuestra matriz eléctrica es altamente carbonizada, donde un 57% de la electricidad genera emisiones de carbono que contribuyen al calentamiento global, lo que la convierte en una matriz ineficiente si consideramos el uso de otros recursos que nuestro territorio posee, como por ejemplo, la energía solar. Incluso, en muchas regiones del país la implementación de proyectos de energía solar a gran escala cuesta menos de la mitad que las centrales a base de combustibles fósiles.

Por otra parte, la Agencia Internacional de la Energía afirma que "el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independiente de importaciones de combustibles fósiles. Aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costos de la mitigación del cambio climático y evitará el aumento excesivo de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costos para el incentivo y desarrollo de las energías renovables deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas".

Por medio de este estudio se comprueba que es posible reemplazar el 100% de la energía eléctrica convencional proveniente desde grandes proyectos eléctricos, por energías renovables fotovoltaicas de escala local, es posible asegurar que la comuna de Valparaíso es capaz de alcanzar mayor nivel de autonomía de los grandes sistemas eléctricos. Esto trae ventajas comparativas para el desarrollo urbano: en primer lugar, existe seguridad de abastecimiento eléctrico, independiente de fluctuaciones de precio o cortes de suministro; aumenta la autonomía cotidiana frente a grandes grupos económicos nacionales ligados a este sector; disminuye la huella de carbono en zonas exportadoras de energía que tienen altos impactos ambientales y la salud; y contribuye un cambio de paradigma del "habitar" en vistas de las urgencias que enfrentamos en relación al cambio climático.

Los resultados de estudio demuestran que la capacidad de autonomía eléctrica local a partir de fuente renovable solar es de un 100%. El potencial bruto anual, considerando incluso efectos de la vaguada costera y topografía local, es de 52.324.456.120 [KWh/año]. Luego, el potencial tecnológico considerando un 17% de factor de planta es de 8.895,16 [GWh/año], muy por sobre los 556,217[GWh/año] de demanda eléctrica de la comuna de Valparaíso en 2016 y 406, 48[GWh/año] en 2017.

La implementación de proyectos fotovoltaicos de energía solar a escala local en reemplazo del suministro eléctrico proveniente del Sistema Interconectado Central, permitiría reducir en al menos 220.818 toneladas de CO2 al año.

Así, la implementación de proyectos fotovoltaicos para la producción de energía eléctrica a partir de una fuente solar renovable, permite mayor seguridad de abastecimiento eléctrico; independencia de fluctuaciones de precio o cortes de suministro; aumento de la autonomía cotidiana frente a grandes grupos económicos nacionales ligados a este sector; disminuir la huella de carbono en zonas exportadoras de energía que tienen altos impactos ambientales y a la salud; y contribuir a un cambio de paradigma del "habitar" en vistas de las urgencias que enfrentamos en relación al cambio climático.

## Capitulo 1 - Introducción

La energía solar es un recurso territorial prácticamente inagotable, la cual es capaz de generar electricidad, calentar agua sanitaria o apoyar procesos térmicos industriales. El uso de esta fuente energética para cubrir la demanda de la actividad humana, mediante generación y autoconsumo de energía eléctrica o térmica, permitiría prescindir de sistemas de abastecimiento centralizados y, por lo tanto, aumentar el nivel de autonomía territorial de las ciudades. Sin embargo, la energía solar, para la generación de electricidad, no se utiliza habitualmente a nivel residencial o industrial en Chile.

Valparaíso es una de las ciudades más desafiantes en el país para evaluar el potencial de reemplazo de sistemas convencionales de abastecimiento de energía eléctrica por tecnologías alternativas en base a energía solar. Esta complejidad deviene de su geografía accidentada, la cual genera sombras naturales que reducen la cantidad de horas de exposición solar en diversos puntos de la comuna y por la presencia esporádica de un fenómeno meteorológico local, llamado vaguada costera que disminuye el nivel de radiación solar recibida en diversos sectores del territorio. El ahorro y buenas prácticas en energías domésticas pueden generar importantes beneficios ambientales, cuando estas logran escalar a nivel urbano.

El objetivo general es demostrar la capacidad de autonomía energética de la comuna de Valparaíso definiendo su potencial máximo de producción de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica, en comparación con el consumo actual de la comuna. Con esta investigación se espera entregar un aporte a la comuna de Valparaíso, a modo de promover el desarrollo social, ambiental y económico sostenible, responsable y bien gestionado, para posicionarse como un territorio que procura proteger su entorno y su gente, al incorporar buenas prácticas y tecnologías basadas

en energías renovables por ahora no convencionales que disminuyan el costo social y ambiental asociado actualmente al sector eléctrico. Los objetivos específicos son:

I. Hacer una revisión detallada del contexto energético mundial; la situación actual en torno a las energías renovables en Chile; la correspondencia directa del cambio climático con el uso de combustibles fósiles en la industria energética, la institucionalidad del sector eléctrico y su mercado en Chile.

II. Medir datos reales de irradiación solar en la comuna de Valparaíso durante un año considerando los efectos del fenómeno climatológico local llamado vaguada costera.

III. Determinar el potencial máximo de energía solar anual en la comuna de Valparaíso incorporando la incidencia de la topografía en la generación de sombras sobre el territorio.

IV. Comparar la producción teórica de energía eléctrica solar fotovoltaica que es posible generar en el territorio, con datos de consumo actual a partir del servicio urbano centralizado de red eléctrica. Determinar el potencial máximo de producción eléctrica utilizando tecnología solar-fotovoltaica en la comuna de Valparaíso, para demostrar su capacidad de autonomía frente a la industria energética nacional.

# Capitulo 2 - Antecedentes

## 1. Energía en el mundo

### 1.1. Perspectivas sobre la situación energética mundial

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), a nivel mundial el suministro de energía primaria aumentó en un 122% en 40 años, pasando de un consumo en alrededor de 6.100 millones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP) en 1973 a unos 13.541 millones de TEP en 2013 (Figura 1).

La energía primaria es aquella que se obtiene en estado puro, directamente de la naturaleza, como la solar, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, petróleo, gas natural o carbón. Mientras que la energía secundaria proviene de la transformación de una energía primaria con destino a consumo directo o a otros usos: gasolinas, electricidad, gasoil, fuel oil.
Analizando la información en más detalle, es posible observar que al año 2014 el 81,1% de la energía primaria provenía de combustibles fósiles. Lo anterior no es muy diferente al 86,6% que primaba en 1973, como puede observarse en la Figura 2.

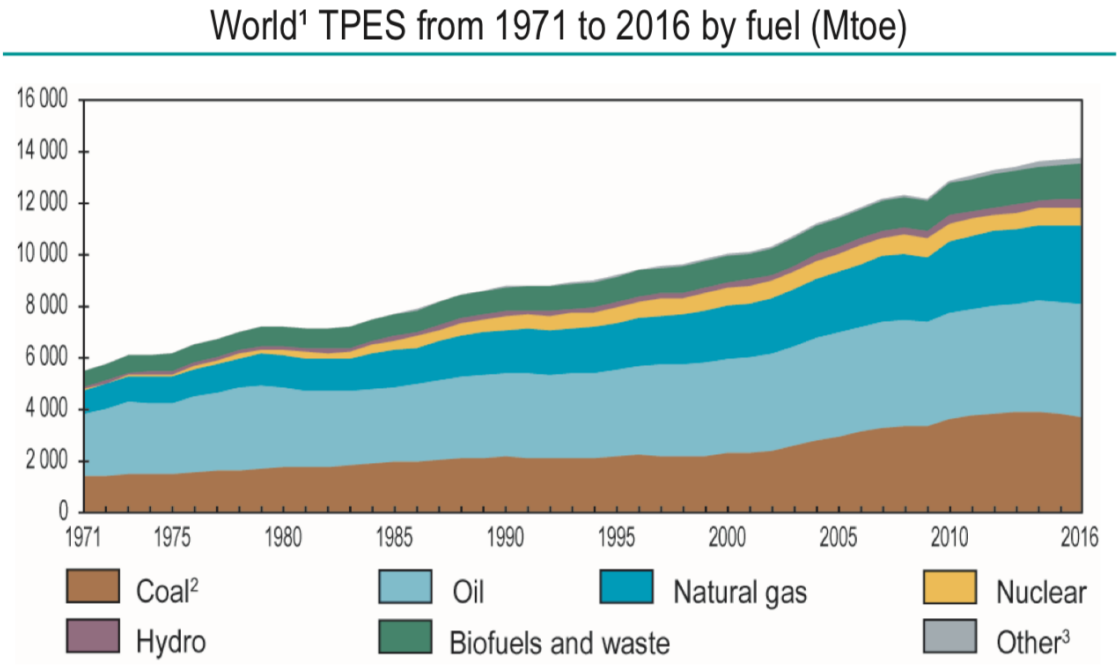



**Figura 1: Suministro de energía primaria en el mundo desde 1971 a 2014 por combustible. AIE, 2018.**

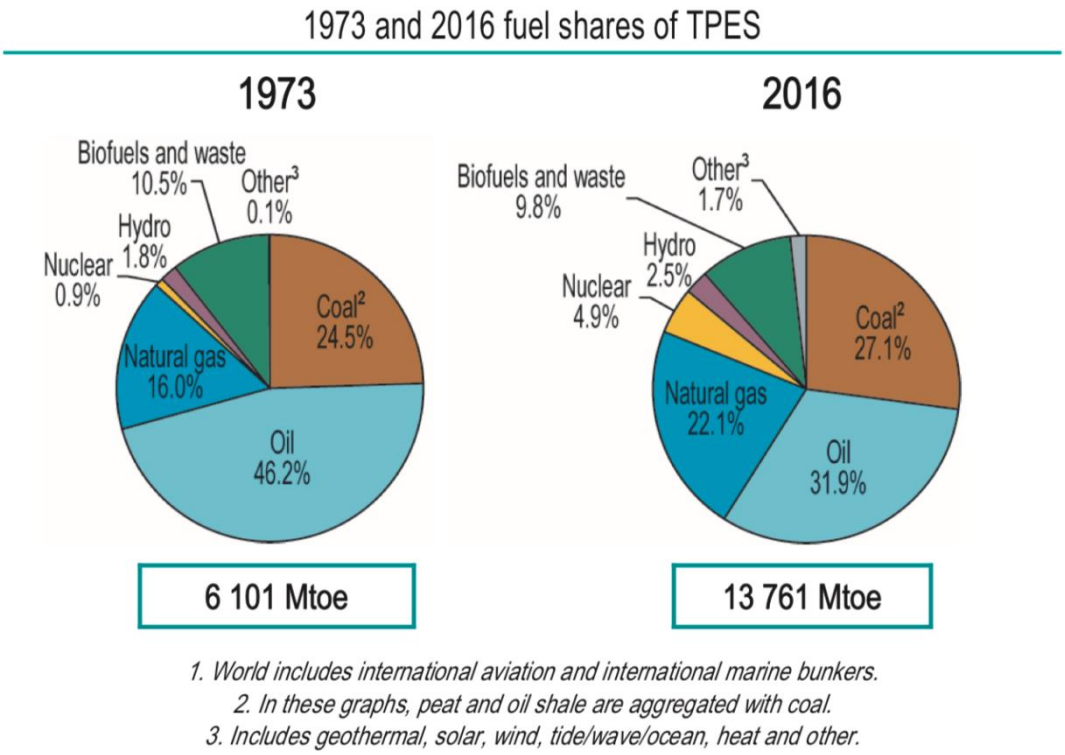



**Figura 2: Demanda de energía primaria en 1973 y 2014. AIE, 2018.**

La Figura 2 muestra que el panorama mundial, en términos de fuentes de generación de energía eléctrica, no es tan diferente a la que ocurría hace 40 años atrás. Aún existe una predominante dependencia de la producción de energía primaria a partir fuentes

fósiles, como petróleo, gas natural y carbón. El mundo opta en forma generalizada por el uso de estas fuentes de energía altamente contaminantes por sobre otras alternativas de generación eléctrica y térmica de menor impacto ambiental, donde claramente las extensas negociaciones sostenidas desde hace años enmarcadas en el Acuerdo de París, no han tenido el efecto que necesita la sociedad para solucionar el problema urgente de cambio climático.

Esta tendencia, a nivel mundial, por el uso de combustibles fósiles como fuente energética data desde inicios de la Revolución Industrial, alrededor del año 1700. El uso de estos combustibles fósiles es generalmente argumentado bajo diversas razones, unas más fundamentadas que otras, sin embargo las principales son de orden económico y político, donde ciertas regiones del mundo logran un alto poder de decisión por sobre otros estados en términos de planificación energética de los territorios a nivel mundial.

### 1.2. Relación entre demanda de energía y desarrollo económico

Cabe destacar que, uno de los principales motores del aumento acelerado de proyectos de generación de electricidad a nivel nacional, se debe a una habitual dinámica desregulada de oferta y demanda de energía, lo que permite un rápido aumento de la demanda de energía eléctrica. Lo anterior es usualmente evaluado de manera positiva por algunos Estados, debido a que habitualmente estos contemplan una relación estrecha entre progreso económico nacional y demanda eléctrica del territorio, donde los indicadores de aumento en la demanda eléctrica implican directamente un desarrollo económico positivo. Aun cuando en muchos casos este desarrollo y la demanda energética de las naciones realmente tienen una relación (por ejemplo, el aumento de desarrollo industrial, implica incurrir en procesos altamente costosos en términos energéticos), existe la tendencia a interpretar en forma errada respecto de la relación vinculante entre ambos parámetros, ya que factores como la eficiencia energética y la optimización de procesos industriales permite, efectivamente, un desacople entre desarrollo económico y demanda eléctrica. Este error conceptual propone una valoración positiva del crecimiento continuo de la oferta energética y, por tanto, un uso desmedido de recursos naturales en la urgente necesidad de implementar mega proyectos eléctricos para satisfacer estas demandas.

Actualmente, es posible decir que el aumento de la capacidad instalada de producción de energía eléctrica no corresponde a una condición inherente al desarrollo económico. Existen muchos países que han logrado desacoplar su demanda energética de su tasa de crecimiento económico y demográfico. Dinamarca es un buen ejemplo de esta práctica ya que el país experimentó un crecimiento económico del 75% durante los últimos 25 años mientras el consumo de energía se mantuvo estable. Hoy, el desacople de estos parámetros constituye un objetivo dentro de la planificación energética de varios países (aunque probablemente no la mayoría), donde incluso

Chile plantea “impulsar como política pública la búsqueda de una reducción del consumo [energético] y de desacople entre crecimiento [económico] y demanda [de energía]”, logrando a 2020 “una disminución del 12% de la demanda de energía proyectada hacia ese año”.

Aun así, a nivel global el crecimiento económico continúa validándose como herramienta para prever la demanda de energía proyectada al mediano plazo. Más aun, la AIE tiene fuertes pronósticos de demanda global de energía eléctrica basados en indicadores de crecimiento económico mundial. Es así como se anuncia que gracias a países emergentes como China, India y el Medio Oriente, existirá un aumento de demanda energética considerable dentro de los próximos años y se estima que aumentará un 48% en 25 años, desde los cerca de 11,43 billones de TPE en 2005 hasta los 17,00 billones de TPE en 2030. La proporción de demanda de petróleo como energía primaria se espera disminuya desde 34% a 30% del total demandado, pero en términos absolutos, la necesidad de petróleo aumentará en un 27,7%, pasando de 4,0 billones de TEP en 2005 a alrededor de 5,1 billones de TPE en 2030. Es por esta razón que se espera una importante inversión en trabajos exploratorios de petróleo y gas natural, ya que la tasa promedio mundial de agotamiento de yacimientos petrolíferos, tras su cumbre de producción, es de un 6,7% anual en primera instancia y se espera que esta se acelere hasta el 8,6% en 2030.

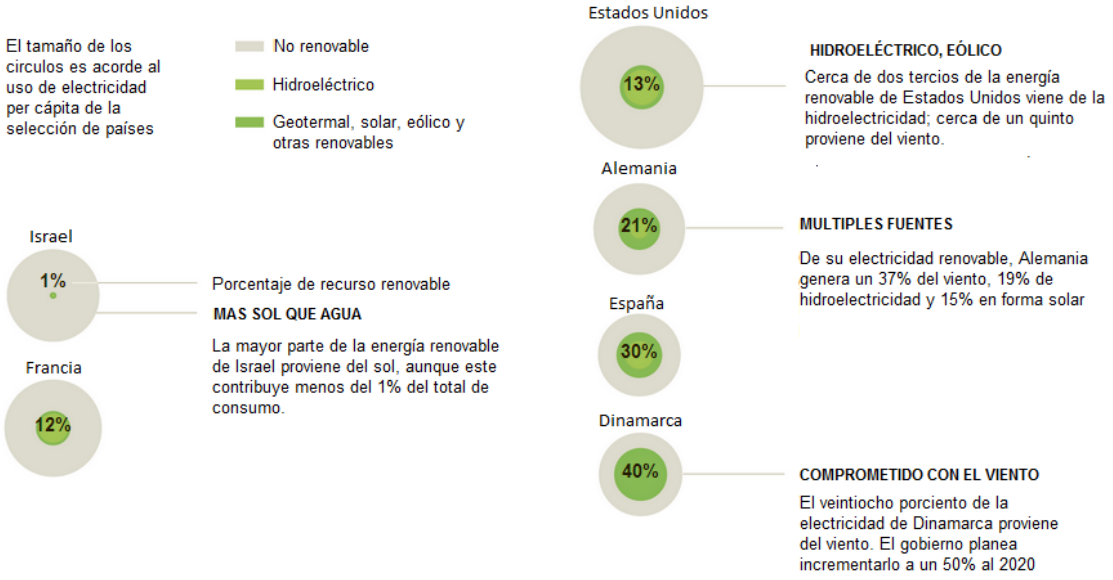
A fin de continuar con la producción de petróleo para satisfacer la creciente demanda de energía mundial, y en el contexto de agotamiento planteado anteriormente, es necesario encontrar y trabajar sobre nuevos yacimientos de crudo. En términos de nueva capacidad de producción, la AIE predice que en el periodo 2007-2030 será necesaria una capacidad adicional de 64 millones de barriles/día, lo que equivale a cerca de seis veces la producción actual de Arabia Saudita, el país de mayor producción de petróleo en el mundo.
Considerando la situación actual de creciente demanda energética y su aumento de precios, y el refuerzo de las contramedidas para el calentamiento global, las energías renovables han tomado fuerza pasando a ser centro de atención durante los últimos años. Una de las variables más fuertes que instan al mundo a mirar en dirección a las energías renovables, son las impredecibles fluctuaciones de precio y su tendencia al alza por largos periodos de tiempo, los que a la vez también son imprevisibles. Si bien los combustibles fósiles seguirán siendo utilizados durante muchas décadas en el futuro, hoy existe conciencia sobre la necesidad de incursionar en el terreno de las energías renovables y se espera que estas contribuyan a disminuir el impacto de los proyectos desde un punto de vista ambiental, social, cultural y económico en un futuro cercano.

De esta forma es imperativo un análisis de cuáles son los beneficios de continuar invirtiendo en explorar yacimientos fósiles e instalación de centrales térmicas. Estos

contribuyen a la vulnerabilidad energética, debido a la dependencia de tener que importar combustible fósiles, la inestabilidad de precios, y persistencia de conflictos políticos internacionales. Contrapuesto a lo anterior, existe un escenario benevolente garantizado al fomentar la investigación en torno al desarrollo de tecnologías que aprovechan fuentes renovables para generar electricidad, de manera más eficiente, económica, confiable y diversa, así como promover con más fuerza el implementar proyectos de ERNC para solventar las necesidades energéticas de manera autónoma, a bajos costos de generación, independientes de fluctuaciones económicas externas al territorio de emplazamiento de los proyectos y, más aún, a escalas adecuadas a cada núcleo de demanda energética en el territorio, sean ciudades o centros industriales.

### 1.3. Territorios que favorecen la producción de energías limpias

Existe un gran número de países que han tomado una posición de liderazgo en el uso de fuentes de energía renovable en su matriz energética; estos dan cuenta de la viabilidad de las "tecnologías limpias" al incorporarlas en proporciones más o menos significativas respecto de su capacidad instalada total para producir energía. En la siguiente Figura 3, se muestra el porcentaje de capacidad instalada en base a energías renovables en algunos países del mundo.



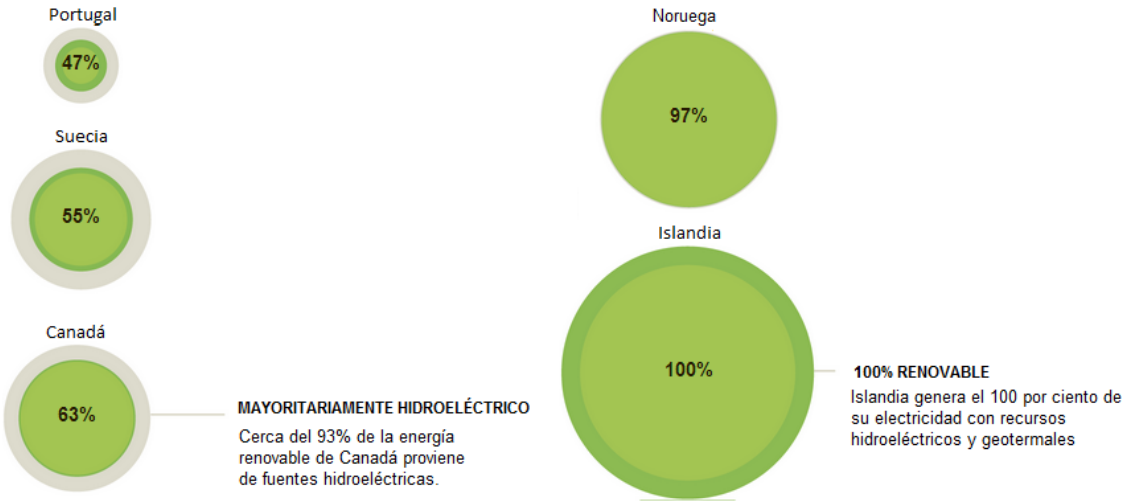



**Figura 3: Participación de las ERNC en la matriz energética internacional. El Mercurio**

Es importante tener en cuenta que cada país define qué tipo de proyecto es considerado de energías renovables no convencionales, de acuerdo a su normativa y política interna. En términos de la energía solar, eólica y geotermia no existen grandes diferencias a nivel internacional; sin embargo, hay importantes diferencias en cuanto a la energía hidroeléctrica, donde cada país define la escala que delimita un proyecto hidroeléctrico renovable de otro convencional. Es importante tener presente que la energía hidroeléctrica de gran escala, como represas o grandes centrales de paso, provoca un alto impacto ambiental e incluso social. Las *centrales de paso* de escala reducida tienen menor impacto ambiental y son consideradas de energía renovable en gran número de países. En Chile, incluso, se califica como generación con energías renovables no convencionales a centrales hidroeléctricas de 20MW instaladas en zonas donde el recurso hídrico limitado. Por esta razón, es necesario hacer una lectura más profunda en términos de normativa interna de cada país para evaluar si efectivamente proyectos que son considerados de energía renovable no convencional, en realidad proponen bajo impacto ambiental.

### 1.4. Energía convencional, gases efecto invernadero y cambio climático

Según el último informe de cambio climático realizado en 2014 (IPCC, 2014), por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por su acrónimo en inglés) creado por la Organización de las Naciones Unidas, alrededor de la mitad de las emisiones de $CO_2$ antropógenas acumuladas entre 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años en que se añadieron a la atmósfera 2.040 (± 310) $GtCO_2$ (miles de millones de toneladas de CO2). Las emisiones antropógenas anuales totales de gases de efecto invernadero han seguido aumentando entre 1970 y 2010 con mayores incrementos absolutos entre 2000 y 2010. Las emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero de 2000 a 2010 y fueron las más elevadas en la historia de la humanidad alcanzando a 49 (±4,5) GtCO2-eq/año en 2010 luego que la crisis económica mundial de 2007/2008 redujo las emisiones solo temporalmente.

Desde 1970, las emisiones de $CO_2$ acumuladas procedentes del uso de combustibles fósiles, la producción de cemento y la quema en antorcha se han triplicado. Mientras, las emisiones de $CO_2$ acumuladas procedentes de la silvicultura y otros usos del suelo (FOLU) han aumentado alrededor del 40% (IPCC, 2014).

La silvicultura y otros usos del suelo (FOLU), también denominada uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura (LULUCF), es el subconjunto de emisiones y remociones conexas a la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU) de los gases de efecto invernadero (GEI) resultantes de las actividades humanas directamente relacionadas con el uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, excluidas las emisiones y remociones agrícolas. (véase el glosario del GTIII IE5).

**Las emisiones de $CO_2$ procedentes de combustibles fósiles y los procesos industriales contribuyeron alrededor del 78% al aumento total de emisiones de gases de efecto invernadero entre 1970 y 2010**. Las emisiones de $CO_2$ relacionadas con los combustibles fósiles alcanzaron los 32 (±2,7) GtCO2/año, en 2010, y siguieron creciendo alrededor de un 3% entre 2010 y 2011, y alrededor del 1% al 2% entre 2011 y 2012. El $CO_2$ continúa siendo el principal gas de efecto invernadero antropógeno y representó en 2010 el 76% de las emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero. De la cifra total, el 16% procedía del metano (CH4), el 6,2% del óxido nitroso (N2O), y el 2,0% de gases fluorados. Anualmente, desde 1970, alrededor del 25% de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero ha sido en forma de gases distintos del $CO_2$.

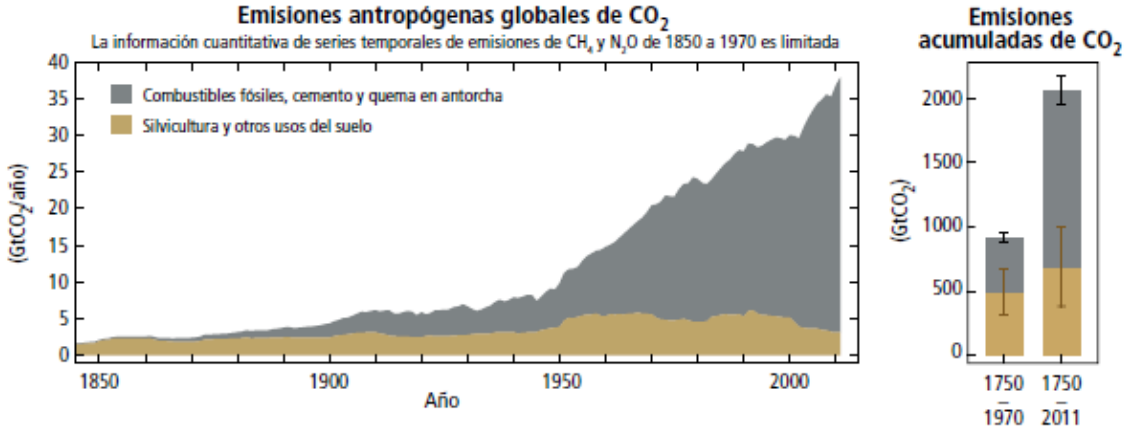



**Figura 4: Emisiones antropógenas globales anuales de dióxido de carbono (CO2). IPCC, 2014.**

Las emisiones antropógenas anuales totales de gases de efecto invernadero se incrementaron alrededor de 10 $GtCO_2$-eq entre 2000 y 2010**. Ese aumento proviene directamente de los sectores de la energía (47%), la industria (30%), el transporte (11%) y los edificios** (IPCC, 2014). Desde el año 2000, las emisiones de gases de efecto

invernadero han acrecido en todos los sectores, salvo en la agricultura, silvicultura y otros usos del suelo (AFOLU); en el 2010 el 35% de las emisiones de gases de efecto invernadero fueron liberadas por el sector de la energía, el 24% (emisiones netas) por el sector AFOLU, el 21% por la industria, el 14% por el transporte, y el 6,4% por los edificios.

A nivel mundial, el crecimiento económico y el crecimiento demográfico continúan siendo los impulsores más importantes de los aumentos en las emisiones de $CO_2$ derivadas del uso de combustibles fósiles (IPCC, 2014). La contribución del crecimiento demográfico entre 2000 y 2010 permaneció, a grandes rasgos, idéntica a los tres decenios anteriores, mientras que la contribución del crecimiento económico ha aumentado notablemente. El mayor uso del carbón respecto de otras fuentes de energía ha invertido la prolongada tendencia de des-carbonización gradual con una menor presencia de éste en el suministro de energía mundial.

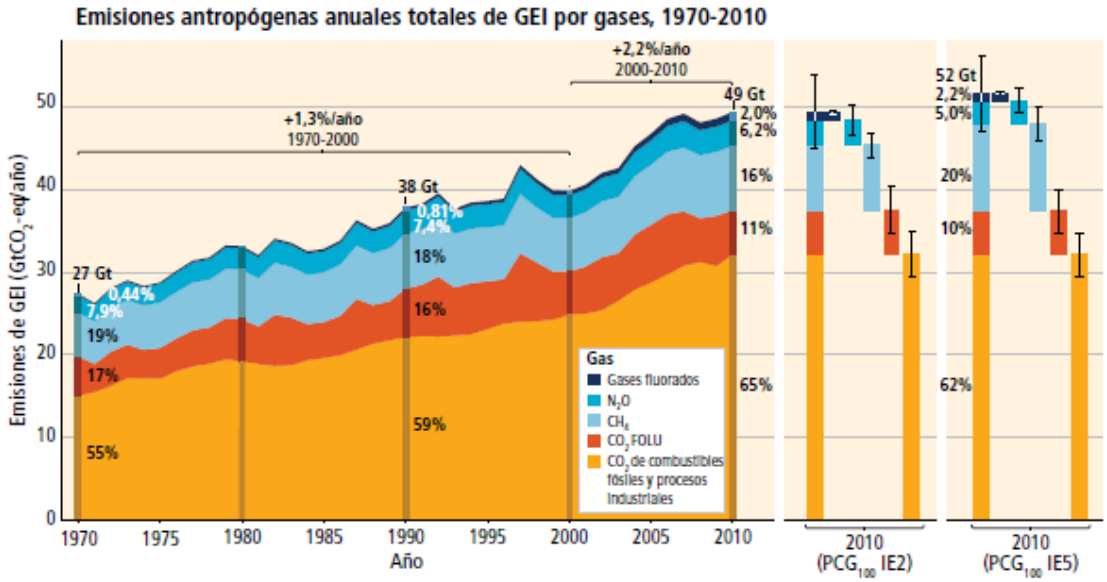



**Figura 5: Emisiones antropógenas anuales totales de gases de efecto invernadero (GEI) (IPCC, 2014).**

En la Figura 6, el círculo muestra las emisiones directas de GEI (como porcentaje de las emisiones antropógenas totales de GEI) de cinco sectores económicos en 2010. El arco muestra cómo los porcentajes de emisiones indirectas de CO2 (como parte de las emisiones antropógenas totales de GEI) procedentes de la producción eléctrica y térmica se atribuyen a los sectores de uso final de la energía.

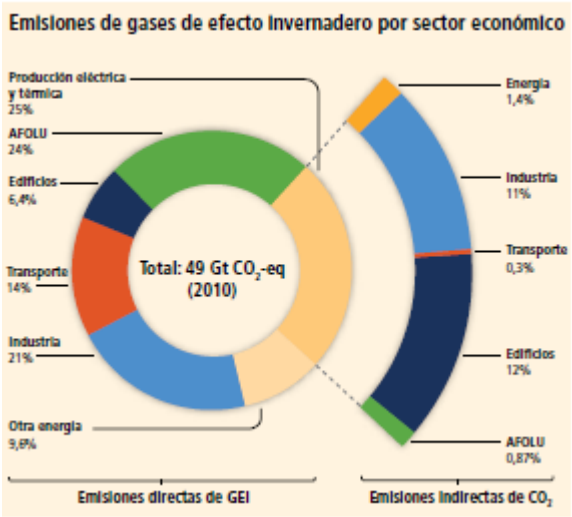



**Figura 6: Emisiones antropógenas totales de gases de efecto invernadero. IPCC, 2014.**

A partir de fuentes adicionales de información, se obtiene que los principales emisores de gases efecto invernadero (GEI) a la atmósfera en el mundo son los siguientes sectores:

1. **Plantas de producción de energía:** 25-30% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$. La generación de energía eléctrica y térmica por la quema de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y el petróleo produce más gases de efecto invernadero (GEI) que cualquier actividad humana. Esta representa al menos una cuarta parte de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero. La cantidad de $CO_2$ producida por la generación de energía eléctrica y térmica ha aumentado desde que el carbón es la fuente de energía de más rápido crecimiento desde el año 2000, según los informes de la Agencia Internacional de la Energía.

2. **Sector domiciliario:** 11% de los totales globales de GEI por emisión de $CO_2$.
   La mayor fuente de emisiones globales son los hogares, según los cálculos de la consultora ambiental holandesa Ecofys. Esto se debe a la demanda de calor y electricidad requerida para el creciente número de dispositivos eléctricos utilizados en los hogares, tales como acondicionadores de aire y aparatos domésticos. En consecuencia, aparatos más eficientes, edificios mejor aislados, y sistemas de energía mejorados o alternativos son necesarios. Los datos utilizados provienen de la Agencia Internacional de la Energía, del Proyecto Global de Carbono y el Centro de Investigación de la Comisión Europea.

3. **Transporte:** 10,5% de las emisiones globales de GEI por emanación de $CO_2$.
   A 2014 había más de mil millones automóviles, camiones y autobuses en las carreteras del mundo. Lo anterior equivale a más de un vehículo por cada siete personas. El espectacular crecimiento del transporte por carretera, impulsado en los últimos años por parte de China y otras economías emergentes, produce más

del 10 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen humano. Esta producción ha aumentado en más de un 50% desde 1990 a pesar de las mejoras en la eficiencia de combustible del vehículo, según la Agencia Internacional de la Energía.

4. **Deforestación, degradación de los bosques y cambio de uso de suelo:** 10,3% de los registros globales de GEI por emisión de $CO_2$, $N_2O$ y $CH_4$.

   El daño causado es doble: en primer lugar, la capacidad de los bosques para absorber $CO_2$ y actuar como pulmones de la Tierra se ve disminuida; en segundo lugar, las grandes cantidades de $CO_2$ climático-calentamiento, el metano y óxido nitroso almacenado en los árboles y los suelos son liberados a la atmósfera.

5. **Procesos y pérdidas en la industria energética:** 8,3% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$ y $CH_4$.

   Una parte significativa de la huella de carbono de la industria de la energía consiste en el uso de combustibles fósiles en sus propios procesos. También contribuyen las "pérdidas" ocasionadas por fugas en los equipos a presión en las centrales eléctricas y refinerías, o bien otras actividades como la quema o venteo de gases de perforación y operaciones mineras. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente estima que hasta un 6% de las emisiones globales son ''emisiones fugitivas" de estos y otros procesos.

6. **Construcción de edificios comerciales:** 7% de los totales globales de GEI por emisión de $CO_2$. Además del sector residencial, la construcción y puesta en marcha de edificios comerciales y públicos contribuye con una parte significativa de las emisiones globales, sobre todo con el crecimiento de los procesos industriales que usan energía eléctrica, el requerimiento de lugares de trabajo de temperatura controlada y la creciente necesidad de electricidad para computación y capacidad de almacenamiento. La Agencia Internacional de la Energía proyecta que para el año 2035 la demanda de electricidad será casi un 70% superior a la actual.

7. **Producción de cemento, cerámica y vidrio:** 6% de las emisiones globales de GEI por generación de $CO_2$.

   Existe una creciente demanda mundial de cemento, ladrillos, pavimentos y revestimientos cerámicos, particularmente debido a un auge de la construcción en las economías emergentes. El producir cemento es intensivo en energía, lo que requiere en primer lugar la explotación de canteras de piedra caliza y, posteriormente, su procesamiento a muy altas temperaturas. Otros minerales no metálicos como la cerámica y vidrio también utilizan procesos de transformación intensivos en energía como es con la piedra caliza, sílice y arcillas.

8. **Ganadería:** 5,5% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CH_4$. Casi la mitad de todas las emisiones mundiales de metano provienen de gases del ganado y su estiércol, por lo que la ganadería contribuye de manera significativa al cambio climático. El metano es veinte veces más potente como gas de efecto invernadero que el $CO_2$ aunque este no permanece tanto tiempo en la atmósfera, ya que con el tiempo se descompone en dióxido de carbono y otros gases.

9. **Fabricación de hierro y acero:** 4,8% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$. La industria del hierro y el acero tiene una de las huellas de carbono más grandes de cualquier otro sector industrial. Su cuota de emisiones globales se incrementó significativamente desde un 3,2% en 2000 a un 4,8% en 2010. El sector requiere de diversos procesos intensivos en energía, incluyendo la minería y el transporte de mineral de hierro, fundición de este mineral de hierro en los altos hornos para transformarlo en acero.

10. **Suelos agrícolas:** 4,4% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$ y $N_2O$. La agricultura moderna se basa en gran medida en el uso de fertilizantes y pesticidas que liberan óxido nitroso al aire. El óxido nitroso es 300 veces más potente que el dióxido de carbono como agente de calentamiento, aunque no dura mucho tiempo en la atmósfera. La consultora holandesa Ecofys estima que la manipulación de los suelos agrícolas es responsable de un 4,4 por ciento de las emisiones en todo el mundo y sumando el uso de la energía en agricultura sería responsable de un 1,4% adicional del total del mundo.

11. **Industria química y petroquímica:** 4,3% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$. La fabricación de productos químicos y petroquímicos industriales proporcionan la base para la generación de plásticos, textiles, tintes y resinas, detergentes, fertilizantes y decenas de miles de otros productos. Estos requieren grandes cantidades de energía para alimentar los procesos de alta temperatura como el “cracking” que transforman las materias primas como el petróleo o el gas natural, en sus productos.

12. **Producción de petróleo y gas:** 3,1% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$ y $CH_4$. La extracción, transporte, refinación y procesamiento de petróleo y gas natural requiere de grandes cantidades de energía e implica riesgos considerables de fuga de las llamadas “emisiones fugitivas” en cada una de sus etapas. Especialmente cuando la industria explora perforaciones en entornos más exigentes, tal como en profundidades en alta mar. Comparando el análisis de Ecofys con los datos del Instituto de Recursos Mundiales a partir de 2000 muestra parte de las emisiones globales de la industria se ha reducido a la mitad desde un 6,4% al 3,1%.

13. **Residuos y aguas residuales:** 3% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$ y $CH_4$. Los vertederos generan gases de efecto invernadero debido a la descomposición de residuos orgánicos de alimentos, los que producen metano. De las aguas residuales de procesamiento también emana metano y si la basura se quema, entrega CO2 al ambiente.

14. **La minería de carbón:** 1,8% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$ y $CH_4$.
    La minería del carbón produce metano como "emisiones fugitivas 'porque este gas absorbido por el carbón se libera de las vetas de carbón cuando se éstas fracturan o son perturbadas. La minería a tajo abierto libera metano directamente a la atmósfera, mientras que el metano restante contenido en el carbón puede ser liberado durante su transporte y procesamiento posterior.

15. **Aviación:** 1,5% de las emisiones globales de GEI por emisión de $CO_2$, $H_2O$, $N_2O$ y aerosoles. Las emisiones de los aviones en vapor de agua, óxidos nitrosos, aerosoles y CO2 por la quema de kerosene en altura (la que puede ser de dos a cuatro veces más fuerte que las emisiones de $CO_2$ por sí solos) donde la aviación es responsable aproximadamente del 1,5 por ciento del calentamiento global hecho por el hombre, lo que creció aún más rápido que el transporte por carretera entre 1990 y 2011, según la Agencia Internacional de la Energía.

A partir de la información anterior es posible inferir que las emisiones de GEI relacionadas a la generación de energía son de un 46,9-51,9% considerando: plantas que producen energía (25-30%); transporte (10,5%); procesos y pérdidas en la industria energética (8,3%); y obtención de petróleo y gas (3,1%) ya que todos estos están relacionados directamente al uso de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica o térmica.

### 1.5. Atribución de cambio climático a las influencias humanas o naturales

El informe Cambio Climático 2014 (IPCC, 2014) indica que es sumamente probable que más de la mitad del aumento observado en la temperatura media global en superficie en el período de 1951 a 2010 haya sido causado por la combinación del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero antropógenas y de otros forzamientos antropógenos, también como resultado de acciones humanas.

De acuerdo con las mejores estimaciones, la contribución de la actividad humana al calentamiento es similar al calentamiento observado durante ese período. Es probable que los gases de efecto invernadero hayan contribuido al calentamiento medio global en superficie en un rango de 0,5°C a 1,3°C durante el período de 1951 a 2010, con las contribuciones de otros forzamientos antropógenos, incluido el efecto refrigerante de los aerosoles, de los forzamientos naturales y de la variabilidad interna natural. De

forma conjunta, las contribuciones evaluadas se ajustan al calentamiento observado de aproximadamente 0,6 °C a 0,7 °C durante este período.

Según este estudio, es muy probable que la influencia antropógena, sobre todo de los gases de efecto invernadero y la reducción del ozono estratosférico, haya dado lugar a un patrón observado detectable del calentamiento troposférico y al correspondiente enfriamiento en la estratosfera inferior desde 1961.

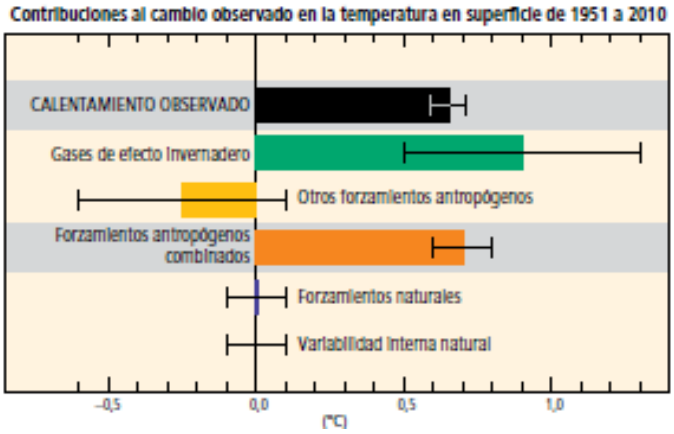



**Figura 7: Rangos evaluados probables (bigotes) y sus puntos medios (barras) para las tendencias de calentamiento en el periodo 1951-2010. IPCC, 2014.**

Es probable que en todas las regiones continentales, excepto la Antártida, los forzamientos antropógenos hayan contribuido sustancialmente a los aumentos de la temperatura en superficie desde mediados del siglo XX. En el caso de la Antártida, debido a la gran incertidumbre relativa a las observaciones, existe un nivel de confianza bajo en cuanto a que los forzamientos antropógenos hayan contribuido al calentamiento observado promediado en las estaciones disponibles. En cambio, es presumible que haya habido una contribución antropógena al calentamiento muy sustancial del Ártico desde mediados del siglo XX donde y se presume que la influencia humana haya contribuido a aumentos de la temperatura en muchas regiones subcontinentales.

Es muy probable que las influencias antropógenas contribuyan a la pérdida de hielo marino en el Ártico desde 1979. Existe un nivel de confianza bajo en relación con el conocimiento científico acerca del ligero aumento observado en la extensión del hielo marino de la Antártida debido a explicaciones científicas incompletas y contradictorias en relación a las causas de cambio, así como un nivel de confianza bajo en las estimaciones de la variabilidad interna natural en esa región.

A partir de la Figura 7 podemos ver que las emisiones de gases de efecto invernadero tienen consecuencia significativa sobre el cambio climático observado con el calentamiento global. Si esto lo sumamos a que la actividad de producción de energía eléctrica y térmica es mayoritariamente relevante en contribuciones globales de GEI,

es posible argumentar que modificaciones en las prácticas de generación de energía eléctrica y térmica contribuirían significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero y, por tanto, propondrían un mejor escenario frente al cambio climático.

Cabe destacar que junto con el impacto global por cambio climático, como resultado de la actividad relacionada a la producción de energía eléctrica y térmica, existen otras consecuencias de orden local sobre los ecosistemas y la vida humana debido a la forma de llevar a cabo estos proyectos de alta saturación ambiental.

## 2. Energía en Chile

Chile es un país que importa la mayoría de sus recursos energéticos y lo anterior se traduce en un desafío para alcanzar la seguridad energética del país, debido a que mantiene una dependencia relevante sobre la importación de combustibles fósiles. La principal inquietud es que la disponibilidad de estos hidrocarburos se encuentra atada a condicionantes económicas y políticas, lo que finalmente provoca un alto nivel de incertidumbre respecto de la estabilidad de precios de estas fuentes convencionales de energía eléctrica, térmica y transporte. Basta observar la vulnerabilidad energética que experimentó el país en el año 2007 (como puede observar en la Figura 8) tras el alza en los precios del gas natural producto de un conflicto político entre Chile y países latinoamericanos vecinos, lo que provocó un incremento considerable en los costos marginales de generación de energía eléctrica y térmica. Con el alza del año 2007, Chile alcanza uno de los precios de electricidad más altos de América Latina, superiores al promedio del resto de países de la Organización por la Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE).

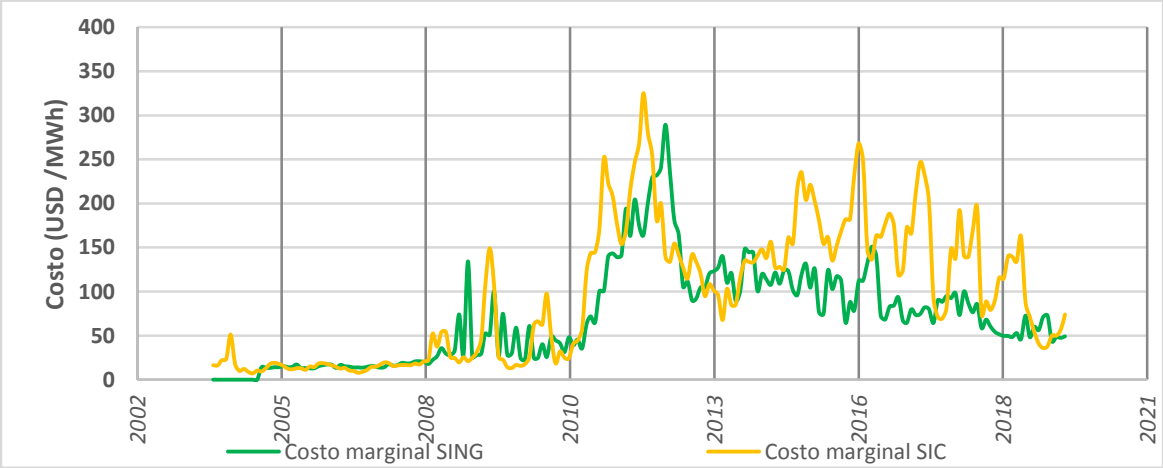



**Figura 8: Costo Marginal Sistemas Interconectados Norte Grande y Central [enero 2000 - marzo 2016]. Elaboración propia con datos Asociación de Generadoras de Chile.**

El gráfico anterior da cuenta de la gran inestabilidad de precios de energía que enfrenta Chile, los que finalmente se traducen en un aumento de costos para el ciudadano o bien para el Estado cuando este subsidia para disminuir el valor en el

consumidor final, como sucede en el sistema eléctrico de las Regiones de Aysén y Magallanes.

Existen muchos factores que, dependiendo del contexto en el cual se desenvuelven, facilitan un mayor uso de combustibles fósiles por sobre el de energías renovables no convencionales. Estos son, principalmente: costos de inversión según tecnología de generación eléctrica; características del mercado eléctrico (basado actualmente en mercado spot); incertidumbre de plazos de entrada en operación para proyectos de energías renovables y mayores dificultades de conexión a líneas de transmisión; y un bajo nivel de incentivos para las energías renovables no convencionales, siendo esto último responsabilidad del Estado.

Los precios del mercado spot pueden ser estabilizados con la entrada en operación de proyectos en base a energías renovables no convencionales; estas fuentes se caracterizan por su disponibilidad inmediata y autónoma en el territorio y, por lo tanto, se convierten en una fuente energía primaria libre de costo (a diferencia del petróleo, carbón o gas) lo que implica gastos de operación estables, o bien, previsibles para estas unidades de producción. Es así como, para promover la estabilidad de precios de la energía en el mediano plazo, Chile requiere energías limpias, renovables y disponibles en su propio territorio; lo anterior es posible al implementar proyectos de generación eléctrica o térmica basados en Energías Renovables No Convencionales.

### 2.1. Institucionalidad

La institucionalidad relacionada a la industria energética en Chile está compuesta por organismos públicos, que operan con un alto grado de independencia entre ellos, pero que deben responder al Ministerio de Energía, y éste, al Poder Ejecutivo.

Los organismos que inciden directamente en el sector de generación de energía eléctrica, a través de la regularla y normar sus procesos son:

**Ministerio de Energía**: Organismo público responsable del sector eléctrico. Su función es elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo de su área, velar por su cumplimiento y asesorar al Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía.

Para estos efectos, el sector energía comprende todas las actividades de estudio, exploración, explotación, generación, transmisión, transporte, importación y exportación, almacenamiento, distribución, consumo, uso eficiente, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón, gas, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas.

**Comisión Nacional de Energía (CNE)**: La Comisión Nacional de Energía es una persona jurídica de derecho público, funcionalmente descentralizada, con patrimonio propio, que se relaciona con el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de

Energía. Es el organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica. Además de lo anterior, se encarga de monitorear y proyectar el funcionamiento del sector eléctrico, realizando la planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión.

**Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)**: La Superintendencia de Electricidad y Combustibles tiene por misión vigilar la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles líquidos, en términos de su seguridad, calidad y precio, cuando éstos son regulados. Es responsabilidad de la SEC fiscalizar el cumplimiento de las disposiciones legales, reglamentarias y normativas, otorgar las concesiones provisionales de gas y eléctricas, e imponer sanciones, entre otras materias.

Así mismo, dentro de la institucionalidad eléctrica podemos encontrar organismos que de igual forma velan por el funcionamiento del mercado eléctrico:

**Centro Económico de Despacho de Carga (CDEC):** Cada Sistema Interconectado cuenta con un CDEC independiente encargado estrictamente de coordinar la operación del sistema eléctrico (CDEC – SIC y CDEC – SING), preocupándose de:

- Preservar la seguridad global del sistema eléctrico.
- Garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones de dicho sistema. Garantizar el acceso abierto al conjunto de elementos interconectados de suministro.
- Determinar los costos marginales de energía y las transferencias económicas entre los integrantes del CDEC.

Los integrantes del CDEC son todas aquellas empresas que posean instalaciones de generación, transmisión, subtransmisión y transmisión adicional, junto a clientes libres conectados directamente a instalaciones de transmisión. Sin embargo, de acuerdo con el reglamento vigente, pueden abstenerse de conformar el CDEC las empresas que cumplan con las siguientes características:

- Empresas propietarias de centrales eléctricas, cuya capacidad instalada total sea inferior a 9 MW.
- Empresas que posean la calidad de auto – productor, cuyos excedentes totales de capacidad instalada de generación sean inferiores a 9 MW.
- Empresas propietarias de instalaciones de transmisión troncal, subtransmisión o transmisión adicional, cuyos tramos de líneas de transmisión no superen, en total, los 100 kilómetros.
- Clientes libres cuya barra de consumo por medio de la cual se conectan a un sistema de transporte tenga una potencia total (en dicha barra) inferior a 4 MW.

El directorio de los CDEC está conformado por diez directores: dos representantes de propietarios de centrales cuya capacidad instalada total sea inferior a 300 MW; tres son propietarios de centrales cuya capacidad instalada total sea superior a ese límite; dos de propietarios de instalaciones de transmisión troncal; dos corresponden de los propietarios de instalaciones de subtransmisión y, por último, uno a nombre de clientes libres abastecidos directamente por un sistema eléctrico.

Los CDEC a su vez se conforma por tres direcciones que son: Dirección de Operación, Dirección de Peajes y Dirección de Administración y Presupuesto.

**Resolución de Conflictos – Panel de Expertos de la Ley General de Servicios Eléctricos.**

El Panel de Expertos es un órgano creado en forma exclusiva para el sector eléctrico diseñando para velar por el cumplimiento de Ley General de Servicios Eléctricos, integrado por profesionales expertos cuya función es pronunciarse, mediante dictámenes respecto de discrepancias y conflictos, que deben ser sometidos a su consideración conforme a la Ley.

La institución es integrada por siete profesionales: cinco de ellos son ingenieros o licenciados en ciencias económicas, nacionales o extranjeros y dos son abogados. Los integrantes y un Secretario Abogado son designados cada tres años por el Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, mediante un concurso público por periodos de seis años.

**Tribunal de Defensa de la Libre Competencia:** El Tribunal de Defensa de Libre Competencia, si bien no se limita al sector eléctrico, se dedica exclusivamente a materias de libre competencia; integrado por tres abogados y dos economistas, todos expertos en competencia, quienes tienen el rango de Ministros. Este tribunal es un órgano jurisdiccional especial e independiente, sujeto a la superintendencia directiva, correccional y económica de la Corte Suprema, y su labor es prevenir, corregir y sancionar los atentados a la libre competencia.

La organización y funcionamiento del Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, así como sus atribuciones y procedimientos están contemplados en el Título II del Decreto Ley Nº 211, de 1973.

### 2.2. Sector eléctrico

Desde mediados de los años 70 y hasta principios de los 90, Chile emprendió una serie de reformas para reestructurar, desregular y privatizar su sector eléctrico con el objetivo de crear un clima atractivo para la inversión privada. Las reformas comenzaron con el desmantelamiento de dos empresas públicas en siete generadoras, ocho distribuidoras y dos empresas de transmisión eléctrica. A fines de ese periodo, el sector eléctrico fue privatizado, posicionando a Chile en un "caso extremo de *laissez faire*, de la desregulación o emasculación del Estado en beneficio del sector privado".

El sector eléctrico en Chile está regido por la Ley General de Servicios Eléctricos (Ley no. 20.018; D.F.L. N° 1, 1982). A partir de esta ley la generación, transmisión y distribución se encuentran desagregadas horizontalmente, pero integradas verticalmente a través de empresas de generación que poseen activos en transmisión y distribución. En otras palabras, las empresas de los segmentos generación, transmisión y distribución actúan de manera independiente entre ellas, sin embargo existen ejemplos de generadoras que poseen bienes en transmisión y distribución. Estas actividades son desarrolladas por empresas controladas en su totalidad por

capitales privados, mientras que el Estado sólo ejerce funciones de regulación, fiscalización y de planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión, aunque esta última labor se reduce a sólo recomendaciones no forzosas para las empresas.

Participan de la industria eléctrica nacional un total aproximado de 40 empresas generadoras, 10 empresas transmisoras y 31 empresas distribuidoras. Si bien existe un gran número de actores en generar, transmitir y distribuir, la mayoría de los activos de los tres sectores se encuentra en manos de un número pequeño de empresas.

La Ley General de Servicios Eléctricos de 1982 estableció las reformas de este sector y para esto creó una industria de suministro eléctrico basada en el principio de generación y suministro competitivos con un mercado de electricidad del tipo *pool* y un operador del sistema conocido como CDEC (Centro Económico de Despacho de Carga). Según la ley, la distribución y la transmisión de energía eléctrica se consideraron monopolios naturales, lo cual es ampliamente aplicado en los sistemas eléctricos de las Regiones de Aysén y Magallanes. Los requerimientos de inversión, el acceso de terceros al sistema eléctrico, los precios de acceso a las redes y el uso de estas se mantienen regulados.

En términos regulatorios, la Ley vigente establece que las tarifas deben representar los costos reales de generar, transmitir y distribuir la electricidad, asociados a una operación eficiente del sistema. La autoridad cumple el rol de regulador y fiscalizador, buscando establecer criterios que favorezcan una expansión económicamente eficiente del sistema eléctrico, donde las funciones son distribuidas de acuerdo a la institucionalidad establecida para el mismo sector eléctrico. Pero la autoridad debe limitarse únicamente a cumplir su rol regulador y fiscalizador, cuidando no interferir con el principio de libre mercado que impera en el sector eléctrico. Posibles interferencias del Estado pueden ser presentadas al Tribunal de Defensa de la Libre Competencia, encargado de corregir atentados a la libre competencia, si estos existieran.

### *Generación eléctrica*

El grupo *generación* está compuesto por una gran cantidad de empresas generadoras, sin embargo es dominado principalmente por tres empresas privadas: Endesa, Colbún y AES Gener. Estas concentran una alta capacidad instalada en Chile y por tanto tiene gran control sobre la generación eléctrica nacional. A fines del año 2013 estas tres empresas controlaban el 82% de la generación en el SIC, distribuidas en un 33% de Endesa, 29% de AES Gener y por último Colbún con un 20%. Todas ellas mantienen una generación predominantemente termoeléctrica basada en petróleo, carbón y gas natural. A 2013, el 61% de la generación eléctrica de Endesa, 94% de AES Gener y 60% de Colbún es producida a partir de combustibles fósiles.

En el cuadro resumen a continuación, se indica el porcentaje de participación de siete empresas en el SIC al mes de marzo 2016, alcanzando más del 80% de la generación eléctrica bruta total.

**Tabla 1: Participación por empresa en generación eléctrica en Sistema Interconectado Central (SIC). Fuente: Asociación Generadoras de Chile, boletín mayo 2016.**

| SIC | | |
|---|---|---|
| **Empresa** | **Generación bruta [GWh]** | **Participación** |
| **Colbún** | 910 | 19% |
| **Endesa** | 888 | 19% |
| **AES Gener** | 752 | 16% |
| **Guacolda** | 484 | 10% |
| **San Isidro** | 449 | 9% |
| **Sociedad Eléctrica Santiago** | 170 | 4% |
| **Pehuenche** | 141 | 3% |
| **Total** | **3.794** | **80%** |

Análogamente, para el SING, se indican a continuación los porcentajes de participación de las empresas que concentran en conjunto más del 80% de la generación del sistema.

**Tabla 2: Participación por empresa en generación eléctrica en Sistema Interconectado Norte Grande (SING). Fuente: Asociación Generadoras de Chile, boletín mayo 2016.**

| SING | | |
|---|---|---|
| **Empresa** | **Generación bruta [GWh]** | **Participación** |
| **E-CL** | 625 | 37% |
| **Angamos** | 386 | 23% |

| | | |
|---|---|---|
| **Norgener** | 195 | 12% |
| **Hornitos** | 101 | 6% |
| **Celta** | 93 | 6% |
| **Total** | 1.401% | 84% |

Este sector debe asegurar una cantidad suficiente de unidades generadoras disponibles para cubrir las variaciones de la demanda, desde la carga base hasta la carga diaria más alta. Para realizar la generación eléctrica existen distintos tipos de tecnología.

*Tipos de centrales eléctricas*

Una buena forma de clasificar las centrales eléctricas, es en función de la fuente de energía primaria que utilizan para generar electricidad:

1. Centrales hidroeléctricas: utiliza el agua de una corriente natural o artificial, en que exista una diferencia de altura importante entre aguas arriba y aguas abajo, donde la presión actúa sobre las palas de una turbina hidráulica.

2. Centrales térmicas convencionales: el combustible fósil (carbón, fueloil o gas) es quemado en una caldera para generar energía calorífica que se aprovecha para producir vapor de agua. Este vapor a alta presión, acciona las palas de una turbina ad-hoc, transformando la energía calorífica en energía mecánica y luego eléctrica.

3. Centrales térmicas de ciclo combinado: combina dos ciclos termodinámicos. En el primero se produce la combustión de gas natural en una turbina de gas, y en el segundo, se aprovecha el calor residual de los gases para generar vapor y expandirlo en una turbina de vapor.

4. Centrales nucleares: la fisión de los átomos de uranio libera una gran cantidad de energía que se utiliza para obtener vapor de agua que, a su vez, se utiliza en un grupo turbina-alternador para producir electricidad.

5. Centrales eólicas: la energía cinética del viento se transforma directamente en energía mecánica rotatoria mediante un aerogenerador.

6. Centrales solares fotovoltaicas: conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la energía solar, transformándola en corriente eléctrica continua mediante el efecto fotoeléctrico.

7. Centrales termoeléctricas solares: la energía del Sol calienta un fluido que transforma en vapor a otro fluido secundario, el que acciona la turbina-alternador que consigue el movimiento rotatorio y así, generar electricidad.

8. Centrales de biomasa o de residuos sólidos urbanos (RSU): utilizan el mismo esquema de generación eléctrica que una central térmica convencional. La única diferencia es el combustible utilizado en la caldera, el que proviene de nuestros residuos sólidos urbanos.

Es importante mencionar que en Chile no existe aún generación eléctrica a partir de energía solar térmica, sin embargo se planifica la implementación de algunos de estos proyectos:

- Proyecto Cerro Dominador de Abengoa Chile: estaría ubicado en la comuna de María Elena, Antofagasta. Será un proyecto de 110MW, con factor de planta 80% y 1.000 MM USD$ de inversión. Este sería el primer proyecto solar térmico de potencia en América Latina.

- Proyecto Copiapó Solar de Solar Reserve: 260 MWW y 2.000 MM USD$ de inversión en la comuna de Copiapó. Para su construcción esperan lograr un contrato PPA (Power Purchase Agreement) de largo plazo ya que es el único medio de viabilidad comercial.

- Proyectos Pedro de Valdivia y Santa Elena de Ibereólica: María Elena tiene prevista una inversión de US$3.290 millones, para una central de 400 MW, compuesta por cuatro plantas independientes y contiguas de 100 MW cada una, con tecnología de torre central con heliostatos.

  El proyecto Pedro de Valdivia en la comuna de María Elena, provincia de Tocopilla, por su parte, contempla la construcción y operación de una planta termo solar de 360 MW de potencia compuesta por dos fases de 180 MW. Cada fase se compondrá a su vez por dos plantas independientes contiguas de 90 MW cada una.

Las unidades de producción eléctrica más eficientes, diseñadas para operar por largos periodos de tiempo a menor costo, funcionarán la mayor parte del año. Otras, solo actuarán como respaldo y su operación anual será muy reducida y, a la vez, costosa. Para satisfacer las variaciones de la demanda, existe un orden de entrada de estas centrales generadoras al sistema de despacho de carga, dependiendo de su costo de generación eléctrica y el cumplimiento en metas de generación con energías renovables. A continuación se presenta un gráfico explicativo, el cual ejemplifica un momento determinado dentro de la producción de electricidad en la industria energética:

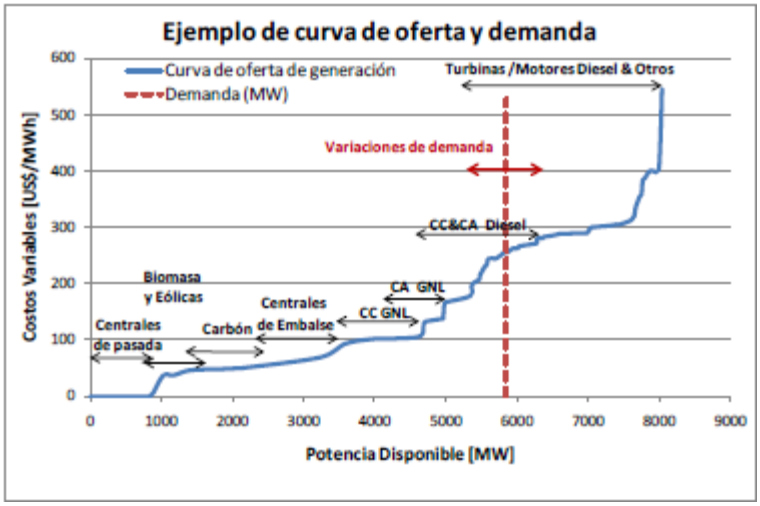



**Figura 9: Caso de prioridad de entrada operación centro de despacho de carga por tecnología. Central Energía, 2014.**

Las unidades que se activan para lograr carga más alta pueden entrar y salir de operación varias veces al día, dependiendo del nivel de demanda prevista para diferentes horas diurnas, así las unidades más costosas se utilizan como respaldo en situaciones emergencia, por su facilidad en el arranque y por el control de estabilidad de generación eléctrica que se logra al en su operación. Estas son centrales termoeléctricas que se caracterizan por un bajo costo de inversión, pero un alto costo de generación.

Las unidades de base operan a toda su capacidad la mayor parte del año; sus costos de inversión son altos, mientras los de generación son bajos; debido a su complejidad, a este tipo de centrales generalmente les toma más tiempo responder a los cambios de la demanda.

Entonces, una central termoeléctrica tiene menores costos de inversión, sin embargo sus costos de operación son más altos, así como impactos sociales y ambientales. De manera antagónica, los proyectos de energías renovables no convencionales necesitan una mayor inversión pero tienen un menor costo de operación y efectos sociales y ambientales. Aún con lo anterior, es importante tener en consideración que el impacto socio-ambiental varía para cada proyecto, por lo que se debe realizar en forma individual una correcta evaluación del impacto en el entorno y muy especialmente al tratarse de grandes proyectos de energías renovables no convencionales, los que también pueden conllevar notables impactos en el medio ambiente y la sociedad.

### *Transmisión eléctrica*

El sistema de transmisión de electricidad en Chile está compuesto, a su vez, por sistemas interconectados mayores y dos sistemas menores. Los llamados sistemas interconectados mayores son dos: Sistema Interconectado Norte Grande (SING) y Sistema Interconectado Central (SIC), respectivamente con el 19,2% (4.043MW) y

80,0% (16.807MW) de la capacidad instalada nacional en 2016. A ellos les sigue los denominados sistemas menores, compuesto por el sistema eléctrico de Aysén y Sistema Eléctrico de Magallanes, con 0,3% (62MW) y 0,5% (102MW) de la ya mencionada capacidad instalada en Chile.

Un sistema de transmisión corresponde al conjunto de líneas, subestaciones y equipos destinados al transporte de electricidad desde los puntos de producción (generadores) hasta los centros de consumo o distribución. En Chile se considera como de transmisión a toda línea o subestación con un voltaje o tensión superior a 23.000 Volts (V) y, por Ley, las tensiones menores se consideran como distribución. La transmisión es de libre acceso para los generadores, es decir, estos pueden imponer servidumbre de paso sobre la capacidad disponible para transmitir mediante el pago de peajes.

Dada las modificaciones incorporadas por la ley 19.940 de marzo de 2004 a la Ley General de Servicio Eléctricos, el transporte de electricidad por sistemas de transmisión troncal y sistemas de subtransmisión es de servicio público eléctrico, por tanto el transmisor está obligación a dar el servicio, siendo de su responsabilidad invertir en nuevas líneas o en ampliaciones de las mismas. En el sistema de transmisión se puede distinguir: el sistema troncal (conjunto de líneas y subestaciones que configuran el mercado común); y los sistemas de subtransmisión, que son aquellos que permiten retirar la energía desde el sistema troncal hacia los distintos puntos de consumo locales.

Las empresas que participan en el sistema de transmisión eléctrica son las siguientes:

**Tabla 3: Empresas de transmisión de energía eléctrica en Chile. Fuente: Elaboración propia, fuente información Central Energía.**

| **Nombre empresas transmisión** | **Sistema** | **Nombre de accionistas principales** | **% de propiedad** |
|---|---|---|---|
| Transelec | Mayormente SIC<br>Minoritaria SING | Brookfield Asset Management (BAM) | 89,3% |
| | | Brookfield Infrastructure Partners | 10,7% |
| Compañía Transmisora del Norte Chico S.A. (CTNC S.A.) | SIC (Maitencillo – Cardones) | Empresa Guacolda SA | 100% |
| Transchile Charrúa | SIC (Charrúa – | Guarupart Participacoes | 51% |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Transmisión S.A. | Cautín) | Limitada | |
| | | Companhia Energética de Minas Gerais – Cemig. | 49% |
| Transnet S.A. | | Compañía General de Electricidad S.A. | 99,9% |
| | | CGE Magallanes S.A | 0,1% |
| Sistema de Transmisión del Sur S.A. (STS) | SIC (Valdivia – Puerto Montt) | Sociedad Austral de Electricidad S.A. (Saesa) | 99,9% |
| | | Empresa Eléctrica de la Frontera S.A. | 0,1% |
| Transmisora Eléctrica de Quillota Limitada | SIC (San Isidro) | Colbún | 50% |
| | | San Isidro | 50% |
| Empresa de Transmisión Eléctrica Transemel S.A. (Transemel) | SING | Empresa Emel SA | 75% |
| | | Empresa Eléctrica Antofagasta SA (Elecda) | 11% |
| | | Empresa Eléctrica Iquique SA (Eliqsa) | 5% |
| Elecnor | SIC | | |

La coordinación de la operación de las centrales generadoras y las líneas de transmisión, es efectuada en cada sistema eléctrico por los Centros de Despacho Económico de Carga (CDEC); estos organismos no poseen personalidad jurídica y están constituidos por las principales empresas generadoras y transmisoras de cada sistema eléctrico.

### *Distribución eléctrica*

La distribución de energía eléctrica es realizada por empresas privadas que, usualmente, marcan fuerte presencia sobre un territorio muy extenso, por eso, una

razón para la existencia de un número reducido de empresas que dominan la distribución en Chile, a pesar del gran mercado para esta actividad, radica principalmente en el control de la infraestructura eléctrica de las comunas.

Los sistemas de distribución están constituidos por las líneas, subestaciones y equipos que permiten prestar el servicio de distribuir la electricidad hasta los consumidores finales, localizados en cierta zona geográfica delimitada. Las empresas de distribución operan bajo un régimen de concesiones de servicio público de entrega a los clientes, obligados por contrato a dar el servicio, y con tarifas reguladas para el suministro a consumidores regulados.

Existen empresas de distribución de fuerte presencia en Chile, como por ejemplo, Enersis que participaba hasta 2016 en la distribución de energía eléctrica a través de su filial Chilectra, en la cual posee directamente, el 99,1% de la propiedad y la participación consolidada de mercado de sus filiales de distribución en Chile (Chilectra, Luz Andes y Colina), se sitúa en torno al 40%.

Otros grupos de distribuidoras de energía eléctrica que participan en el sistema eléctrico son: Chilquinta Energía; CGE Distribución; Sociedad Austral de Electricidad; Empresa Eléctrica de la Frontera; y empresas distribuidoras menores y/o cooperativas eléctricas.

En la siguiente tabla es posible ver la estructura y participación de los grupos de distribución de energía eléctrica en Chile:

**Tabla 4: Empresas distribuidoras de energía eléctrica en Chile. Fuente: Pontificia Universidad Católica de Chile y CGE distribución.**

| **Nombre empresas distribuidoras** | **Nombre de accionistas principales** | **% de propiedad** | **Grupo económico (país)** |
|---|---|---|---|
| Chilectra SA (RM) | Enersis SA | 96,3 | Endesa (España) |
| CGE Distribución SA (Regiones VI, VII, VIII, IX y RM) | CGE SA | 99,6% | Grupo CGE (Controlador: Familia Marín del Real, Grupo Almeira, Familia Pérez-Cruz) (Chile) |
| Empresas EMEL SA<br>• Emelari (I Región)<br>• Eliqsa (I Región) | PP&L Chile Energía | 95,4% | Grupo PP&L (EEUU) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| • Elecda (II Región)<br>• Emelat (III Región) | | | |
| • Emelectric (Regiones V, VI, VII VIII y RM)<br>• Emetal (VII Región) | CGE SA<br><br>Hasta 2014: PP&L Chile Energía | 99,6% | Grupo CGE (Chile)<br><br>Hasta 2014: Grupo PP&L (EEUU) |
| Chilquinta Energía<br><br>(V Región) | PSEG Américas Ltda. | 50,0% | Public Service Enterprise Group, PSEG (EEUU) |
| | Sempra Energy International Holdings SA | 50,0% | Sempra Energy (EEUU) |
| Conafe (Regiones III, IV y V) | CGE SA | 99,6% | Grupo CGE (Chile) |
| Saesa SA (Regiones IC y X) | Inv. PESCG Américas Chile Holding Ltda. | 100% | Public Service Enterprise Group, PSEG (EEUU) |
| Frontel (Regiones VIII y IX) | Inv. PESCG Américas Chile Holding Ltda. | 99,0% | Public Service Enterprise Group, PSEG (EEUU) |
| Edelaysen (XI Región) | Saesa SA | 91,8% | Public Service Enterprise Group, PSEG (EEUU) |
| Edelmag (XII Región) | CGE Magallanes | 55,1% | Grupo CGE (Chile) |

### 2.3. Legislación eléctrica

1. **Ley General de Servicios Eléctricos (DFL-4):** Rige las concesiones y permisos, el transporte de energía eléctrica, la explotación de los servicios eléctricos y el suministro y las tarifas. Versión actualizada de 07-02-2014, incluye lo dispuesto por la Ley Corta I, Ley Corta II y Ley ERNC, entre otras.

1.1. Reglamento de la Ley General de Servicios Eléctricos (Decreto 327): Reglamenta la ejecución y aplicación de la Ley General de Servicios Eléctricos.

1.2. Reglamento de transferencias de potencia entre empresas generadoras (Decreto 62).

1.3. Reglamento de servicios complementarios (Decreto 130): Reglamento que establece las disposiciones aplicables a los servicios complementarios con que deberá contar cada sistema eléctrico para la coordinación operativa del sistema.

1.4. Norma para la aplicación del artículo N°148 del DFL-4 (Resolución 386 exenta): Reglamento que establece normas para aplicar adecuadamente el artículo 148 del DFL-4, que dice relación con los aumentos o disminuciones temporales de consumo que pueden convenir las empresas generadoras con los clientes regulados a fin de ordenar el consumo eléctrico.

1.5. Reglamento del Panel de Expertos (Decreto 181): Reglamento que establece la forma de proceder para la operación del Panel de Expertos, instancia establecida en el título VI de la Ley General de Servicios Eléctricos. Versión de 04-08-2008.

1.6. Reglamento para la fijación de Precios de Nudo (Decreto 86): Reglamento que establece los procedimientos para determinar y fijar los Precios de Nudo. Versión de 23-04-2013.

2. **Ley ERNC (Ley 20.257):** Introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos, estableciendo la obligatoriedad para las empresas de generación eléctrica de acreditar un mínimo de 5% de sus inyecciones de energía con fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC), ya sea directa o indirectamente. El porcentaje irá aumentando paulatinamente hasta alcanzar 10% al año 2024.

2.1. Reglamento de la Ley ERNC (Resolución 1.278 Exenta): Norma la implementación de la Ley ERNC (Ley 20.257), que exige a las empresas de generación eléctrica inyectar un determinado porcentaje de energía a partir de fuentes renovables no convencionales.

3. **Ley Corta I (Ley 19.940):** Introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos con el objetivo principal de regular la toma de decisiones y el desarrollo de la expansión del traspaso de electricidad, además, también establece incentivos para pequeños medios de generación y los no convencionales.

3.1. Reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación (Decreto 244): Reglamento para medios de generación no convencionales y pequeños medios de generación establecidos mediante las modificaciones de la ley corta I a la ley general de servicios eléctricos. Establece condiciones de conexión, la posibilidad de optar a vender la energía a régimen de precio estabilizado y fija ciertas exenciones de pago por el uso del sistema de transmisión troncal.

4. **Ley Corta II (Ley 20.018):** Introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos con el objetivo principal de estimular el desarrollo de inversiones en el segmento de generación a través de licitaciones de suministro realizadas por las empresas distribuidoras.

4.1. Reglamento de las licitaciones de suministro de energía (Decreto 4): Reglamenta el proceso de las licitaciones de suministro de energía para satisfacer el consumo de los clientes regulados que, de acuerdo a la Ley General de Servicios Eléctricos, deben realizar las empresas de distribución.

5. **Ley para el pago de generadoras residenciales (Ley 20.571) - Netbilling:** Ley que introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos con el objetivo de regular el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales. Autoriza a los usuarios finales a inyectar energía eléctrica a la red de distribución a través de su empalme de conexión, sujeto a que se obtenga de ERNC y que la capacidad no exceda los 100 kW. Además la potencia instalada total de luminarias y artefactos eléctricos debe sumar menos de 5.000kW.

6. **Ley 19657 sobre concesiones de energía geotérmica:** Regula el otorgar concesiones y licitar para la exploración o explotación de energía geotérmica, servidumbres, las funciones del Estado y las condiciones de seguridad. Fija también el marco para las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y las partes de los contratos de operación petrolera o empresas dedicadas a explorar y explotar hidrocarburos, y los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas.

7. **Reglamento subsidio líneas de transmisión para facilitar acceso a troncal a proyectos ERNC (Res. 370):** Establece un subsidio para líneas de transmisión adicionales destinadas a dar conexión al SIC o SING a proyectos de generación ERNC. El subsidio opera en caso de una demanda menor a la proyectada, reduciendo el riesgo de la inversión. Con el objeto de favorecer la asociatividad, el transmisor que postule al subsidio deberá dar conexión, al menos, a tres proyectos

ERNC. El monto del subsidio tiene un tope de 18.000 UF anuales (del orden de 700.000 US$), y aplica entre los años 6 y 10 de la operación de la línea.

8. **Franquicia tributaria para colectores solares (Ley 20.365):** La ley entrega una franquicia tributaria -que va entre un 20% a un 100% del valor del sistema solar térmico- a la instalación de colectores solares en viviendas nuevas de hasta 4.500 U.F.

   8.1. Reglamento de la franquicia tributaria para colectores solares (Decreto 331): Norma la implementación de la Ley 20.365, estableciendo condiciones técnicas de los sistemas solares térmicos.

9. **Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio (NTSyCS):** Documento técnico que establece exigencias mínimas para diseño de instalaciones y estándares de seguridad y calidad de servicio, entre otros.

### 2.4. Capacidad instalada de generación de energía eléctrica

La capacidad instalada de energía eléctrica en Chile al mes de diciembre de 2016 asciende a 21.014 MW. De este total, un 80,0% de las capacidad se concentra en el Sistema Interconectado Central (SIC); un 19,2% en el Sistema Interconectado Norte Grande (SING); 0,3% en el Sistema Eléctrico de Aysén (SEA) y 0,5% en el Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM). Tomando en cuenta la tendencia de crecimiento económico al año 2020, se proyecta un aumento en el consumo eléctrico en torno a los 100 mil GWh de demanda total de energía eléctrica a dicho año. Ello representa el desafío de incorporar 8 mil MW de capacidad instalada a nuestro sistema (Ministerio de Energía de Chile, 2012).

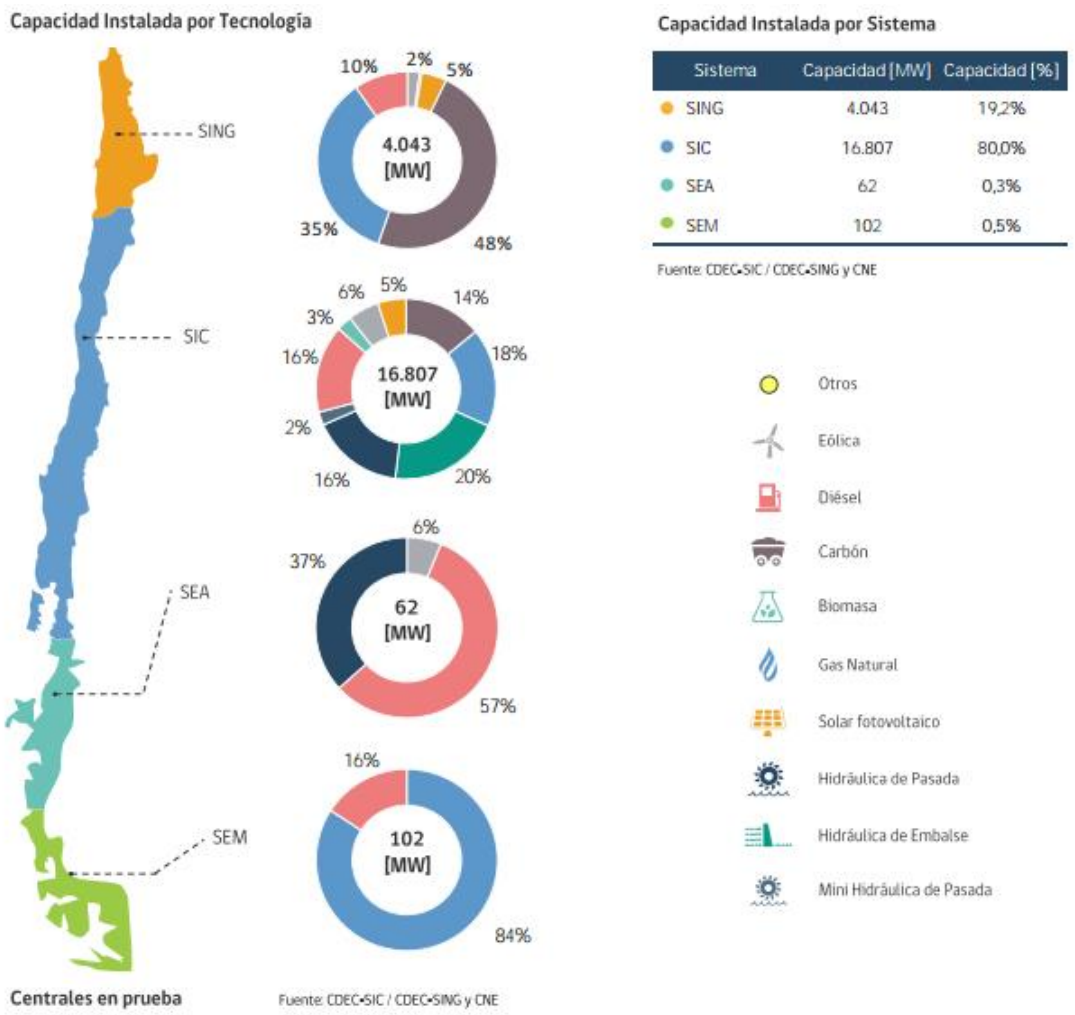



**Figura 10: Capacidad instalada en sistemas eléctricos SIC, SING, SEA y SEM, según tecnología. Informe CIFES diciembre 2016.**

Chile tiene un alto porcentaje de combustibles fósiles en su matriz energética, con un 70% de los insumos energéticos importados y una tendencia a la generación en grandes sistemas eléctricos, el país está expuesto a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles de los mercados internacionales.

El gráfico a continuación representa el mix energético combinado del Sistema Interconectado Central y Norte Grande al año 2015. En él es posible observar el nivel de diversificación de la matriz eléctrica en Chile, donde la energía hidroeléctrica y los combustibles fósiles tienen gran relevancia.

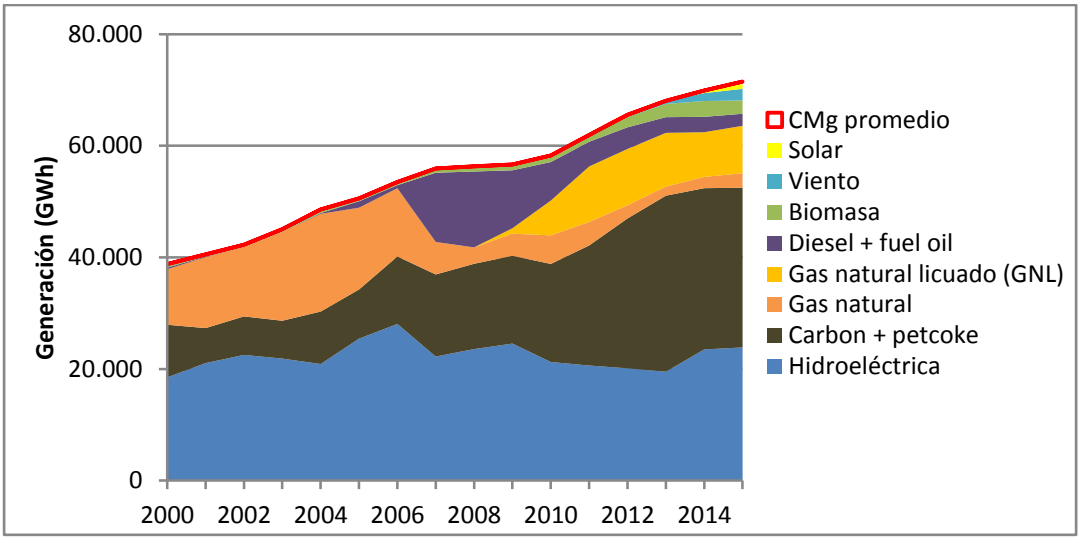



**Figura 11: Matriz de generación en el Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) de Chile. Aquatera, 2014.**

En la matriz energética chilena, la fuente principal para la generación eléctrica es el gas natural y no el petróleo, tal como se observa en la panorámica internacional. El total nacional de capacidad instalada al mes de diciembre 2016, se distribuye en un 56,5% de termoelectricidad, 29,4% hidroeléctrica convencional y un 14,1% ERNC.

Al sustentar el desarrollo energético chileno en la generación termoeléctrica, Chile mantiene "una energía desmedidamente cara, contaminante, con un alto nivel de inseguridad de abastecimiento" y de inestabilidad de precios. La inseguridad de abastecimiento y precio de combustibles fósiles está sujeta principalmente a aspectos políticos, los que muchas veces escapan a medidas locales de control o mitigación.

Adicionalmente, la energía hidroeléctrica considera un grueso importante de la matriz energética (hidroelectricidad renovable convencional y renovable no – convencional), la cual genera gran estabilidad tanto en términos operacionales como de costo de generación, sin embargo "cuatro años de sequía en el país y la conformación de la matriz energética, liderada por las termoeléctricas, que operan con diésel son – a juicio de los expertos – las razones principales del problema" y contribuye a situar al país en una posición energética vulnerable.

Centrales hidroeléctricas de capacidad instalada mayor a 20 MW es considerada en Chile como renovable convencional, debido a su impacto sobre el ecosistema. De la misma manera, centrales hidroeléctricas de capacidad instalada menor a 20MW es considerada renovables no – convencionales. Esta distinción se realiza según estándares establecidos por cada país, dificultando el análisis estadístico global sobre instalaciones hidroeléctricas renovables no convencionales en el mundo.

### 2.5. Energías renovables no convencionales en Chile

Si bien los combustibles fósiles dominan la generación a nivel de sistemas mayores, medianos y también en comunidades aisladas del país, existen esfuerzos por incluir las energías renovables en el contexto nacional. La promoción y soporte al desarrollo de las energías renovables debería provenir del gobierno central por medio de incentivos de "*market pull*" y "*techonology push*" de manera complementaria al equilibrio del mercado, como decisión estratégica de desarrollo. Sin embargo, en Chile estos esfuerzos son llevados principalmente por actores privados y, en menor grado, por el Estado. Al día de hoy, el conjunto de estos actores logra cierto avance en materia de energía renovable, tanto a nivel de programas de gobierno, inversión en el desarrollo a la I+D+i, estudios y proyectos de ERNC de gran o pequeña escala. Desde el gobierno, algunos ejemplos se reflejan en incentivos como la Ley 20/25 que plantea la incorporación progresiva de ERNC en sistemas interconectados hasta completar un 20% de la matriz energética al año 2025. También en instrumentos de fomento como por ejemplo el *Concurso Planta de Concentración Solar de Potencia (CSP)* que ofrece un subsidio de hasta USD 20 millones para la materialización de la primera planta de concentración solar de Latinoamérica; o la reciente adjudicación del *Centro Internacional de Excelencia en Energía de los Mares*.

Durante el año 2013 se aprueba la **Ley 20/25**. Esta ley eleva la meta de inserción de las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) a un 20% para el año 2025 y establece principalmente dos mecanismos para lograrlo. En primer lugar se genera una nueva exigencia de inyecciones de ERNC con una curva de crecimiento que va desde un 6% en el 2014 hasta el 20% el año 2025. El segundo corresponde a un mecanismo de licitaciones públicas, que la autoridad del sector, el Ministerio de Energía, debe activar en caso que prevea que en un año determinado los proyectos ERNC en curso no serán capaces de cumplir con el porcentaje de inyecciones exigido para ese año. Estas licitaciones públicas son neutras en tecnología y se adjudican según un criterio de evaluación basado estrictamente en precio.

Con la aprobación de la Ley 20/25 el gobierno de Chile valida la necesidad de incorporar Energías Renovables no Convencionales a la matriz energética nacional. Sin embargo esta ley solo regula a los grandes sistemas eléctricos (SING y SIC) y no fomenta la diversificación de fuentes ERNC en sistemas medianos, pequeños y autoconsumo.

Así mismo, la aprobación de la Ley 20.571 de Netbilling es un incentivo importante para el autoabastecimiento energético a partir de energías renovables no convencionales. Sin duda, unidades productivas de pequeña escala en base a energía solar y micro-hidroeléctricas serán las primeras en masificarse, dado su menor costo de inversión en comparación a otras generadoras domiciliarias con recursos energéticos renovables. Esta ley obliga a las generadoras eléctricas a comprar la

energía que clientes regulados y no regulados generen, siempre y cuando las plantas generadoras funcionen a base de energías renovables, tengan una escala menor a 100kW y se conecten a sistemas con potencia instalada menor a 5.000kW. Sin embargo, las negociaciones previo a la aprobación de la Ley 20.571 logran que la compañía eléctrica compre el kWh generado por el proyecto eléctrico residencial, a menor precio que la energía que la compañía eléctrica vende a sus mismos clientes. Por lo tanto, la Ley 20.571 colabora a la rentabilidad del proyecto eléctrico, pero es más conveniente aún la autogeneración. Donde la mejor manera de ahorrar dinero, es evitar comprar energía a la compañía eléctrica.

Chile cuenta con un gran recurso de energías renovables no convencionales, es probablemente el país con mayor potencial de energía solar y energía marina en el mundo, y es posible que tenga, también, uno de los mayores recursos brutos de energía geotermal. Es así como las alternativas de utilizar estos recursos en pos de la generación de energías limpias es prácticamente ilimitada. En la Figura 12 podemos ver el potencial bruto (en Giga Watt, GW) de las distintas fuentes renovables presentes en nuestro territorio nacional, en comparación a la capacidad instalada de generación a 2016.

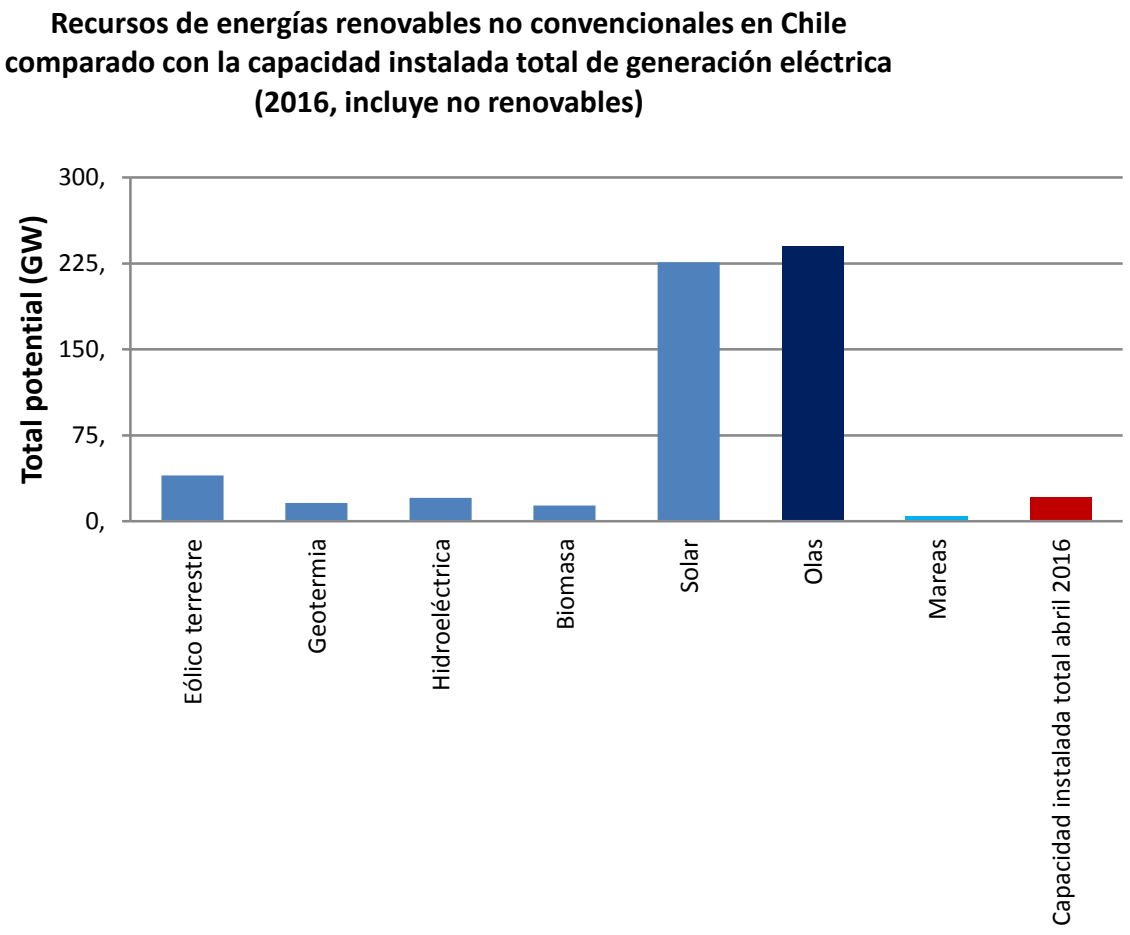



**Figura 12: Potencia bruta de fuentes renovables v/s capacidad instalada de generación a 2016. Aquatera, 2014.**

Es importante mencionar, que a razón de costo competitivo, la energía eléctrica generada con fuentes renovables ingresa al sistema de transmisión de manera prioritaria frente a la generación con carbón, diésel o gas. Sin embargo la escasa capacidad instalada de energías renovables no convencionales no permite cubrir un porcentaje importante de la demanda eléctrica, por lo cual las generadoras de mayor costo, a base de combustibles fósiles, siempre ingresan energía eléctrica a los sistemas de transporte y distribución, razón por la cual el precio de la electricidad es exageradamente elevado, y a gran costo ambiental.

Una de las soluciones a abordar en materia de planificación energética central y local, es la diversificación de la matriz energética del país, de manera de asegurar un escenario de mayor estabilidad de suministro, lo que puede lograrse mediante la incorporación de fuentes que reducen el impacto socio – ambiental y entregan autonomía de suministro como las energías renovables no convencionales.

Además, es importante instalar centrales de generación con energías renovables no convencionales en mini-generación para pequeñas demandas (comunidades),

autoconsumo y generación distribuida, disminuyendo de esa forma la dependencia de grandes sistema de transmisión de electricidad y combustibles fósiles.

### 2.6. Mercado eléctrico en Chile

En el mercado regulado, la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE) determina que los sistemas eléctricos cuyo tamaño es superior a 1.500 kW en capacidad instalada de generación deben distinguir dos niveles de precios sujetos a fijación, segmento al cual se adscribe los Sistemas Interconectados (SIC y SING) y sistemas medianos (Edelaysen y Edelmag):

1. Precios a nivel de generación-transporte, denominados "Precios de Nudo": son definidos para todas las subestaciones de generación-transporte desde las cuales se efectúe el suministro. Los precios de nudo tendrán dos componentes: precio de la energía y precio de la potencia de punta.

2. Precios a nivel de distribución: Estos precios se determinarán sobre la base de la suma del precio de nudo, establecido en el punto de conexión con las instalaciones de distribución, un valor agregado por concepto de distribución y un cargo único o peaje por concepto del uso del sistema de transmisión troncal.

   El valor agregado por concepto de costos de distribución se determina en base de una empresa modelo teórica. Considera los costos fijos administrativos, las pérdidas y las inversiones en infraestructura, tomando en cuenta la respectiva mantención y el procedimiento completo.

Además, los generadores pueden comercializar su energía y potencia en alguno de los siguientes mercados:

1. Mercado de grandes consumidores, a precio y contrato libremente acordado entre generador y cliente. Este tipo de contrato es llamado *Power Purchase Agreement* (PPA).

2. Mercado de las empresas distribuidoras, a Precio de Nudo, tratándose de electricidad destinada a clientes de precio regulado.

3. El Centro de Despacho Económico de Carga del respectivo sistema (CDEC), a costo marginal horario.

El precio que las empresas distribuidoras pueden cobrar a usuarios ubicados en su zona de distribución, por efectuar el servicio de distribución de electricidad está dado por la siguiente fórmula:

*Precio a usuario final = Precio de Nudo + Valor Agregado de Distribución + Cargo Único por uso del Sistema Troncal*

### 2.7. Medio ambiente y energía

La política eléctrica vigente centrada en la oferta, también ha ignorado los límites ambientales. Como consecuencia, Chile enfrenta desde fines de los años 90 problemas de contaminación atmosférica en varias regiones del país generando graves impactos a la salud, lo que obliga a establecer *Planes de Prevención y Descontaminación* del aire en algunas zonas del país.

En los últimos años los gobiernos han debido declarar zonas latentes y saturadas a las Regiones Antofagasta, Atacama, O´Higgins, Biobío y Metropolitana. A ello se agregan los conflictos crecientes entre empresas eléctricas y poblaciones locales en Atacama (Castilla), Huasco (Guacolda I, II, III y IV), Iquique (Patache), Maule (Los Robles), Coronel (Santa María y Bocamina I y II) y Puchuncaví (Campiche), y el rechazo a las centrales térmicas por parte de otros sectores productivos que requieren un ambiente limpio para sus actividades agrícolas y turísticas (Los Robles y Barrancones).

A pesar de ello, no existe un cambio de visión radical en la política para implementar proyectos de generación eléctrica destinados a satisfacer tanto a la industria como a la población, con una meta de inclusión de energías renovables de un 20% al año 2025, más bien tímida. Observable, más aún, al analizar las cifras de capacidad instalada de proyectos termoeléctricos en base a carbón, gas y diésel, incluyendo ciclo combinado, desde el año 2007 a 2016. Al año 2007, existía una capacidad instalada en proyectos de generación a base de combustibles fósiles de 7.920,5 MW, mientras que en 2016 es de 11.987,6MW. Lo anterior considera un incremento de 51% en generación termoeléctrica, lo que significa un 57% de la capacidad de generación total actual, a pesar de contar con numerosas zonas de saturación ambiental.

## 3. Energía solar

El sol es la estrella más cercana a la tierra, distante en promedio unos 150 millones de kilómetros y en su núcleo se libera energía mediante un proceso de fusión nuclear, la que ocurre debido a su alta temperatura.

La superficie del sol tiene una temperatura de 5.778 K y se encarga de irradiar esta energía en forma de ondas electromagnéticas con distintas longitudes de onda, dentro de las cuales se encuentran la luz visible, los rayos ultravioleta (UV), y la radiación infrarroja. La radiación solar es el conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol.

### 3.1. Recurso Solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que se obtiene desde el sol, con la cual es posible generar calor o electricidad. Existen varias maneras de recoger y aprovechar la radiación proveniente del sol, la que puede transformarse en distintos tipos de energía susceptible de ser utilizadas por el hombre donde, sin duda, la más

versátil de todas ellas es la electricidad. La *energía fotovoltaica*, se obtiene a partir del efecto fotoeléctrico de los fotones de luz provenientes del sol, los que generan una corriente eléctrica. De la misma forma, es posible obtener energía *foto-térmica*, la que aprovecha el calor a través de tecnología de colector solar. Por último, la energía *termoeléctrica solar* concentra y transforma el calor del sol en energía eléctrica.

En los cálculos y diseño de captadores de energía solar, se utiliza dos conceptos importantes, denominados *irradiancia* y *radiación*. La *irradiancia* es la potencia incidente por unidad de superficie de cualquier onda electromagnética sobre la superficie en la que incide, medida en [W/m$^2$]. La *radiación* es la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado, por lo tanto es una medida de energía, generalmente enunciada en [KWh/m$^2$/día] o [KWh/m$^2$/año].

La irradiancia en el exterior de la atmósfera terrestre es de 1.366 [W/m$^2$], valor que se conoce como *constante solar*. Sin embargo, debido a la reflexión, difusión y absorción que generan los elementos presentes en la atmósfera, la potencia que llega al territorio es menor que la constante solar. Esta es aproximadamente 1.000 [W/m$^2$] en un día despejado.

Según la manera en que incide la energía solar en la tierra, se distinguen tres componentes de radiación: directa, difusa y albedo. La radiación es aprovechable en sus componentes directos y difusos, o en la suma de ambos. La radiación directa es la que llega, tal como lo dice su nombre, directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias.

La *radiación directa* es la más importante de las tres para la captación energética, ya que esta no es desviada al pasar a través de la atmósfera. Esta es la que contiene mayor energía y por lo tanto es más relevante al momento de realizar una evaluación de factibilidad de energía solar fotovoltaica o térmica.

La *radiación difusa* es aquella que es reflejada o absorbida por las nubes, además, la bóveda celeste diurna emite la radiación difusa debido a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres; es multidireccional, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico u otros. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra.

El *albedo* es una medida respecto a la tendencia de una superficie a reflejar radiación incidente. Este se traduce en el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes, más que las mates. El albedo medio de la Tierra es del 37-39% de la radiación que proviene del Sol.

La suma de estas radiaciones se conoce como *radiación global*. La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud.

En términos del recurso, existe el llamado "cinturón solar", ubicado entre los 35° de latitud norte y los 35° de latitud sur. Esta franja presenta los niveles más altos de radiación solar en el mundo, lo que puede observarse en la Figura 13.

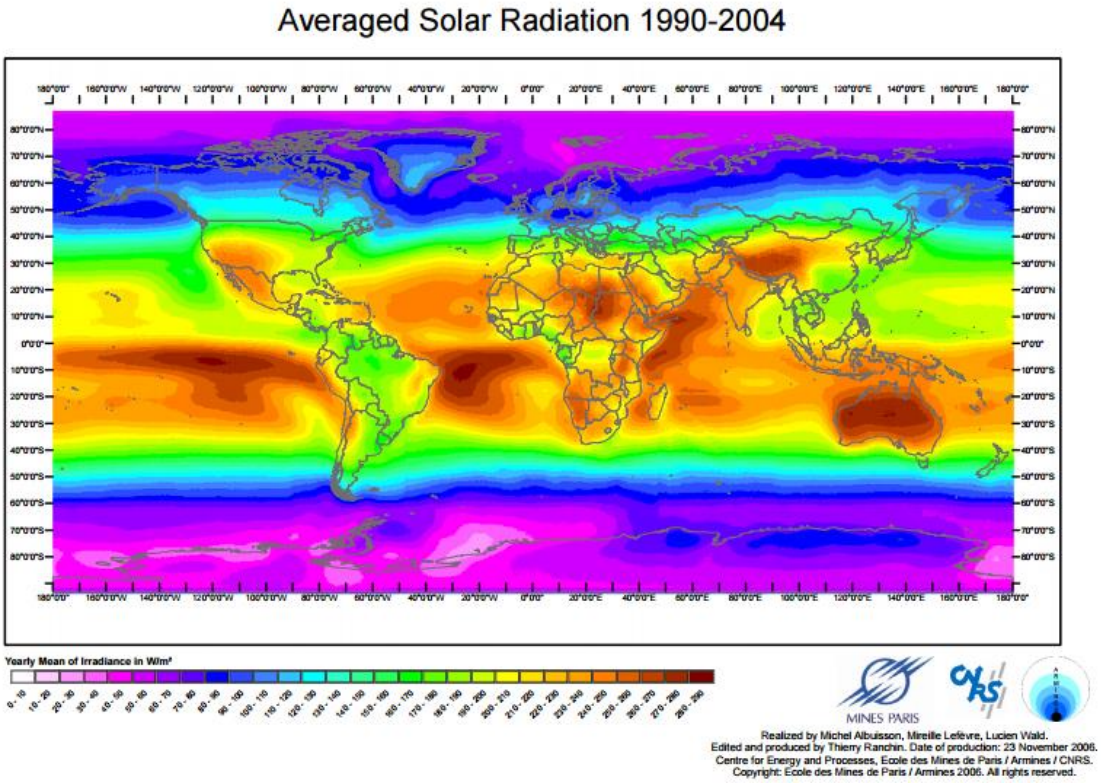



**Figura 13: Radiación solar promedio 1990-2004. Fuente: Ecole de mines París, 2006.**

### 3.2. Potencial del recurso solar en Chile

Chile presenta condiciones favorables para el uso de energía solar, tanto para generación eléctrica como térmica. De hecho, la zona norte del territorio presenta una de las mejores condiciones de radiación en el mundo, mientras que la zona sur-austral recibe aproximadamente la misma radiación que la zona centro-norte de Europa, la cual ha desarrollado ampliamente el uso de tecnologías en base a energía solar. Un ejemplo de lo anterior es Alemania, cuya radiación es equivalente a la de la ciudad de Valdivia, siendo uno de los principales países productores de energía solar en el mundo.

El mapa en la Figura 15 a continuación, muestra el nivel de radiación de Chile en comparación a los índices de radiación en el mundo.

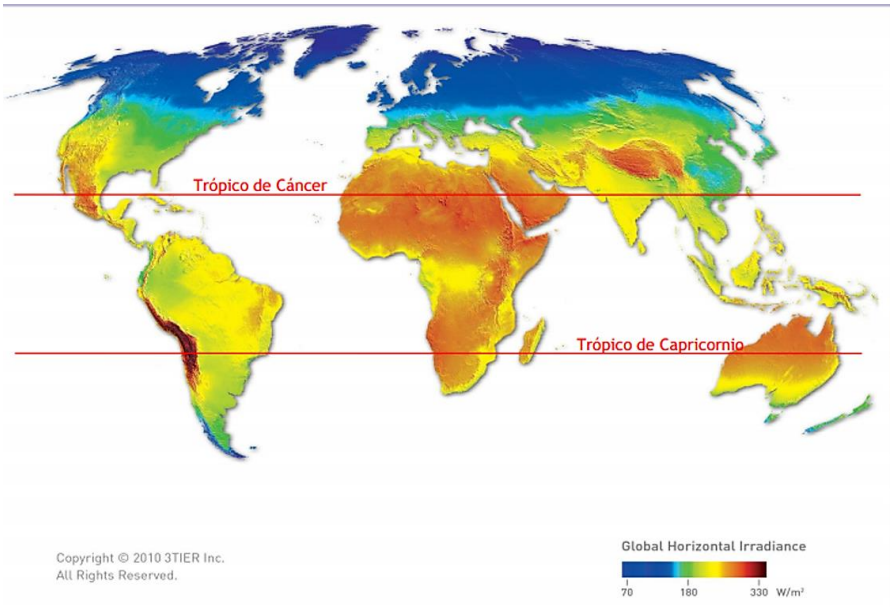



**Figura 14: Mapa radiación solar mundial. 3TIER.**

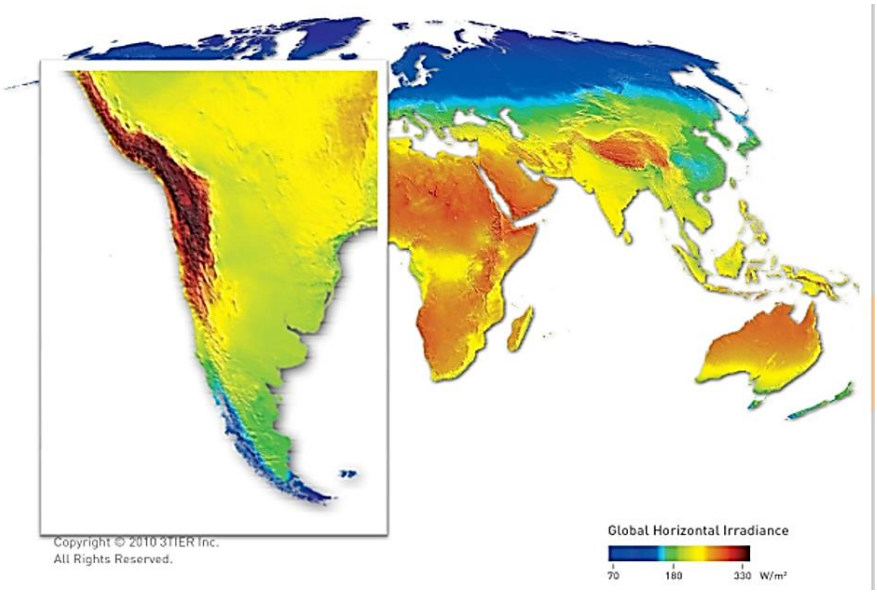



**Figura 15: Mapa radiación Chile. 3TIER**

A modo de referencia, la tabla siguiente muestra el nivel de radiación en los 5 desiertos con mayores índices de energía solar en el mundo. Entre ellos destaca el desierto de Atacama, como el lugar del mundo donde se requiere menor superficie e inversión para generar una unidad de energía.

**Tabla 5: Radiación en distintos lugares del mundo. Fuentes: J. Bishop y W. Rossow, Spatial and temporal variability of global surface solar irradiance, J. Geophys. Res. 96, 16839-16858 (1991). International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP).**

| Ubicación / Desierto | Radiación (W/m2) | km2 para generar 3 TW |
|---|---|---|
| África, Sahara | 260 | 144,2 |
| Australia, Great Sandy | 265 | 141,5 |
| Medio oriente, Arábigo | 270 | 138,9 |
| Chile, Atacama | 275 | 136,4 |
| EE.UU, Great Basin | 220 | 170,5 |

En la Tabla 6 se presenta los valores mensuales promedio de radiación solar por cada una de las comunas de Chile.

**Tabla 6: Radiación solar por comuna en Chile. Fuente: ECOFYSVALGESTA.INFORME FINAL ESTUDIO; "Antecedentes para la Especificación de Requerimientos Técnicos para el Desarrollo de los Colectores"**

| **Comuna** | **KWh/m2 año** | **Comuna** | **KWh/m2 año** |
|---|---|---|---|
| Calama | 2506 | Linares | 1563 |
| San Pedro de Atacama | 2466 | Chillán | 1534 |
| Diego de Almagro | 2429 | Talca | 1509 |
| Antofagasta | 2360 | Los Ángeles | 1498 |
| Arica | 2342 | Concepción | 1497 |
| Copiapó | 2174 | Juan Fernández | 1475 |
| Iquique | 2067 | Valparaíso | 1431 |
| Chañaral | 2055 | Viña del Mar | 1429 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Santiago | 1843 | Coyhaique | 1347 |
| La Serena | 1814 | Valdivia | 1338 |
| Ovalle | 1749 | Osorno | 1271 |
| Los Andes | 1706 | Puerto Montt | 1212 |
| Coquimbo | 1701 | Castro | 1163 |
| San Fernando | 1657 | Aysén | 1126 |
| Curicó | 1615 | Punta Arenas | 872 |
| Rancagua | 1602 | | |

Prácticamente, todo nivel de radiación solar existente en el territorio es aprovechable, lo que significa que incluso en el extremo Sur de Chile, por ejemplo en la ciudad de Punta Arenas, es factible técnicamente obtener energía eléctrica o térmica a partir de la radiación solar. También, es importante tomar en cuenta que a mayor radiación solar, los proyectos tienen mayor eficiencia y, por tanto, mejor retorno de la inversión.

En la Figura 17 se observa los índices de energía solar anual por metro cuadrado en las distintas regiones del país, de manera comparativa, donde las regiones I, II, III y IV se destacan respecto a otras regiones del país. La Figura 17 muestra además, también a modo referencial, el nivel de radiación promedio en Alemania, país líder en el desarrollo de energía solar con más del 27% de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica del mundo. Como se puede observar, Alemania tiene una radiación solar equivalente a la propia de la Región de Aysén, dando cuenta de la factibilidad de aprovechar este recurso a lo largo de todo Chile, pero sobre todo en el territorio Norte del país, donde los niveles de radiación son mayores.

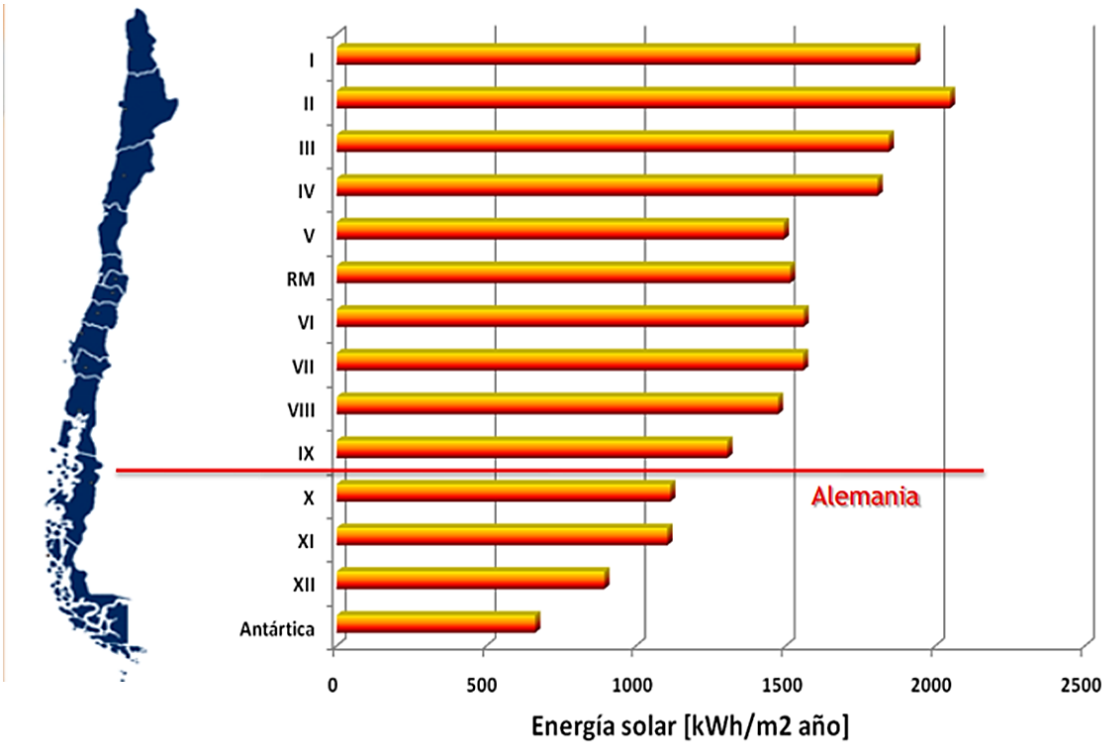



**Figura 16: Energía solar por Región en Chile v/s Alemania. Fundación Chile, 2010.**

### 3.3. Medición de datos solares

Para realizar la medición de datos solares, es necesario tener nociones básicas del recurso solar y la instrumentación adecuada para lograr registros confiables.

El instrumento principal para la medición de los datos solares es el piranómetro, el cual puede acompañarse de un *data-logger* para el almacenamiento de la información o bien un visor electrónico que interprete instantáneamente la señal eléctrica a un valor numérico medido en [W/m$^2$].

El **piranómetro** es un instrumento meteorológico de medición precisa de radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de irradiancia solar en [W/m$^2$] en un campo de 180 grados. El espectro de la radiación solar se extiende entre 300 y 2800 nanómetros. Esto indica que un piranómetro debe cubrir este espectro con una sensibilidad lo más homogénea posible.

De manera standard, la medición de radiación solar global debe realizarse en un plano horizontal y desprovisto de cualquier tipo de sombra. Esta medición también conocida con la sigla *GHI* por su acrónimo en inglés (Global Horizontal Irradiancie).

Es relevante tener en consideración, que el elemento fundamental de una buena medición de radiación solar es la confiabilidad de los datos. Por esta razón, es necesario mantener control sobre la coherencia temporal y espacial de los datos medidos. Es decir, la medida de radiación solar en un punto, corresponde a un lugar y

un momento determinado. Para obtener datos en una base diaria o anual, es necesario mantener esta coherencia y por lo tanto tener una distribución de la información adecuada en base a ambos criterios.

## 3.4. Tecnologías para el aprovechamiento de energía solar

Las diferentes tecnologías solares se pueden clasificar en pasivas o activas según cómo capturen, conviertan y distribuyan la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos para transformar la energía solar, en energía eléctrica o térmica.

La energía solar pasiva consiste en aprovechar el aporte directo de la radiación solar sin utilizar tecnología adicional para transformar la energía. Aplicada al caso de un hogar, esto implica un diseño arquitectónico que maximiza el aprovechamiento energético natural del sol. El diseño que considera energía solar pasiva, o también llamada bioclimático, no utiliza elementos mecánicos o tecnológicos extraordinarios para su producción, como podrían ser los paneles solares. Esta se basa únicamente en un diseño adecuado, materiales de construcción y el aprovechamiento de los recursos naturales existentes, como energía solar, o incluso viento. Gracias a ello es posible alcanzar un importante ahorro energético en la construcción y el diseño arquitectónico.

### *3.4.1. Tecnologías de energía solar fotovoltaica*

El fundamento de la energía solar fotovoltaica es el efecto fotoeléctrico o fotovoltaico, que consiste en la conversión de la luz en electricidad. Este proceso se consigue con algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones de la luz y emitir electrones que generan una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad.

Un panel fotovoltaico consiste en una asociación de células, encapsulada en dos capas de EVA (etileno-vinilo-acetato), entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de un polímero termoplástico. Este conjunto es contenido en una estructura de aluminio con el fin de aumentar la resistencia mecánica del sistema y facilitar el anclaje del módulo a las estructuras de soporte.

Las células empleadas comúnmente en los paneles fotovoltaicos, son de silicio y pueden dividirse en tres subcategorías:

- Las células de **silicio monocristalino** están constituidas por un único cristal de silicio. Este tipo de células presenta un color azul oscuro uniforme.

- Las células de **silicio policristalino** o multicristalino, están conformadas por un conjunto de cristales de silicio. Tienen un rendimiento inferior al de las células monocristalinas. Se caracterizan por un color azul más intenso.

- Las células de **silicio amorfo** son menos eficientes que las células de silicio cristalino, pero también son menos costosas. Este tipo de células es, por ejemplo, el que se emplea en aplicaciones solares como relojes o calculadoras.

Los rendimientos típicos de una célula fotovoltaica de silicio policristalino oscilan entre el 14 %-20 %. Para células de silicio monocristalino, los valores oscilan en el 15 %-21 %.

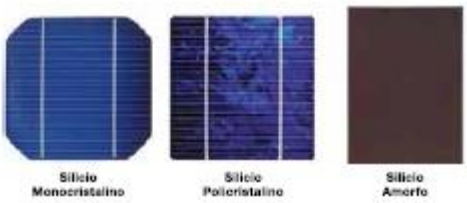



**Figura 17: Materialidad de células fotovoltaicas**

Una de las principales virtudes de la tecnología fotovoltaica es su aspecto modular, lo que permite construir enormes plantas fotovoltaicas o pequeños proyectos fotovoltaicos para viviendas.

### *3.4.2. Instalación de proyectos solares fotovoltaicos domiciliarios*

La instalación de paneles solares fotovoltaicos puede realizarse de manera asilada e independiente de la red eléctrica, apoyado por un sistema de batería. O bien pueden conectarse a la red de distribución eléctrica de la ciudad.

Equipos necesarios para la implementación de proyectos fotovoltaicos autónomos:

- Panel fotovoltaico
- Regulador de carga
- Batería
- Inversor

Para proyectos independientes de la red eléctrica, será necesario instalar una batería y un regulador de carga para contar con electricidad durante las noches. Se requiere un inversor para utilizar equipos electrónicos y electrodomésticos.

Equipos necesarios para la implementación de proyectos fotovoltaicos conectados a la red y amparados por la Ley 20.571 de Netbilling:

- Panel fotovoltaico
- Inversor
- Medidor bidireccional

El medidor bidireccional permite contabilizar tanto la electricidad proveniente de la red eléctrica, como los excedentes de energía eléctrica que son inyectados a la red por el sistema solar fotovoltaico. De esta forma es posible vender los excedentes de energía eléctrica que no han sido consumidas directamente en las actividades de la vivienda, a la empresa de distribución correspondiente.

Es importante considerar que, económicamente, el óptimo corresponde al autoconsumo directo de la generación de energía solar fotovoltaica, intentando consumir el mínimo posible de electricidad proveniente de la red eléctrica. Lo anterior, se debe a que la compañía eléctrica realiza un cobro por electricidad sustancialmente mayor por la energía que esta vende a su cliente, respecto al valor pagado por inyección de energía eléctrica fotovoltaica a su red de distribución. El precio de la energía proveniente de la red eléctrica es aproximadamente el doble del precio por energía inyectada a la red.

## 4. Aspecto geográficos y climáticos locales de la comuna de Valparaíso

Valparaíso es una de las ciudades más antiguas de Chile. Su privilegiada situación facilitó la formación de una identidad local, construida a partir de la relación del hombre con el entorno natural, donde se distinguen tres componentes topográficas principales: la bahía, el plan y los cerros. Desde su origen fue definida a partir de dos factores, que a través del tiempo fueron determinando su perfil. Estos fueron, su carácter urbano y la actividad portuaria, por lo que puede decirse que desde su nacimiento la ciudad se fue estructurando en torno a la dualidad de ser una ciudad-puerto (Instituto de Geografía Pontifica Universidad Católica de Valparaíso, 2009)

### 4.1. Topografía de la ciudad Valparaíso

Desde el punto de vista físico-geográfico, la ciudad de Valparaíso se encuentra emplazada en medio de una planicie costera en dirección norte-sur. Por su condición geográfica y su localización se define como una ciudad puerto de la costa suroeste de América del Sur entre las coordenadas de latitud 33º01’ sur y longitud 71º38’ oeste y a unos 118 [Km] al noroeste de la ciudad capital de Santiago.

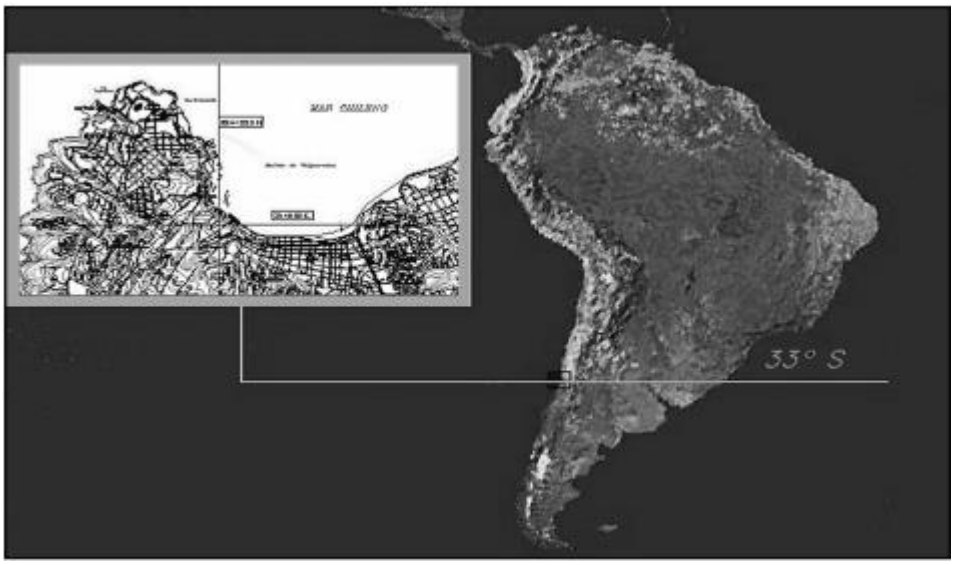



**Figura 18: Valparaíso a escala continental. Ilustre Municipalidad de Valparaíso, 2003, Unidad Técnica de Patrimonio.**

Las características topográficas de la ciudad de Valparaíso son únicas. Los componentes propios de este paisaje natural de la ciudad son la bahía, el sector plan y sus cerros (Instituto de Geografía Pontifica Universidad Católica de Valparaíso, 2009). Sus principales características se detallan a continuación.

- Bahía de Valparaíso: se encuentra protegida por el sur, pero abierta a la dirección de los vientos, orientada de frente a dirección norte. Los rellenos, que en algún momento comenzaron a responder a necesidades productivas, fueron creando un borde costero desde Barón hasta Artillería, donde el muelle Prat es muy significativo, entre otras cosas, por ser uno de los puntos de mayor contacto entre la ciudad y el mar.

- Plan de Valparaíso: la estrecha planicie costera entre la bahía y los cerros, forma el sector de menor pendiente dentro de la ciudad. Esta zona fue formada por el material proveniente de los cerros y por las obras de relleno realizadas para ganar terreno al mar. Algunas de las mayores obras de relleno realizadas para ampliar el Plan de Valparaíso, se realizaron reutilizando los escombros provenientes de los movimientos sísmicos recibidos durante la construcción histórica de la ciudad. Este sector, concentra más del 80% de las actividades productivas de bienes y servicios y menos del 5% de la población comunal. El Plan de Valparaíso, se divide en dos subsectores, estos son el almendral y el puerto.

**Figura 19: Componentes de la topografía de Valparaíso. Programa de Recuperación Urbana de Valparaíso.**

- Cerros de Valparaíso: el anfiteatro de sus cerros aparece como uno de los mayores atractivos de la ciudad. Sus rasgos geomorfológicos más marcados son las terrazas de abrasión marina, formadas por acción erosiva del mar, y de depósitos. Estos últimos son aquellos formados por material acarreado por cursos de agua que bajan desde la cima de los cerros. Las profundas quebradas que separan las terrazas forman los interfluvios, un vínculo entre el plan y cerro y son a la vez un puente de comunicación para la población que vive en el cerro y trabaja en el plan de la ciudad. El frente de acantilados ha constituido un elemento limitante para la expansión urbana de la ciudad, el que fue remediado con la presencia de los ascensores que unen el plan con el cerro y que forman parte de la identidad de la ciudad (Salinas, R. 1967). Mientras las quebradas con distintos niveles de pendiente han sido abovedadas generando los cauces que depositan los sedimentos y otros materiales arrastrados por las lluvias de invierno directamente al océano.

  Hacia el suroeste de Valparaíso se pueden identificar distintos niveles de terrazas que van desde los 20 a 60 metros de altura sobre el nivel del mar hasta alcanzar sobre los 450 de altura. En su conjunto los cerros concentran casi el 90% de los habitantes de la ciudad, dando paso a un proceso de ocupación cuya expresión natural es el paisaje urbano y alrededor del 10% de las actividades productoras de bienes y servicios.

La topografía característica de Valparaíso descrita anteriormente, genera una complejidad adicional al momento de evaluar proyectos de energía solar en la comuna, ya que los cerros, acantilados y quebradas generan sombras naturales en diversos momentos de la trayectoria solar.

### 4.2. Vaguada costera

La vaguada costera es un fenómeno meteorológico local, que afecta la zona sur-occidental de América del Sur o la Zona Central de Chile. Consiste en un área de baja presión en superficie, que se presenta frente a la costa, que al desplazarse hacia el Este, obliga a descender masas de aire desde la ladera occidental de la cordillera de los Andes.

Esta tiene dos etapas, reconocibles en Valparaíso:

A. Fase sureste: el aire fluya desde el este, descendiendo desde la cordillera hacia el oeste, intensificando la capa de inversión térmica y acercándola a la superficie, afectando la región con cielos despejados y agradables temperaturas.

B. Fase noroeste: afecta la zona con aire húmedo desde la costa, nublado con densa neblina y bajas temperaturas, mejorando las condiciones de ventilación y terminando su paso.

Este fenómeno sólo se manifiesta en la parte baja de la atmósfera, generando nubes cerca del suelo, denominadas estratos, y en ocasiones nieblas y lloviznas. Se presume que la presencia de vaguada costera disminuye los índices de radiación solar en el territorio, ya que la nubosidad de baja altura muchas veces puede estar presente la mayor parte del día.

Las ciudades costeras del litoral central de Chile se enfrentan generalmente a este fenómeno meteorológico, el cual puede prolongarse durante todo el año, pero con especial énfasis en los meses de verano, otoño e invierno.

Para efectos de este estudio, tanto la topografía de la comuna de Valparaíso como la vaguada costera son especialmente puestos en consideración, dado que ambos pueden disminuir significativamente el potencial de energía solar en diversos puntos del territorio.

# Capitulo 3 - Instrumentos y métodos

## 1. Instrumentación para la medición de irradiación solar

Se realizó la implementación de diez estaciones de medición de irradiación solar en la comuna de Valparaíso, las que registraron datos en el periodo enero-diciembre de 2016. La instalación de estas estaciones se realizó en el marco del proyecto FIC-R 2015 ValpoSolar, financiado por el Gobierno Regional de Valparaíso. El proyecto FIC-R, tenía por objetivo facilitar información estratégica para promover el uso de la energía solar en Pymes y el servicio público de la comuna de Valparaíso.

La instrumentación utilizada corresponde a una estación de medición de irradiación en plano horizontal, la que se detalla en la ficha expuesta en la Figura 18 a continuación.

**Figura 20: Componentes instrumentación medición irradiación solar.**

La información registrada corresponde a la magnitud de irradiación solar global en plano horizontal, denominado GHI por su acrónimo en inglés *Global Horizontal Irradiance*. La irradiación solar GHI se mide en unidad [W/m2], la cual sólo es coherente en la medida que esta magnitud se relacione estrictamente a la fecha y hora determinada de registro.

La información registrada se almacena y envía por internet al servidor del fabricante, una vez al día, el cual entrega la información en archivo editable al cliente. Los datos pueden visualizar en la página web del fabricante.

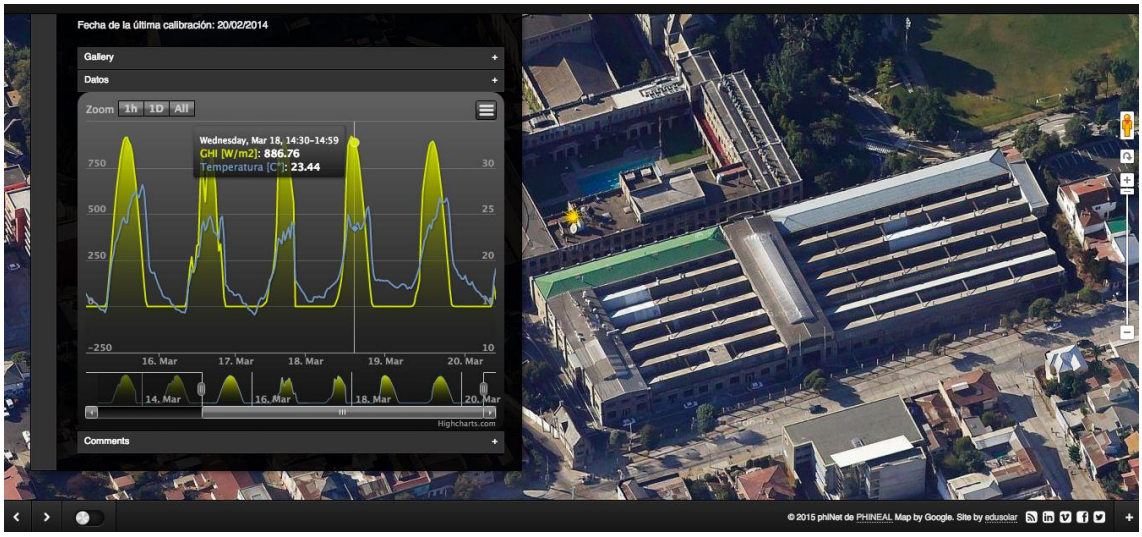



**Figura 21: Perfil solar en tiempo real.**

Las estaciones de medición de irradiación solar fueron instaladas en diez puntos de la comuna de Valparaíso. El detalle de la ubicación de cada una de las estaciones se presenta en la sección Método para la medición de radiación solar en la comuna de Valparaíso.

El registro de los datos de irradiación solar se realiza en función del Tiempo Universal Coordinado (UTC). Lo anterior, debe tenerse en consideración al momento de interpretar estos datos y relacionarlos al perfil solar diario.

### *Tiempo Universal Coordinado UTC*

El horario UTC es un sistema de estandarización del tiempo, el cual es utilizado de referencia para la coordinación de los relojes en el globo mundial.

Anteriormente, se utilizaba el sistema GTM *(Tiempo Medio de Greenwich)* basado en la posición media del sol. Esta referencia fue modificada debido a que la rotación de la tierra no es estable, estimándose actualmente que el día medio aumenta entre 15 a 25 millonésimas de segundo cada año *(1 microsegundo = 10^-6 segundos)* lo cual propone menor precisión a la coordinación. Es por esta razón que surgió la necesidad de buscar un nuevo sistema más confiable.

A diferencia del sistema GTM, el horario UTC se basa en el estándar de Tiempo Atómico Internacional, el cual establece el tiempo a partir del cálculo de la media ponderada obtenida de señales realizadas por un conjunto de relojes atómicos localizados en laboratorios distribuidos alrededor el mundo.

Una ventaja del Tiempo Atómico es su independencia de fenómenos astronómicos, ya que el Reloj Atómico, construido por primera vez en 1949 por Willard Libby en EEUU, basándose en los estudios de Resonancia Magnética Molecular y Atómica de Isidor Isaac Rabi que le valió el Premio Nobel de Física en 1944.

Actualmente el sistema horario UTC es utilizado por diversos servidores como Wikipedia, por estándares de Internet y las zonas horarias locales de todo el mundo se expresan como desviaciones positivas o negativas respecto del UTC, teniendo como referencia el meridiano de Greenwich *(meridiano cero)*.

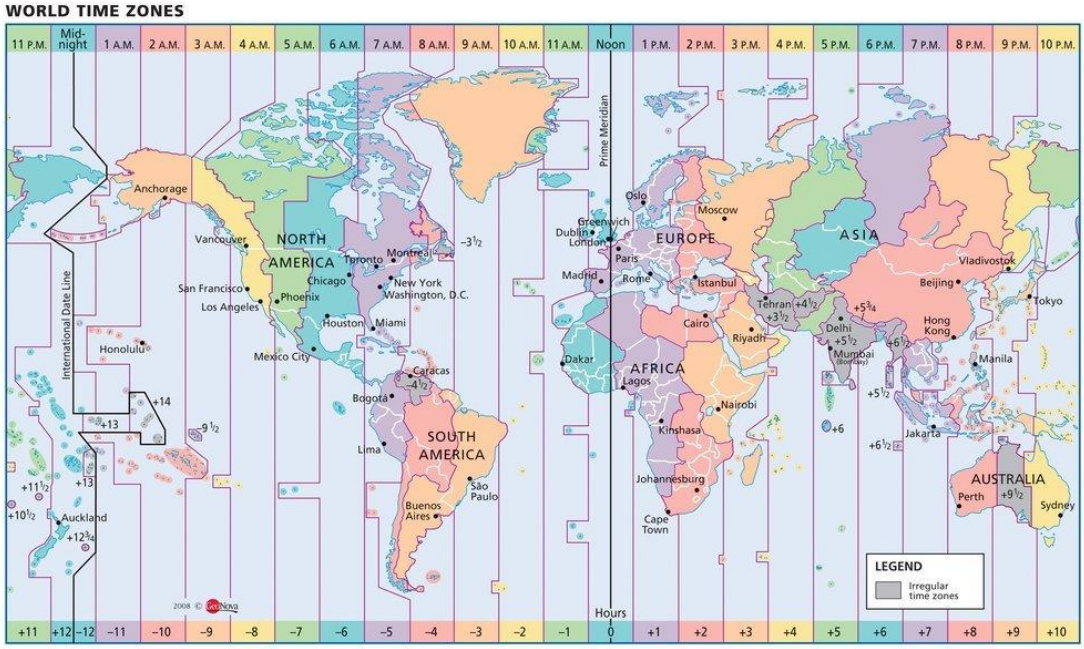



**Figura 22: Mapa Tiempo Universal Coordinado UTC**

De manera de regirse al horario internacional sin considerar las variaciones de hora local chilena las tablas de datos de irradiación solar se presentan en horario UTC, La instrumentación utilizada entrega datos de irradiación solar en función de un horario UTC. Lo anterior debe tomarse en consideración al momento de analizar los resultados.

## 2. Método de implementación de estaciones de medición de irradiación solar en la comuna de Valparaíso

El registro radiación solar en la comuna de Valparaíso debe realizarse durante al menos un año, de manera de caracterizar los índices de radiación durante un ciclo completo de la trayectoria solar.

Las estaciones utilizadas para medir la radiación solar, fueron distribuidas en diferentes puntos de la comuna con la consideración de maximizar su cobertura en el territorio. Además, estas fueron ubicadas a diferentes alturas sobre el nivel del mar, con el objetivo de captar las posibles diferencias de radiación solar que, hipotéticamente, serían causadas por un importante fenómeno climático local, llamado vaguada costera.

A partir de la instalación de las estaciones de medición de radiación solar, se espera tener información detallada que permita inferir los efectos de la vaguada costera en la disponibilidad de energía solar en la comuna de Valparaíso. Uno de los grandes supuestos que existe en el rubro de la energía solar, es que la comuna de Valparaíso podría tener menores índices de radiación debido a este fenómeno climatológico. Esta incertidumbre ha frenado, incluso, la oferta de empresas fotovoltaicas en la comuna. Este estudio, pretende entregar mayor información respecto de los índices reales de radiación solar en la comuna de Valparaíso de modo de incentivar el desarrollo de proyectos solares en base las condiciones reales de potencial energético presentes en el territorio.

A continuación, se detalla los criterios particulares utilizados en la selección de sitios para las estaciones de medición de irradiación solar en la comuna de Valparaíso. Estos son:

- La ubicación seleccionada debe contar con un 100% de exposición solar durante todo el día. Es decir, estas deben ubicarse en sectores donde no existen sombras producidas en el intervalo del horario solar, ya sea si fueran provocadas por la geografía, construcciones u otros elementos cercanos.

- El lugar seleccionado debe disponer de un área de 2x2 m2 para ubicar la instrumentación. La superficie puede tener una leve inclinación de, a lo más, 15º.

- Los dueños del recinto deben facilitar la entrada de técnicos que realicen la mantención a las estaciones, al menos una vez al mes. La mantención consiste en la limpieza del panel solar que alimenta de energía al sistema de envío de datos al servidor del fabricante.

- El sitio debe contar con condiciones de seguridad mínimas frente a potenciales robos o cualquier daño que pudiera sufrir el equipo del equipo durante 12 meses de medición.

- La ubicación de las diez estaciones de medición solar deben realizarse en diferentes niveles sobre el nivel del mar para registrar las posibles diferencias ocasionadas por la vaguada costera. En la comuna se estableció al menos las siguientes zonas.

    - Plan de Valparaíso: aproximadamente 0 [m.s.n.m.]

    - Zona Av. Alemania: aproximadamente 100 [m.s.n.m.]

    - Zona alta de Valparaíso: aproximadamente 400 [m.s.n.m.]

- La distancia entre cada una de las estaciones debe permitir una caracterización representativa de la radiación solar de Valparaíso. No se establece mayores restricciones respecto a la distancia mínima o máxima entre las estaciones.

La implementación de las estaciones se realiza en locaciones que cumplen con las características detalladas anteriormente. Se expone las ubicaciones finales de las estaciones de medición de irradiación solar en la Figura 18 a continuación.

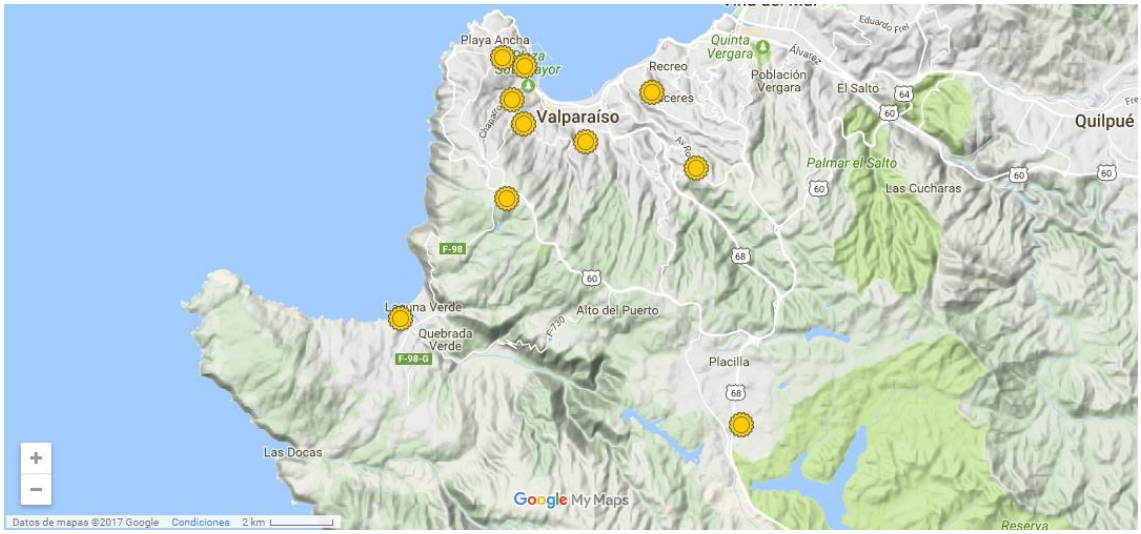
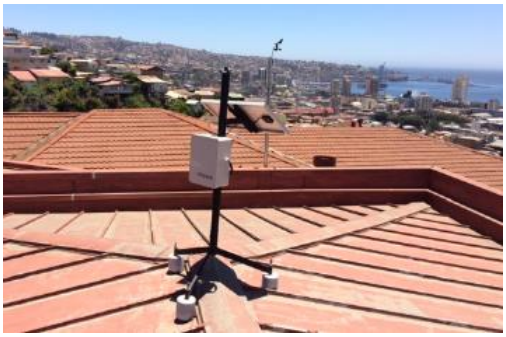



**Figura 23: Mapa ubicación de diez estaciones de medición de irradiación solar en la comuna de Valparaíso.**

Se entrega detalles de cada una de las estaciones la Tabla 8 a continuación. Se presenta, el número de otorgado por el fabricante a cada estación con la nomenclatura "E_ [número fabricante]"; la institución receptora de la estación; ubicación exacta; fecha de instalación y foto de la estación implementada.

**Tabla 7: Detalle estaciones de medición de radiación solar en la comuna de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia**

| N° | Sostenedor | Latitud/ Longitud | Altura [msnm] | Fecha instalación | Estación de medición de radiación solar |
|---|---|---|---|---|---|
| E_10 | Cooperativa de Servicio de Agua Potable, Laguna Verde | -33.102641/ -71.670059 | 60 | 25 Feb 2016 | |
| E_30 | Empresa Portuaria Valparaíso, Zona ZEAL, La Pólvora | -33.069705/ -71.635751 | 451 | 26 Nov 2015 | |
| E_29 | Instituto María Auxiliadora Valparaíso, Playa Ancha | -33.031155/ -71.637903 | 119 | 30 Dic 2015 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E_27 | Empresa Portuaria Valparaíso, Barrio Puerto | -33.033442/ -71.630042 | 20 | 26 Ene 2016 | |
| E_26 | Población Obrera La Unión, Cerro Cordillera | -33.042391/ -71.633834 | 108 | 28 Ene 2016 | |
| E_34 | Consultorio Marcelo Mena, Cerro Cárcel | -33.049018/ -71.631230 | 127 | 26 Nov 2015 | |
| E_32 | Colegio Teresita Liseux, Cerro La Cruz | -33.054188/ -71.610309 | 92 | 26 Nov 2015 |  |

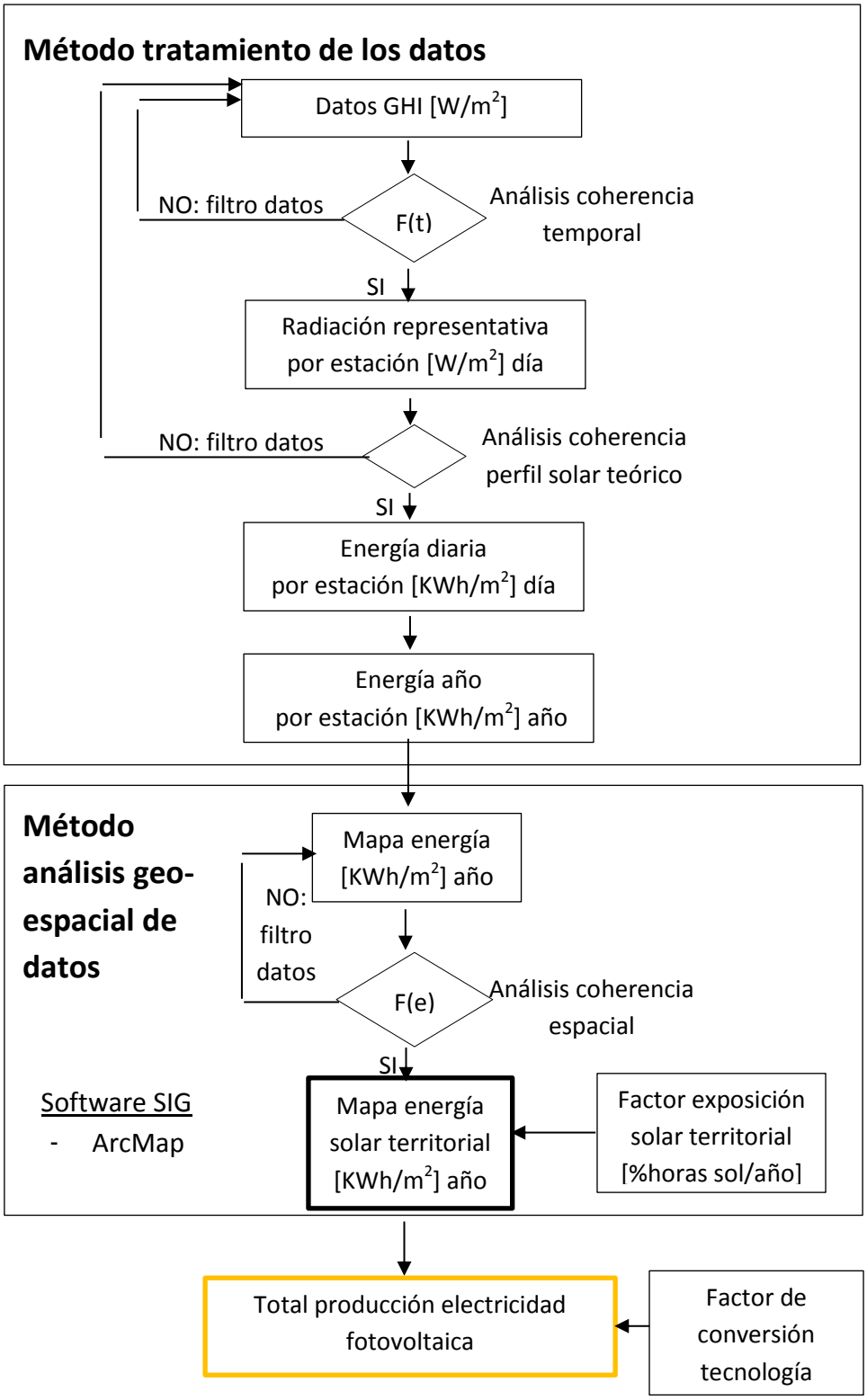
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| E_28 | Silob Chile Ltda, Cerro Placeres | -33.040774/ -71.588545 | 117 | 28 Dic 2015 | |
| E_31 | Jardín Infantil Burbujitas, Rodelillo | -33.061395/ -71.574304 | 288 | 18 Dic 2015 | |
| E_33 | Empresa Pacific Color, Placilla | -33.131087/ -71.559230 | 350 | 26 Nov 2015 | |

Tanto la estación E1_LagunaVerde como E10_Placilla tienen el objetivo de entregar datos de borde al área de estudio en la comuna de Valparaíso.

A partir de la instalación de las estaciones, detallada anteriormente, se obtiene datos crudos de irradiación solar en una frecuencia de 5 segundos durante un año de medición, para los diez puntos de la comuna de Valparaíso.

## 3. Método de análisis de los datos

En esta sección se detalla el método para evaluar la coherencia temporal, espacial y de magnitud de los datos en relación al perfil teórico diario de radiación solar para el territorio de estudio. A continuación se presenta un cuadro de síntesis de la metodología de análisis de datos.



### 3.1. Método de tratamiento de los datos

El tratamiento de los datos tiene el principal objetivo de eliminar errores de medición y reducir la población total de datos disponibles. Los errores de medición pueden ser de dos tipos: ausencia de datos o valores imposibles de irradiación solar durante el día de medición. De esta forma, el método de tratamiento de los datos debe contemplar una evaluación de la coherencia temporal de los datos medidos, de modo de identificar los errores de medición; y la reducción de la población total de datos disponibles.

*Coherencia temporal de los datos medidos*

Se realiza una evaluación de coherencia temporal de los datos, para eliminar posibles errores de medición. Para lograr lo anterior, se compara la magnitud de los datos obtenidos con los valores teóricos de irradiación solar máxima para un día. Por ejemplo, en horarios nocturnos los valores de radiación solar deben ser igual a cero. Durante el día, los valores no pueden ser superiores a las magnitudes del perfil teórico de irradiación máxima.

*Reducción de población total de datos disponibles*

Existe un gran volumen de datos registrados a lo largo de un año, el cual debe simplificarse para el análisis. Para lograr esto, se requiere obtener valores representativos de irradiación para el periodo enero-diciembre 2016. De esta forma, se obtiene un dato promedio para cada hora del día a lo largo del año, en cada uno de los puntos de medición, en lugar de los 60 datos para esa misma hora solar.

El método para el tratamiento de los datos se detalla a continuación.

1. **Obtención de irradiancia media por minuto:** Las estaciones de medición capturan datos de irradiación solar en una frecuencia de 5 segundos. Los datos correspondientes a un minuto son promediados para obtener un registro minuto a minuto de radiación solar para un punto.

2. **Revisión de disponibilidad de datos y confianza para el análisis**: Cada estación entrega una población total de 60 datos para cada hora. Esta equivale a la cantidad de minutos totales en una hora cualquiera y a su vez corresponde a la máxima cantidad de mediciones posibles en una hora.

   Para la interpretación de los datos se debe considerar que las estaciones de monitoreo se encuentran calibradas según el horario UTC (Tiempo Universal Coordinado). Esto implica que el registro de las mediciones realizadas minuto a minuto, no corresponden al horario local de la zona continental de Chile.

El número de datos disponibles para cada hora se representa por la variable $Y_{n,d,j}$.

**$Y_{n,d,j}$: n° de datos para cada hora [-]**

Siendo,

n: hora del día, número natural en el rango [0 – 23] horas.
d: n° de día del mes *j*.
j: mes correspondiente al periodo enero a diciembre 2016.

Respecto a los criterios estadísticos, se ha establecido un error admisible de hasta el 10% para la variable Y, procurando una Confiabilidad del 95*% (recomendada para la mayoría de los casos)*, por lo tanto el tamaño de la muestra resultante debe ser mayor a 40 datos medidos por cada hora.

En caso de que no se cumpla el tamaño de la muestra, se descarta los datos para esa hora determinada.

3. **Obtención de irradiancia media por hora:** El dato de interés para el análisis es la irradiación instantánea promedio, para cada hora del día, en los diez puntos de ubicación de las estaciones. Este se obtiene al promediar el valor de irradiación [W/m2] registrado para cada hora, el cual nos permitirá obtener un perfil solar diario en diez puntos de la comuna.

4. **Evaluación de disponibilidad de datos representativos** para obtener la irradiancia promedio para un día característico para cada mes en el periodo enero-diciembre 2016.

   La variable X representa el porcentaje de horas *i* en un mes que contienen información, con *i* entre los valores 0 y 23 [horas], en el mes j, donde j corresponde a un mes entre enero y diciembre 2016.

   **$X_{n,j}$: porcentaje de datos disponibles para la hora *n* del mes *j* [%]**

   n: hora del día entre los rangos [0-23]horas.
   j: mes del periodo enero a diciembre 2016.

   Se considera una población total máxima, igual al número de días totales de cada mes *(ej. Julio tiene 31 días)*. De esta forma se establece criterios de admisibilidad de los datos.

5. **Cálculo de irradiancia promedio** para la hora n del mes j, de manera de obtener la variable $\bar{I}_{n,j}$ [W/m2], en diez puntos de la comuna y para una hora específica del día, manteniendo una confiabilidad del 95%:

   - Se define un error admisible de hasta un 22% para la variable $\bar{I}_{n,j}$, lo cual equivale a una muestra mínima de $X_{n,j}$ del 40% de la población total de datos para un mes. Es decir al menos *12 días,* del mes j deben haber registrado la irradiancia $I_{n,j}$ para la hora n.

   - Para aquellas horas-mes que tengan una muestra menor al 40%, se discrimina el dato de forma directa.

6. Finalmente, se debe determinar si existe la información mínima necesaria para la construcción de mapas representativos de irradiación solar, para lo cual se debe determinar el % de datos de $\bar{I}_{n,j}$ disponibles para un día característico del mes j, sobre el total de horas del intervalo solar.

   Para esto se ha definido la variable Z, equivalente al porcentaje de datos de $\bar{I}_{n,j}$ disponibles en relación a al total de datos esperados dentro del intervalo solar *(6:00 am y 18:00 pm)*. Por ejemplo:

**Para un intervalo solar total de 12 horas**

- *Z=90%; dispone de un mínimo de 11 datos de $\bar{I}_{n,j}$, cada uno asociado a una hora del intervalo solar.*
- *Z=70%; dispone de un mínimo de 9 datos de $\bar{I}_{n,j}$ cada uno asociado a una hora del total del intervalo solar.*
- *Z=40%; dispone de un mínimo de 5 datos de $\bar{I}_{n,j}$ cada uno asociado a una hora del total del intervalo solar.*

### 3.2. Método para la relación geo-espacial e interpretación de los datos

A partir del tratamiento de los datos, se obtiene información sobre la energía solar recibida a lo largo de un año en el territorio determinado. Los datos obtenidos hasta ahora, son coherentes únicamente para un análisis puntual y diferenciado para las diez locaciones de medición.

De manera de obtener información para un área de estudio, integrada, es necesario generar una relación geo-espacial entre los datos de radiación en cada uno de los diez

puntos de la comuna. La información puntual, puede relacionarse entre sí únicamente para un momento determinado, o bien por medio de la evaluación de energía acumulada anual en cada uno de los puntos de medición. Para efectos de este estudio, se requiere únicamente relacionar la energía acumulada anual en cada uno de los diez puntos de la comuna. El desarrollo de esta relación gráfica-estadística entre los puntos de medición permite una interpretación sinóptica de los datos.

A partir de la interpretación gráfica de los datos se debe realizar un análisis de coherencia espacial de la información, cómo herramienta final para eliminar posibles errores en la medición o el tratamiento de la datos. Finalmente, a modo de cumplir con los objetivos de este estudio, se realiza un análisis de sombras producidas por la geografía de la comuna de Valparaíso, lo cual permite determinar la radiación realmente captada en los diversos puntos del área de estudio.

### *Coherencia espacial de los datos*

Los datos de radiación solar son coherentes mientras que estos se relacionen específicamente en un espacio determinado y un momento dado. La validación de estos parámetros es clave para la definición de una base de información confiable, como insumo para la construcción de mapas solares y la obtención de conclusiones. La interpretación gráfica de los datos, permite observar las diferencias de energía entre cada uno de los puntos de medición. Se espera que los efectos de la vaguada costera provoquen diferencias en la energía captada por cada uno de los puntos, sin embargo estas no deben ser abruptas o incoherentes entre sí.

### *Factor de exposición solar*

La medición de los datos de irradiación solar se realizó en ubicaciones que contaban con un 100% de exposición solar. Sin embargo, la comuna Valparaíso cuenta con una geografía compleja, la cual genera sombras sobre su propio territorio en diferentes momentos de la trayectoria solar. Por lo tanto, de modo de entender cuál es el potencial real de energía solar disponible para su aprovechamiento en el territorio de la comuna de Valparaíso, es necesario considerar los efectos de la topografía.

Se utiliza el Sistema de Información Geográfica ARCMAP, para relacionar geo-espacialmente los datos de cada uno de los diez puntos de medición en la comuna de Valparaíso.

ARCMAP es la principal herramienta del Sistema ARGIS, el cual representa información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa para una extensión determinada.

El método para la relación geo-espacial e interpretación de los datos se detalla a continuación.

1. Se utiliza el software ARCAMP de manera de relacionar la información de los diez puntos de la comuna de Valparaíso. El software ARCMAP genera una relación geo-estadística entre los puntos, ingresando la información en el siguiente formato.

| N° Estación | Energía anual [KWh/m2] | Latitud | Longitud |
|---|---|---|---|
| E_xx | … | …. | …. |

2. Se define intervalos de acuerdo al rango total de datos, los cuales se representarán mediante curvas de nivel en los mapas solares. Se asigna un color para cada intervalo.

3. Se obtiene un mapa gráfico que representan la interrelación geo-estadística de los puntos de información de energía solar acumulada anual. En este, se representa los intervalos definidos a través de curvas de nivel, mientras que el gradiente de colores presenta la relación entre las diferencias de energía captada entre los puntos. En este punto es necesario realizar una evaluación de coherencia espacial de la información.

   Se espera observar diferencias en la energía solar anual captada por cada uno de los puntos, dadas por los efectos poco homogéneos de la vaguada costera sobre el territorio. Sin embargo la información gráfica debe presentar continuidad entre los puntos y la magnitud de energía anual en estos no debiera presentar diferencias exageradamente amplias.

   El producto validado corresponde a la primera capa de información que será utilizada en para lograr desarrollar el objetivo planteado para este estudio.

4. De manera seguida, se genera la segunda y última capa de información que será utilizada en el análisis. Esta corresponde al factor de exposición solar en la comuna de Valparaíso. Esta capa de información corresponde a un % en el rango 0 a 100.

5. Por último, ambas capas de información territorial se superponen y multiplican entre sí para determinar la energía solar acumulada total recibida por el territorio de estudio. Por lo tanto, para aquellos puntos donde existe 0% de exposición solar, la energía solar en ese punto será también igual a cero. Para zonas con factor 50% de exposición solar, la energía solar real captada por ese punto corresponderá al 50% del valor de energía obtenida en el análisis geo-espacial de los datos y así sucesivamente para todos los puntos del territorio.

*Método y función de cálculo ARCMAP*

A modo de realizar un análisis numérico coherente es importante considerar que la unidad de medida es de [KWh/m2] para cualquier punto del área de estudio. Es decir existe una unidad de energía para cada metro cuadrado del territorio. Por esta razón, al momento de realizar la integral del raster o manto de densidad energética [KWh/m2] obtenido para el territorio es necesario poner especial atención en el pixel o delta de área de integración.

Al trabajar sobre un mapa definido como un raster de información, sería necesario definir una resolución, piel o área de integración de 1 [m2] para el cálculo de la función "int" a modo de obtener un resultado [KWh] neto para el territorio de estudio.

Considerando que la resolución típica para la integración de esta función en ARCMAP es de 200[m2], la reducción a 1[m2] produce una exigencia mayor al procesador del del equipo utilizado durante el desarrollo del análisis. Por esta razón, se hace necesario convertir el raster mediante la función "volver a proyectar" hasta producir una capa mosaico con un pixel mínimo de 48x48[m2].

La función "Volver a proyectar modifica la proyección de un dataset ráster, dataset de mosaico o elemento de ráster en un dataset de mosaico. También pueden remuestrear los datos para un nuevo tamaño de celda y definir un origen.

Las entradas para esta función son las siguientes:

- Ráster de entrada obtenido con la interpolación de datos anuales de energía solar para cada uno de los puntos de medición en [KWh/m2/año]
- **Referencia espacial**: el sistema de coordenadas se utiliza para volver a proyectar los datos.
- **Tamaño de celda X**: la dimensión x en la que los datos se remuestrean. Para este caso definido en 48 [m] para velocidad y capacidad de procesamiento.
- **Tamaño de celda Y**: la dimensión y a la que los datos se remuestrean. Para este caso definido en 48 [m] para velocidad y capacidad de procesamiento.

La función Volver a proyectar se puede utilizar para crear una caché de un dataset raster o de mosaico. Por lo general, esta es una proyección de Mercator Web.

## 4. Resultados y discusión

### 3.3. Disponibilidad, coherencia y confianza de los datos de irradiación solar

De acuerdo a la metodología presentada en la sección Método de tratamiento de los datos, se realiza un análisis de disponibilidad y confiabilidad de la información de irradiancia registrada por las estaciones de medición.

En primer lugar se revisa la disponibilidad de datos registrados por las estaciones de medición de radiación solar, de manera de trabajar con información representativa del comportamiento real de esta variable en el tiempo.

El volumen teórico de datos esperados corresponde a la suma de los registros totales en cada una de las estaciones durante 12 meses de medición. Este es aproximadamente:

$$volumendatos = 1\left[\frac{dato}{minuto}\right] * 60\left[\frac{minutos}{hora}\right] * 24\left[\frac{horas}{dia}\right] * 365\left[\frac{dia}{año}\right] * 10[estaciones]$$

$$volumendatos = 5.256.000[datos]$$

Estos $5.256.000[datos]$ teóricos estarían contenidos en 120 archivos de datos, los cuales deben revisarse para confirmar la población real y confiable de datos disponibles. Lo anterior se realiza utilizando la metodología propuesta en el punto 2 de la sección 3.1 Método de tratamiento de los datos, para así evaluar según el número de datos disponibles para cada hora representada por la variable $Y_{n,d,j}$.

Esto se realiza de la siguiente forma:

1. Se realiza una revisión de la disponibilidad de los datos en cada archivo.

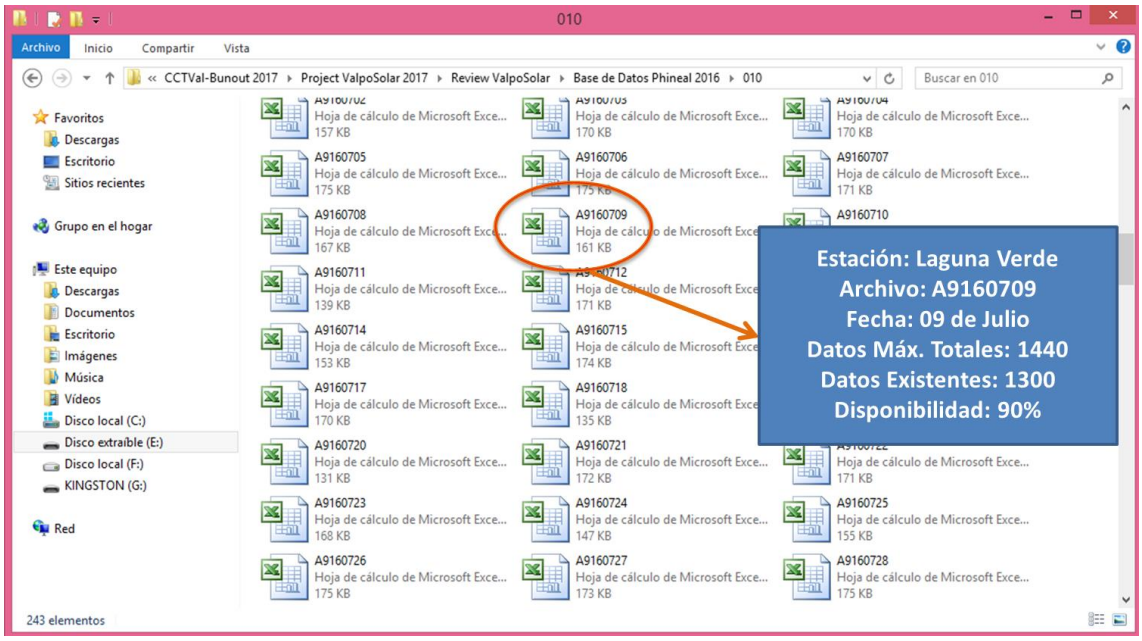



**Figura 24: Ejemplo archivos de datos de irradiancia solar.**

Los archivos contienen datos que relacionan el valor de la irradiancia en [W/m2], a una hora y un día determinado, tal como se presenta en la Figura 24: Ejemplo datos en archivo Laguna Verde.

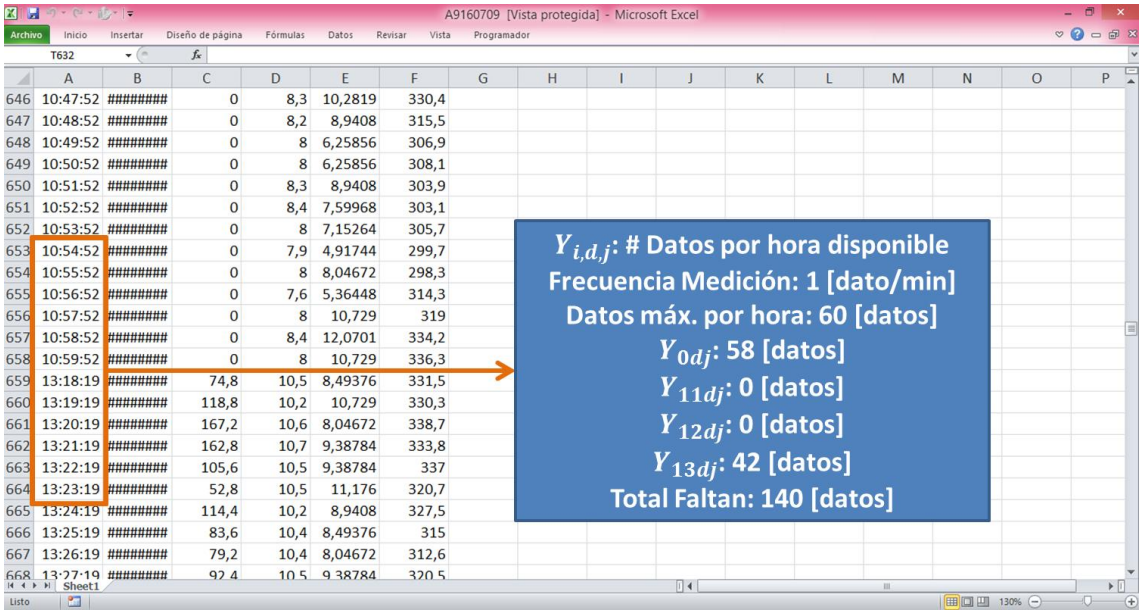



**Figura 25: Ejemplo datos en archivo Laguna Verde.**

Como se puede observar en la imagen anterior, el archivo ejemplo de Laguna Verde no registra 140 datos del total. De manera de evaluar la variable $Y_{n,d,j}$ de disponibilidad de datos se realiza la siguiente tabla resumen para cada uno de los 120 archivos.

Distribución de datos en archivo

| Dia | 06:00 - 06:59 | 07:00 - 07:59 | 08:00 - 08:59 | 09:00 - 09:59 | 10:00 - 10:59 | 11:00 - 11:59 | 12:00 - 12:59 | 13:00 - 13:59 | 14:00 - 14:59 | 15:00 - 15:59 | 16:00 - 16:59 | 17:00 - 17:59 | 18:00 - 18:59 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 2 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 3 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 4 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 5 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 6 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 7 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 8 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 9 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 | 42 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 10 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 11 | 60 | 60 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 12 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |

**Figura 26: Tabla resumen disponibilidad de datos por cada archivo.**

Considerando que se ha establecido un error admisible de hasta el 10% para la variable Y, para una confiabilidad del 95%, se establece que se considerará los datos de una hora solamente cuando exista el 70% de los datos, equivalente a 40 datos por cada hora.

Si el 70% de la información existe para una hora, equivalente a un número de 40 datos, entonces la se promedia la información para obtener una irradiancia media $\bar{I}_{n,j}$. Si existe un número menor a 40 datos, entonces la información para esa no hora no se considera.

Se obtiene una irradiancia media $\bar{I}_{n,j}$ de cada una de las horas del día del año, para cada una de las estaciones. Luego, de manera de obtener el perfil de irradiancia media diaria para un día característico por cada mes, se debe evaluar que exista un porcentaje suficiente de horas con información para obtener un valor representativo. Lo anterior se realiza evaluando la variable $\mathbf{X_{n,j}}$ con el método expuesto en el punto 3 de la sección de Método de tratamiento de los datos.

En el anexo A se presenta los cuadros resúmenes de los resultados de la evaluación de la variable $X_{n,j}$ a de cada una de las estaciones de medición para el periodo enero-diciembre de 2016.

En la siguiente tabla se expone el resumen de disponibilidad de datos para cada una de las estaciones en el periodo enero a diciembre 2016.

**Tabla 8: Leyenda disponibilidad de datos de un día característico de cada mes, enero-diciembre 2016.**

| hrs Solares | 6:00am - 18:00pm |
|---|---|
| X: % días disponibles para hr prom, sobre el n° total de días de cada mes | |
| Clasificación | n° de días |
| X<40% | X < 12 |
| 40%<X<70% | 12 < X < 21 |
| 70%<X<100% | 21 < X < 30 |
| Mediciones Incoherentes | |

**Tabla 9: Disponibilidad de datos para el intervalo solar de un día característico de cada mes, enero-junio 2016.**

| Criterio: X > 40% | Z: % de datos para el intervalo solar de un día característico | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6:00am - 18:00pm | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio |
| E_10 | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% |
| E_26 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_27 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_28 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_29 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_30 | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_31 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E_32 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_33 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 0% |
| E_34 | 100% | 100% | 100% | 100% | 83% | 67% |

**Tabla 10: Disponibilidad de datos para el intervalo solar de un día característico de cada mes, julio - diciembre 2016.**

| Criterio: X > 40% | Z: % de datos para el intervalo solar de un día característico | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6:00am - 18:00pm | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| E_10 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_26 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_27 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_28 | 75% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_29 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_30 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_31 | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |
| E_32 | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% |
| E_33 | 0% | 0% | 0% | 100% | 100% | 100% |
| E_34 | 100% | 100% | 100% | 0% | 100% | 100% |

*Resultados de la revisión de disponibilidad y confianza de los datos para el análisis*

El análisis de disponibilidad y coherencia de los datos, realizado para cada una de las estaciones ubicadas en Valparaíso, demostró que estas presentaron diversas dificultades a lo largo del periodo de medición. Lo anterior ocurrió debido a problemas de diseño de la instrumentación por el fabricante, la cual presentó diversas fallas en el periodo de medición.

Por esta razón, existen días y meses que no cuentan con información de irradiación solar, lo cual disminuye la cobertura y volumen de datos esperados para el periodo

enero-diciembre de 2016. A partir de la metodología desarrollada en la sección "Método de tratamiento de los datos" fue posible marginar los datos que presentaron incoherencia o ausencia de información.

La falla en el registro de datos, provoca una variación en la cantidad de información disponible para cada mes. Dada que los datos registrados son de menor volumen que los esperados, dadas las fallas de las estaciones de medición. Por esta razón no se recomienda su utilización para fines de investigación académica que requiera alcanzar niveles exigentes de confianza. Para efectos de este estudio, el volumen de datos disponibles es suficiente para alcanzar los objetivos y lograr sus respectivas conclusiones.

Existen estaciones que no registraron datos durante el 100% de los días de algunos meses, por lo cual fueron marginadas. Estas son:

- E_33: Empresa Pacific Color, Placilla
- E_34: Consultorio Marcelo Mena, Cerro Cárcel

En el caso de la estación E_10 instalada en la Cooperativa de Servicio de Agua Potable, Laguna Verde, su funcionamiento comenzó a partir del 04 de Abril de 2016, lo cual limita la disponibilidad de datos de borde para el área de estudio durante el periodo 01 de enero a 03 de abril de 2016.

La estación E_33 instalada en la empresa Pacific Color, en Placilla, además de la ausencia de datos observada algunos meses, comienza su funcionamiento el día 15 de enero de 2016. Lo cual, también limita la disponibilidad de datos de borde para el área de estudio desde el 01 al 14 de enero de 2016.

Por último, se marginó bases de datos de algunas estaciones de medición, ya que presentaban datos de irradiación [W/m2] con valores imposibles, teniendo valores máximos en horarios donde no hay sol. Para horas de la noche, pueden existir pequeños índices de radiación solar dado por el reflejo de la luna pero los valores deben ser cercanos a 0 $W/m^2$. En horarios donde hay sol, los valores no deben exceder el máximo teórico de 1000 $W/m^2$ en la superficie terrestre.

Los datos marginados corresponden a los siguientes:

- 24 al 31 de Enero – E_30_ZEAL
- 1 al 7 de Marzo – E_30_ZEAL

Las estaciones validadas para el análisis son las siguientes:

✓ E_30: Empresa Portuaria Valparaíso, Zona ZEAL, La Pólvora

- ✓ E_29: Instituto Maria Auxiliadora Valparaíso, Playa Ancha
- ✓ E_27: Empresa Portuaria Valparaíso, Barrio Puerto
- ✓ E_26: Población Obrera La Unión, Cerro Cordillera
- ✓ E_34: Consultorio Marcelo Mena, Cerro Cárcel
- ✓ E_32: Colegio Teresita Liseux, Cerro La Cruz
- ✓ E_28: Silob Chile Ltda, Cerro Placeres
- ✓ E_31: Jardin Infantil Burbujitas, Rodelillo

Las estaciones marginadas fueron las siguientes:

- E_10: Cooperativa de Servicio de Agua Potable, Laguna Verde
- E_33: Empresa Pacific Color, Placilla

# 4. Resultados y discusión

## 4.1. Resultado del tratamiento de los datos

En esta sección se presenta los resultados del tratamiento de datos, producto de la metodología y criterios estadísticos definidos en la sección Método de tratamiento de los datos.

El objetivo de este análisis es obtener la energía total anual en cada una de las estaciones. Dada la ausencia de algunos datos en horas y días, y las posibles fluctuaciones año a año, se hace necesario utilizar el perfil característico diario de irradiación de cada mes, expresados en $W/m^2$. A partir de la información anterior se realiza un cálculo de energía solar para cada día característico registrado por las diez estaciones, expresado en $KWh/ m^2$.

Tabla de resultados de irradiancia [$W/m^2$] y radiación promedio [$KWh/ m^2$] de un día característico de cada mes entre Enero y Diciembre 2016 para cada estación se presentan en el Anexo A.

Luego, a partir de los datos de la tabla anterior, se obtiene los datos de energía total acumulada mensual y anual para cada estación, expresada en $KWh/ m^2$, entre Enero y Diciembre de 2016.

Tabla 12: Radiación mensual y anual en diez puntos de la comuna de Valparaíso, expresada en KWh/m$^2$, en el periodo enero-diciembre 2016

| Meses 2016 | Laguna Verde E_10 | Cordillera E_26 | Barrio Puerto E_27 | Placeres E_28 | Playa Ancha E_29 | La Pólvora E_30 | Rodelillos E_31 | El Litre E_32 | Placilla E_33 | Cárcel E-34 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Enero | - | 207,16 | 203,70 | 204,30 | 196,22 | 210,76 | 197,14 | 199,14 | 201,35 | 222,38 |
| Febrero | - | 189,00 | 186,64 | 190,97 | 176,56 | 191,94 | 187,90 | 187,58 | 196,25 | 196,29 |
| Marzo | - | 108,31 | 101,82 | 109,18 | 100,00 | 130,56 | 105,63 | 108,54 | 136,24 | 117,58 |
| Abril | - | 78,77 | 73,18 | 81,98 | 85,10 | 116,38 | 88,74 | 81,37 | 91,77 | 97,31 |
| Mayo | 56,61 | 61,55 | 52,75 | 59,22 | 55,91 | 80,98 | 60,19 | 59,71 | 53,50 | 62,37 |
| Junio | 63,11 | 67,43 | 48,57 | 66,43 | 63,84 | 89,19 | 69,38 | 67,25 | - | 75,28 |
| Julio | 59,81 | 65,98 | 42,45 | 65,98 | 72,99 | 66,45 | 74,52 | 65,88 | - | 66,71 |
| Agosto | 100,71 | 109,61 | 78,22 | 109,61 | 118,50 | 111,91 | 116,42 | 100,05 | - | 106,85 |
| Septiem | 114,72 | 112,19 | 90,17 | 112,19 | 130,90 | 129,20 | 123,07 | 110,85 | - | 110,51 |

| Meses 2016 | Laguna Verde E_10 | Cordillera E_26 | Barrio Puerto E_27 | Placeres E_28 | Playa Ancha E_29 | La Pólvora E_30 | Rodelillos E_31 | El Litre E_32 | Placilla E_33 | Cárcel E-34 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| bre | | | | | | | | | | |
| Octubre | 158,60 | 168,52 | 150,64 | 168,52 | 186,01 | 168,81 | 175,49 | 141,87 | 175,34 | 152,47 |
| Noviembre | 205,23 | 219,49 | 202,10 | 219,49 | 240,29 | 218,06 | 216,74 | 182,53 | 229,95 | 194,43 |
| Diciembre | 195,06 | 218,74 | 197,29 | 218,74 | 223,52 | 205,27 | 207,27 | 194,79 | 216,14 | 224,72 |
| Anual | - | 1606,75 | 1427,53 | 1606,62 | 1649,84 | 1719,49 | 1622,49 | 1499,56 | - | 1626,89 |

Estaciones E_10 de Laguna Verde y E_33 de Placilla no son consideradas en los resultados finales de radiación anual, dada su ausencia de datos durante varios meses. Los índices de radiación anual se presentan en el siguiente gráfico.

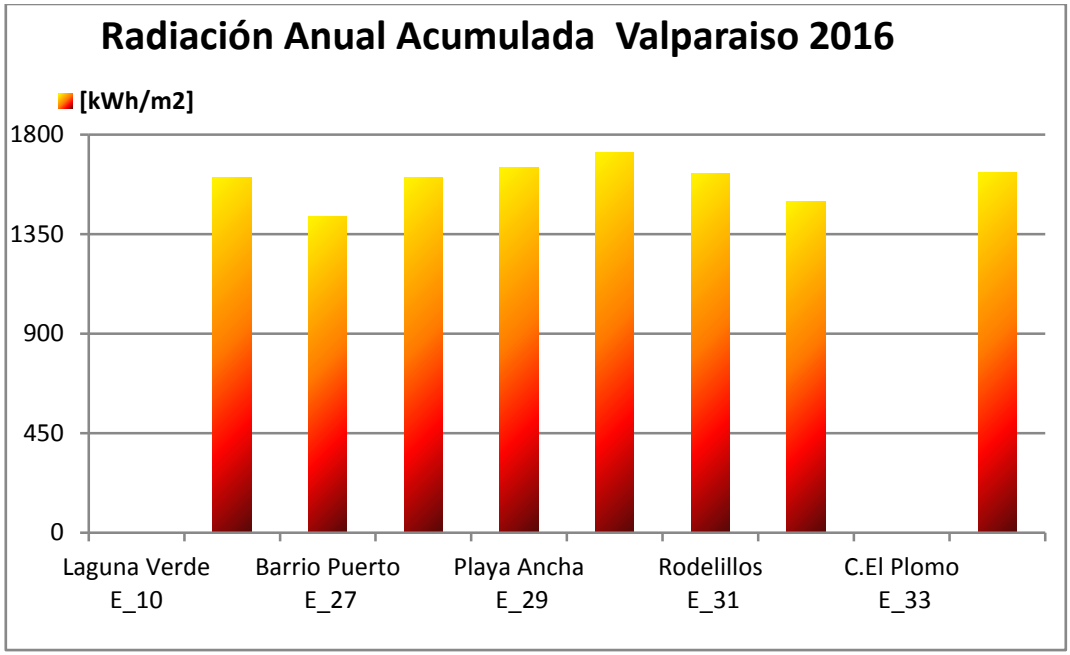



**Figura 27: Radiación anual en diez puntos de la comuna de Valparaíso en el periodo enero-diciembre 2016.**

A continuación se presenta la información mensual de radiación para cada uno de los diez puntos, sin considerar las estaciones marginadas.

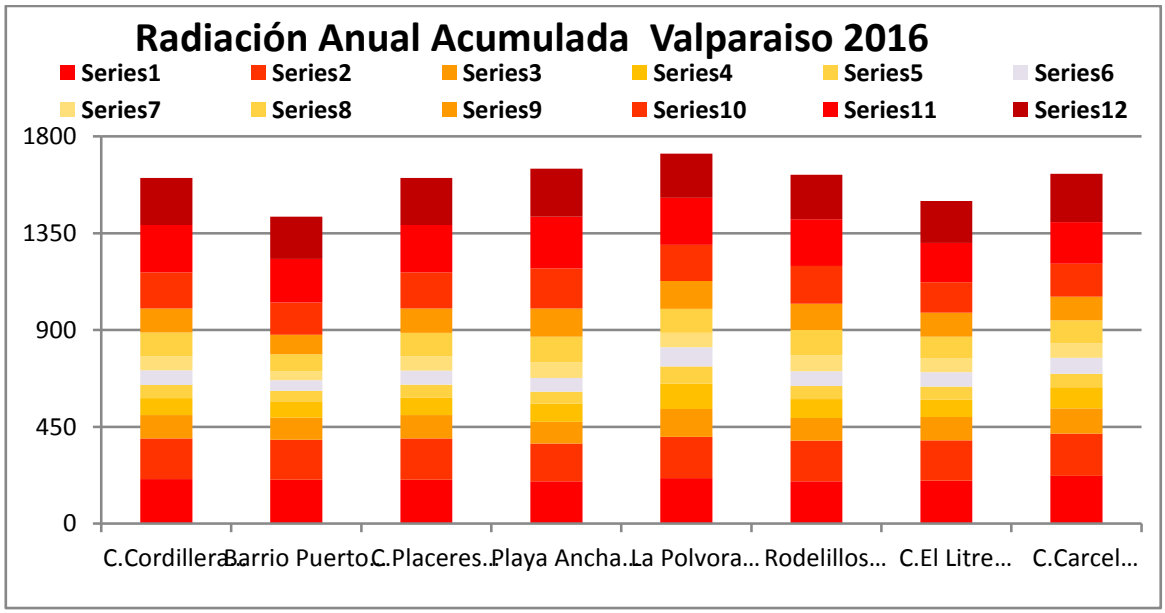



**Figura 28: Radiación mensual [KWh/m2] para diez puntos de la comuna de Valparaíso en el periodo enero-diciembre 2016.**

A modo de análisis se presenta las curvas comparativas para cuatro estaciones ubicadas en distintos posiciones y alturas sobre el nivel del mar en la comuna de Valparaíso.

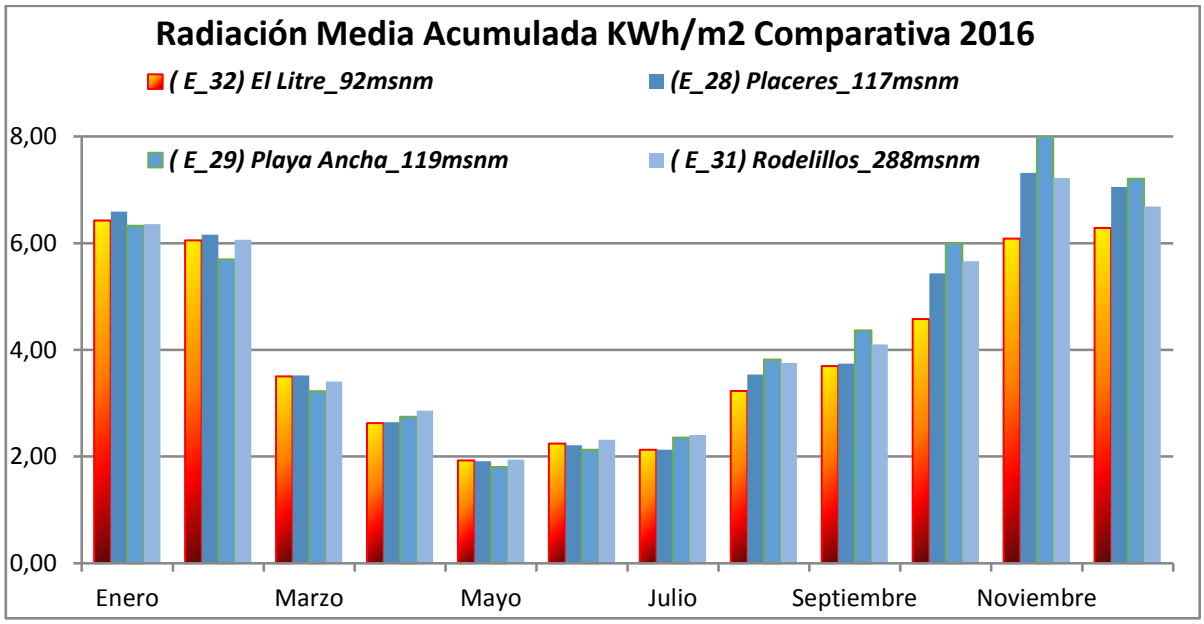



**Figura 29: Radiación Media Acumulada KWh/m2 Comparativa 2016**

### 4.2. Validación de resultados del tratamiento de los datos

De manera de validar el análisis, se realiza nuevamente una comparación con el perfil solar teórico de radiación mensual, extraído del texto Irradiancia solar en territorios de la

república de Chile. De esta forma es posible asegurar que no existen datos imposibles o incoherentes en los resultados. Los datos radiación para plano horizontal en la comuna de Valparaíso propuestos por el Registro Solarimétrico (CNE, 2008) se expone a continuación.

**Tabla 11: Datos de referencia registro solarimétrico, Irradiancia solar en territorios de la república de Chile, CNE/PNUD/UTFSM, 2008.**

| Meses 2016 | Enero | Feb | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago | Sept. | Octubre | Nov. | Dic. | Anual |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref. Registro Solarimétrico | 189,14 | 146,89 | 129,83 | 86,31 | 60,75 | 48,75 | 55,42 | 81,47 | 110,39 | 144,92 | 171,22 | 188,42 | 451,91 |

A partir de esta información se construye un gráfico comparativo que permita visualizar comparativamente las curvas obtenidas con los datos de referencia, expuestas en la Figura 28.

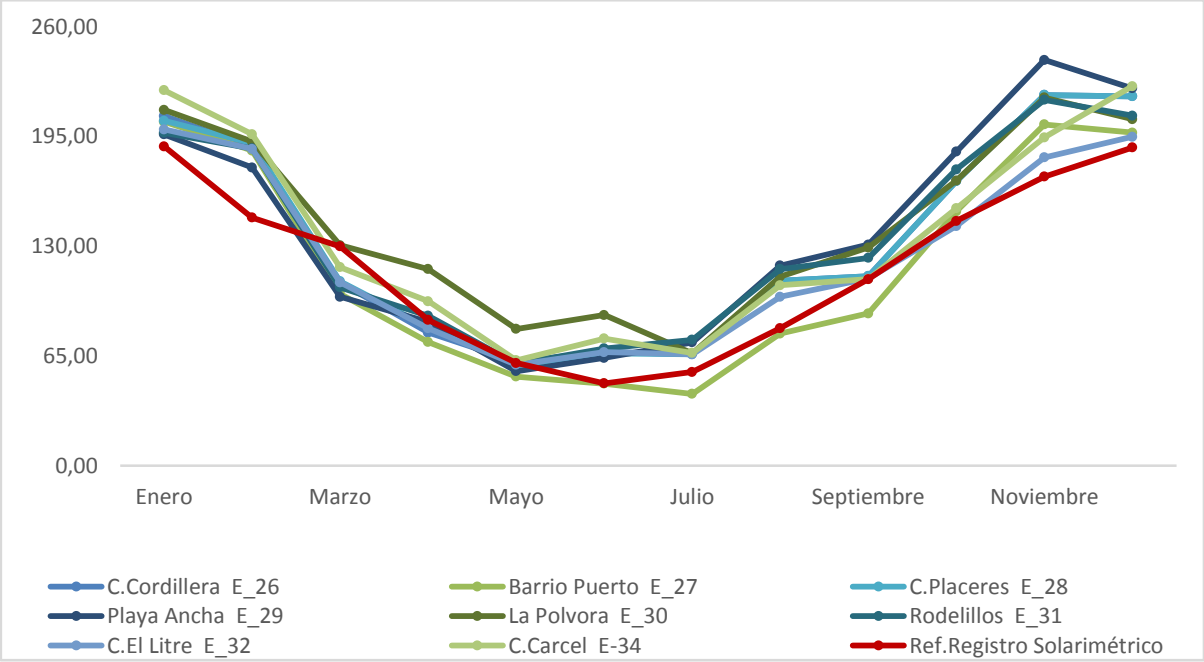



**Figura 30: Gráfico comparativo radiación [KWh/m2] obtenido v/s datos de referencia.**

Es importante tener en cuenta que pueden existir diferencias entre los datos obtenidos y el perfil teórico solar, dado por los efectos de la vaguada costera, sin embargo estos deberían encontrarse en rangos cercanos a la curva teórica solar diaria. A partir de la gráfica anterior es posible inferir que los resultados se encuentran dentro de los parámetros esperados.

### 4.3. Resultados de análisis geo-espacial e interpretación gráfica de los datos

Se utiliza los resultados del tratamiento de los datos de irradiación solar medida durante un año en los diez puntos de la comuna de Valparaíso, para el desarrollo de los mapas de radiación solar anual.

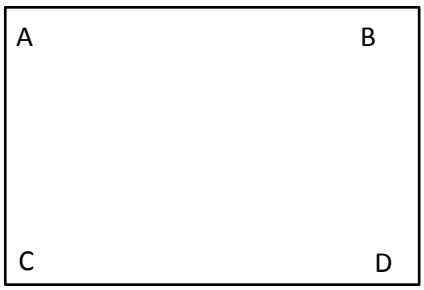
Tal como se menciona en la sección Método para la relación geo-espacial e interpretación de los datos, se utiliza el sistema de información geográfica ARCMAP, para generar la relación geo-espacial de la información puntual obtenida por las estaciones.

A través de esta representación gráfica, se obtiene una síntesis sinóptica de la información de energía solar anual acumulada para la comuna de Valparaíso, lo cual permitirá observar la coherencia espacial de los datos.

El área de estudio se define de acuerdo a aquellas estaciones que han sido validadas y por lo tanto presentan disponibilidad de datos. Las estaciones E_10, E_29 y E_34 proveen la información de borde que determina el territorio de estudio, el cual está comprendido en los puntos de coordenadas enunciados en la siguiente tabla.

**Tabla 12: Área comprendida por el mapa de radiación solar anual de la comuna de Valparaiso**

| Puntos | Latitud | Longitud |
|---|---|---|
| A | -33.031155 | -71.637903 |
| B | -33.031155 | - 71.559230 |
| C | - 33,102641 | - 71.670059 |
| D | - 33131087 | - 71.559230 |




Resultados de relación geo-espacial de los datos en base mensual disponibles en Anexo B del presente estudio.

## 4.4. Resultados de análisis de factor de exposición solar geo-espacial para el territorio de estudio definido en la comuna de Valparaíso

Tal como se menciona en la sección "Topografía de la ciudad Valparaíso", esta es de características accidentadas, lo cual genera sombras naturales a lo largo de la trayectoria solar. Esto provoca una variación natural en la cantidad de horas de sol percibidas a lo largo del día solar en los diversos puntos del territorio. Por lo tanto, los cerros y las quebradas tienen diferentes niveles de exposición solar a lo largo de la trayectoria solar durante todos los días del año.

Las mediciones tradicionales de GHI horizontal en los territorios no consideran las sombras producidas por la topografía del territorio de estudio. Es decir, este interpreta el territorio como un plano, el cual teóricamente recibe la misma cantidad de horas de exposición solar indistintamente de las sombras naturales de la topografía, lo cual es lejano a la realidad de la comuna de Valparaíso.

De manera de incorporar los efectos de la topografía en la generación de sombras en la comuna de Valparaíso, se desarrolla un mapa de distribución porcentual de exposición solar sobre el territorio. Este mapa determina la exposición solar en un rango de 0 a 100% en relación al porcentaje del tiempo que cada punto de la comuna recibe luz solar, donde 0% se asignaría a un punto que no recibe luz solar en ningún momento del día y 100% a un punto que recibe luz solar en todo momento, desde la salida hasta la puesta del sol. Para efectos de la definición del factor de exposición solar, no se considera horas donde no hay luz solar, ya que estas son irrelevantes para el análisis.

En la Figura 29 a continuación se representa el mapa de factor de exposición solar obtenido para la comuna de Valparaíso, el cual se utilizará como capa de información geográfica para la determinación de la energía solar total anual considerando los efectos de la topografía sobre los índices de radiación para el territorio de estudio.

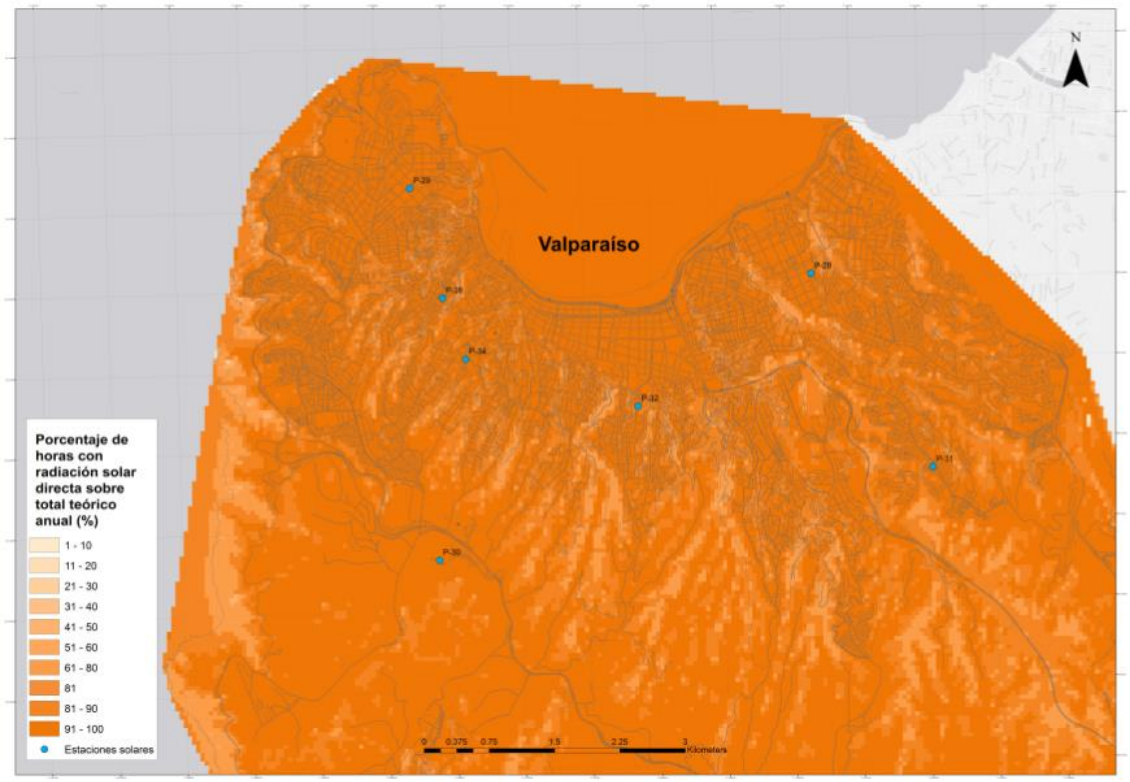



**Figura 31: Mapa de porcentaje de horas de exposición solar sobre total teórico anual considerando topografía de la comuna de Valparaíso.**

Este mapa de porcentaje de exposición solar se utiliza como un factor multiplicador al resultado de energía solar acumulada anual para la comuna, el cual únicamente puede disminuir la magnitud de energía obtenida para cada punto del territorio dado que el factor de exposición solar se encuentra entre 0 y 100%. Es decir, para un punto donde el factor de exposición solar sea equivalente a un 50%, la energía solar acumulada calculada para ese punto en base a las mediciones de GHI horizontal será multiplicada por un factor igual a 0,5. Por lo tanto la resultante será la mitad del valor considerado inicialmente.

De esta forma, al considerar medición de datos reales distribuidos a diferentes alturas sobre el nivel del mar y de cobertura sobre el área de estudio, e incorporar un análisis de sombras para el territorio, es posible obtener datos de radiación total anual que considere las condiciones territoriales y climatológicas particulares de la comuna de Valparaíso. Lo anterior, debería permitir obtener información más precisa que aquellas producidas por estimaciones satelitales.

## 4.5. Resultados de análisis de radiación solar en la comuna de Valparaíso

Las capas de información geográfica y de radiación solar desarrolladas en el marco de esta investigación se utilizan para determinar la radiación solar anual efectivamente recibida

por el área de estudio comprendida en la comuna de Valparaíso. De esta forma es posible obtener magnitudes de radiación solar que consideren los efectos de la vaguada costera, implícitos en la obtención de datos reales medidos en el periodo enero a diciembre del año 2016, sumando la evaluación de sombras producidas por naturalmente por la topografía del territorio.

Ambas capas de información geográfica, radiación solar anual y factor de exposición solar, se superponen utilizando el software ARCMAP y se multiplican entre sí para obtener el mapa expuesto en la Figura 30 a continuación.

De esta forma es posible calcular el valor [KWh] para cada uno de los pixeles delfines en el territorio de estudio. Cada uno de estos pixeles es sumado para obtener un valor total [KWh] de energía solar recibido para el área de estudio definida en la comuna de Valparaíso, obteniendo el siguiente mapa y magnitud resultante.

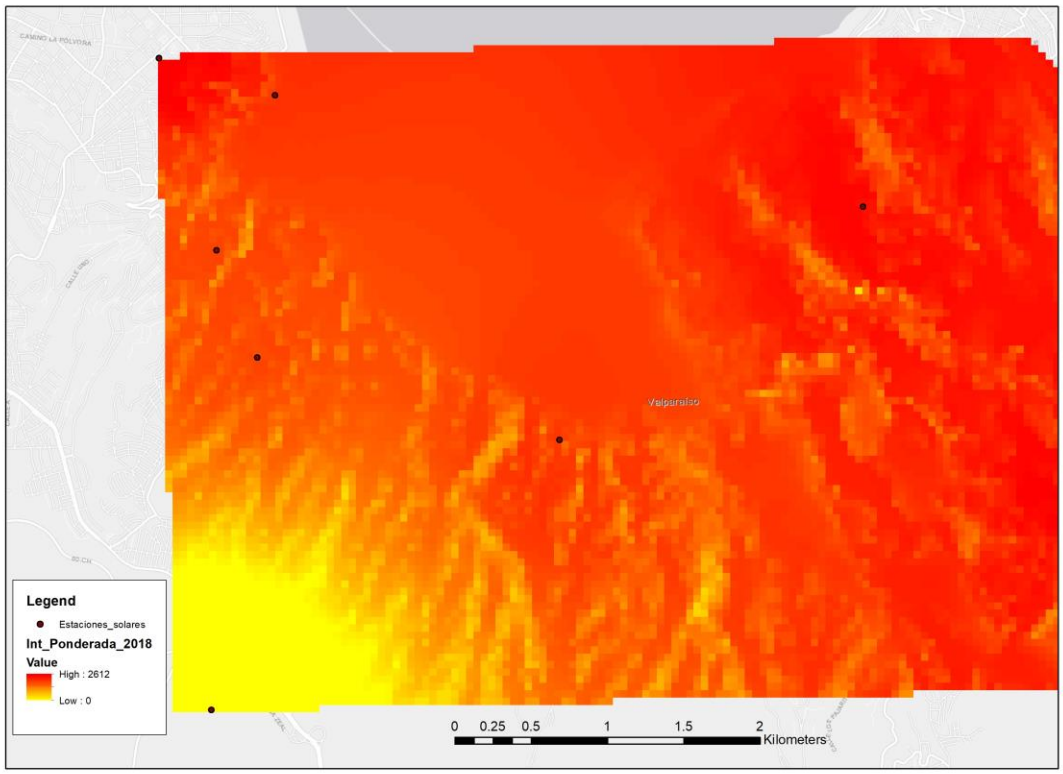



**Figura 32: Mapa energía solar acumulada para la comuna de Valparaíso considerando factores topográficos y vaguada costera.**

A partir del mapa anterior, es posible calcular el potencial de energía solar disponible para el área de estudio en la comuna de Valparaíso. Utilizando el Sistema de Información Geográfica ARCMAP, es posible integrar el manto de energía solar anual expuesta en el mapa en la Figura 30, el cual presenta datos expresadados en unidad [KWh/m$^2$/año].

De esta forma, se obtiene la energía solar recibida en el periodo enero a diciembre del año 2016. El resultado obtenido al aplicar la operación descrita anteriormente es de 52.324.456.120 [KWh/año] para el área de estudio. A partir de esta información es posible calcular cuál es el potencial que tendrían sistemas fotovoltaicos ubicados dentro del territorio de la comuna de Valparaiso, para reemplazar el suministro eléctrico provisto por las compañías distribuidoras de electricidad en la ciudad, las cuales son alimentadas desde el Sistema Interconectado Central. Vale decir, que las fuentes de energía que alimentan el sistema Interconectado Central son, en su mayoría, provenientes de combustibles fósiles, los cuales conllevan graves perjuicios para el medio ambiente, la salud de las personas y la seguridad de suministro energético. Por lo tanto, de esta forma es posible determinar la capacidad de autonomía eléctrica de la comuna de Valparaíso utilizando energía solar, como fuente energética local, territorial, autónoma, segura y limpia.

### 4.6. Resultados de análisis de coherencia espacial de los datos

A partir del mapa de radiación solar anual presentado en la Figura 30 anterior, es posible confirmar que existe una coherencia espacial de los datos en relación a los valores esperados.

Es altamente probable que las diferencias de radiación solar observadas en cada uno de los puntos de la comuna, tenga relación con la presencia de vaguada costera en momentos del año, así como por la generación de sombras naturales producidas por la topografía local. En la caso de la vaguada costera, esta se distribuye de manera poco predecible y poco homogénea sobre la comuna de Valparaíso, la cual disminuye los índices de radiación solar percibidos en la superficie del territorio.

Si bien, la radiación solar anual sobre el área de estudio presenta diferencias, estas no son particularmente pronunciadas, encontrándose entre los 1.427,53 [KWh/año] y 1.719,49 [KWh/año]. La amplitud del rango de radiación solar anual y la gradualidad de las diferencias de su comportamiento, observadas en el mapa de la Figura 30, se encuentran dentro de los valores esperados. No se observa diferencias importantes, discontinuidad en la magnitud de los valores de radiación, o incoherencias en la representación gráfica de los datos, lo que permite inferir que no existen errores en la medición o análisis de la información disponible.

Por lo tanto, a partir del mapa de radiación solar anual obtenido, es posible inferir que las diferencias observadas pueden ser provocadas por la vaguada costera. Esta información permite realizar un análisis más detallado respecto de las diferencias en las condiciones técnicas y económicas que deben enfrentar distintas zonas dentro de la comuna Valparaíso.

## 4.7. Resultados potencial energía solar Valparaíso

A partir de la información obtenida al realizar una relación geo-estadísitca y espacial de los datos, es posible obtener el potencial teórico de producción de energía eléctrica a partir de una fuente renovable y territorial como la solar. De esta forma se obtiene el potencial bruto, sobre la cual es necesario calcular el potencial tecnológico factible. Este corresponde a la capacidad real de producción energética de las tecnologías fotovoltaica disponibles en la actualidad. Es así como, la tecnología desarrollada solo tiene la capacidad de captar una pequeña fracción de la energía solar total disponible por cada metro cuadrado de territorio. En el caso de las tecnologías fotovoltaicas más eficientes disponibles, es posible recuperar solo un 17% de la energía solar total bruta a una inclinación de 33º sobre la normal, el cual, en principio, maximiza la producción de energía a partir de fuente renovable solar.

*Potencial teórico*

Potencial energía solar [GWh/año] = $52.324.456.120$ [KWh/año]*[GWh/$10^6$KWh]

Potencial energía solar [GWh/año] = $52.324{,}456$ [GWh/año]

*Potencial tecnología fotovoltaica*

Para una latitud 33º SUR correspondiente a la comuna de Valparaíso, el factor de planta para la tecnología solar fotovoltaica, panel fijo inclinado a 33º y orientación Norte (0º Azimut) es de 17%, según datos del Explorador Solar del Ministerio de Energía.

Potencial tecnología fotovoltaica = $52.324{,}456 * 0{,}17$ [GWh/año]

Potencial tecnología fotovoltaica = $8.895{,}16$ [GWh/año]

## 4.8. Resultados potencial de autonomía eléctrica en Valparaíso

*Autonomía energética en relación a demanda eléctrica total en Valparaíso*

A partir de esta información, se realiza una comparación de oferta energética solar en relación a la demanda de energía eléctrica para el mismo periodo, comprendido entre los meses de enero y diciembre de 2016.

Según datos obtenidos directamente desde la principal empresa distribuidora de electricidad en la comuna, las cifras de inyección de energía eléctrica para el periodo fueron los siguientes.

**Tabla 13: Inyección mensual [GWh] Chilquinta 2016. Fuente: 2016**

| Inyección [GWh] Chilquinta 2016 | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Categoría | ene | feb | Mar | abril | may | jun | jul | ago | Sept | oct | Nov | Dic |
| Residencial | 16,858 | 15,468 | 17,313 | 17,132 | 17,694 | 17,592 | 18,227 | 17,128 | 16,428 | 16,479 | 16,102 | 17,091 |
| Público | 7,436 | 6,823 | 7,637 | 7,557 | 7,805 | 7,760 | 8,040 | 7,555 | 7,247 | 7,269 | 7,103 | 7,539 |
| Privado | 19,748 | 18,120 | 20,281 | 20,069 | 20,728 | 20,607 | 21,352 | 20,064 | 19,244 | 19,304 | 18,862 | 20,021 |
| **Total** | **44,043** | **40,411** | **45,231** | **44,759** | **46,228** | **45,959** | **47,619** | **44,747** | **42,918** | **43,053** | **42,067** | **44,651** |

**Tabla 14: Inyección año [GWh] Chilquinta 2016. Fuente: 2016**

| Categoría | Total año [GWh] |
|---|---|
| Residencial | 203,512 |
| Público | 89,771 |
| Privado | 238,400 |
| **Total** | **531,686** |

Además, según datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE), Chilquinta Energía S.A abastece a 99.331 clientes dentro de la comuna de Valparaíso, mientras que CONAFE y EDECSA entregan energía a 4.564 y 19 usuarios respectivamente. Realizando un análisis

muy simple, se estima que Chilquinta SA cuenta con el 95,59% del mercado, suponiendo que existe una relación similar entre clientes privados, residenciales y públicos para las tres empresas debido a su cobertura en área urbana. Por lo tanto, se estima que la inyección total de energía en la comuna de Valparaíso para el año 2016 fue la siguiente.

**Tabla 15: Inyección energía eléctrica comuna Valparaíso [GWh] para el año 2016.**

| Compañía distribuidora | Clientes totales | % mercado | GWh Residencial | GWh Público | GWh Privado | GWh totales año 2016 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **CHILQUINTA ENERGÍA SA** | 99.331 | 95,59% | 203,512 | 89,771 | 238,400 | 531,686 |
| **CONAFE** | 4.564 | 4,39% | 9,351 | 4,125 | 10,954 | 24,430 |
| **EDECSA** | 19 | 0,02% | 39 | 17 | 46 | 102 |
| **Total** | **103,914** | **100%** | **212,902** | **93,913** | **249,399** | **556,217** |

El potencial bruto de energía solar obtenido a partir del análisis es de 52.324,5 [GWh/año], el cual fue calculado para un área de estudio definida en la sección 3.2 Método para la relación geo-espacial e interpretación de los datos. Así mismo, el potencial de producción de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos es de 8.895,2 [GWh/año]. A partir de esta información es posible calcular la capacidad o porcentaje de reemplazo que podría lograr sistemas fotovoltaicos a modo de prescindir del suministro de energía eléctrica actualmente ofertada por compañías distribuidoras en la comuna de Valparaíso.

*Potencial de reemplazo de energía eléctrica a partir de energía solar año 2016*

$$\%\ \text{reemplazo energía solar 2016} = 8.895{,}16/556{,}217\ [\text{GWh/año}]/[\text{GWh/año}] * 100\%$$

% reemplazo energía solar fotovoltaica = 1.600%

Es decir, la energía solar recibida en el territorio de estudio tiene la capacidad de entregar 16 veces la cantidad de energía demandada por la comuna de Valparaíso en su totalidad para el año 2016.

*Potencial de reemplazo de energía eléctrica a partir de energía solar año 2017*

De acuerdo a datos colectados en el portal web Energía Abierta del Ministerio de Energía de Chile, durante el año 2017 la comuna de Valparaíso mantuvo las siguientes cifras de consumo eléctrico.

**Tabla 16: Consumo eléctrico Valparaíso 2017. Fuente: Energía Abierta, Ministerio de Energía**

| Año | Mes | Consumo KWh |
|---|---|---|
| 2017 | enero | 37.110.520,4 |
| 2017 | febrero | 33.780.783,9 |
| 2017 | marzo | 34.509.361,7 |
| 2017 | abril | 32.094.235,1 |
| 2017 | mayo | 33.644.538,92 |
| 2017 | junio | 33.099.672,06 |
| 2017 | julio | 35.138.746,66 |
| 2017 | agosto | 33.338.363,09 |
| 2017 | septiembre | 35.560.694,86 |
| 2017 | octubre | 33.686.136,6 |
| 2017 | noviembre | 32.893.028,77 |
| 2017 | diciembre | 31.620.339,68 |
| | **Total año 2017** | **406.476.421,74** |

Los datos de consumo eléctrico se distribuyen entre los siguientes clientes regulados para la comuna de Valparaíso

**Tabla 17: Tarificación Valparaíso 2017. Fuente: Energía Abierta, Ministerio de Energía**

| TIPO CLIENTE | TARIFA | CLIENTES PROMEDIO TARIFA |
|---|---|---|
| No Residencial | AT2PP | 18 |

| TIPO CLIENTE | TARIFA | CLIENTES PROMEDIO TARIFA |
|---|---|---|
| No Residencial | AT2PPP | 40 |
| No Residencial | AT3PP | 34 |
| No Residencial | AT3PPP | 63 |
| No Residencial | AT4.1 | 2 |
| No Residencial | AT4.3 | 167 |
| No Residencial | BT2PP | 241 |
| No Residencial | BT2PPP | 316 |
| No Residencial | BT3PP | 202 |
| No Residencial | BT3PPP | 684 |
| No Residencial | BT4.1 | 17 |
| No Residencial | BT4.2 | 2 |
| No Residencial | BT4.3 | 282 |
| Residencial | BT1A | 110.996 |

De acuerdo a los datos de consumo eléctrico para la comuna de Valparaíso en el año 2017, el potencial de reemplazo sería el siguiente

Consumo eléctrico 2017 [GWh/año] = $406.476.421,74$ [KWh/año]*[GWh/$10^6$KWh]

Consumo eléctrico 2017 [GWh/año] = $406,48$ [GWh/año]

% reemplazo energía eléctrica 2017 = $8.895,16/406,48$ [GWh/año]/ [GWh/año] *100%

% reemplazo energía solar fotovoltaica = 2.188%

Vale decir, la energía solar potencial obtenida para el territorio de estudio tiene la capacidad de entregar 21,9 veces la cantidad de energía demandada por la comuna de Valparaíso en su totalidad para el año 2017.

*Reducción huella de carbono*

El cálculo de las emisiones de $CO_2$ por la generación eléctrica, proveniente de sistemas interconectados, se asocia a las características de cada uno de ellos. El total de emisiones depende exclusivamente del tipo de centrales que alimentan el mix energético total del sistema y la composición y combustibles utilizados por los generadores. De esta forma, las emisiones de carbono variarán cada hora, tanto para el Sistema Interconectado Central (SIC) como para el Sistema Interconectado Norte Grande (SING).

La inyección de electricidad en el sistema distribuido de la comuna proviene directamente desde el Sistema Interconectado Central (SIC). Por lo tanto, para efectos de este análisis, sólo nos centraremos en el SIC, ya que esta es la carretera eléctrica que conecta al mix de generadores con la red de distribución de energía eléctrica de la comuna de Valparaíso. El territorio asociado a cada Sistema Interconectado se encuentra en la sección 2.4 de este estudio.

Para el cálculo de las emisiones del SIC, se deberá considerar el consumo de combustible por cada una de las unidades generadoras que alimenta el sistema. Dado que el tipo de unidades generadoras que alimentan los sistemas eléctricos varía a cada hora, implica que existe una alta variabilidad de las emisiones de $CO_2$ asociadas a la generación eléctrica. Actualmente, el Ministerio de Energía de Chile publica el total de emisiones de carbono producto de la actividad asociada a cada uno de los sistemas interconectados en Chile.

Según datos del Ministerio de Energía de Chile, el Sistema Interconectado Central emitió un promedio de 0,397 [ton$CO_2$/MWh] para el periodo enero a diciembre de 2016.

El reemplazo de consumo de electricidad desde los sistemas de distribución de la comuna de Valparaíso, proveniente directamente desde el SIC, significaría una disminución de las emisiones de $CO_2$ por concepto de generación de energía eléctrica. Dado que el potencial de generación de energía solar fotovoltaica en el área de estudio, es capaz de reemplazar 23.112 [MWh/año], entonces el ahorro de $CO_2$ se calcula de la siguiente forma.

Ahorro CO2 = 0,397 [Ton CO2/ MWh]*556,217[GWh/año]*1000[MWh/GWh]

Ahorro CO2 = 220.818,149 [Ton CO2/año]

Es importante mencionar, que las centrales que aportan importantes cantidades de emisiones de $CO_2$, lo realizan a través de la quema de combustible durante la operación de plantas generadoras a base de carbón, diésel y gas natural. Sin embargo, existen recientes estudios que demuestran que las grandes represas hidroeléctricas también producen gases de efecto invernadero. Estas emisiones dependerán del área del terreno inundado y el tipo de vegetación que genera estas emisiones producto de su putrefacción.

Un estudio encargado por Endesa determinó que la central Rapel, hidroeléctrica de embalse, generó en 2008 el equivalente a 0,003 ton$CO_{2eq}$/MWh, dato que incluye incluso el combustible utilizado para movilizar al personal.

# Capitulo 4 - Conclusiones y recomendación

## 1. Conclusiones

El estudio permite comprobar que la comuna de Valparaíso es capaz, técnicamente, de alcanzar su autonomía de producción de energía eléctrica local a partir de fuentes renovables solares. Según resultados de estudio, el potencial bruto anual, considerando los efectos de la vaguada costera y la topografía local para el territorio de análisis, es de 52.324.456.120 [KWh/año]. Considerando un 17% de factor de planta, el potencial tecnológico es de 8.895,16 [GWh/año].

Considerando que al año 2016 la demanda eléctrica a distribuidoras convencionales de energía en la comuna fue de 556,217[GWh/año] y de 406,48 [GWh/año] en 2017, implica que el potencial de reemplazo es de un 100%. En base a estas cifras, la demanda eléctrica total de la comuna de Valparaíso en 2016 sería cubierta con el 6,25% del potencial de producción fotovoltaica solar total, reduciendo en 220.818,149 [Ton CO2] al año.

Por lo tanto, este estudio comprueba que la comuna de Valparaíso tiene potencial de autonomía eléctrica de un cien por ciento, en base a los datos de demanda eléctrica del año 2016 y de 2017

## 2. Recomendaciones

### *Mejoras al curso de investigación*

A modo de perfeccionar el estudio realizado para determinar el potencial de autonomía eléctrica de la comuna de Valparaíso se recomienda lo siguiente:

- Considerar únicamente el área efectiva disponible en la comuna de Valparaíso para la instalación de proyectos fotovoltaicos. Esta corresponde a áreas de techumbre disponible en zonas urbanas y planicies en sectores periurbanos, todas las cuales reúnan características de asoleamiento adecuadas para la implementación de proyectos fotovoltaicos.

- En segundo lugar, se recomienda realizar una proyección de demanda eléctrica para la comuna, a modo de comprobar su autonomía de mediano a largo plazo.

- En tercer lugar, se recomienda incorporar la evaluación de agua caliente sanitaria mediante colectores solares. Recomendando magnitud de área de techumbre disponible para agua caliente y/o para sistemas fotovoltaicos.

Respecto al proceso de generación de datos, se recomienda:

- Realizar la instalación de estaciones de medición en un plazo no máximo de 7 días e iniciar de manera simultánea el registro de datos en todas las estaciones.

- Seleccionar proveedores de mayor confianza de estaciones de mediciones, considerando que existieron errores de medición significativos debido a errores de diseño del proveedor seleccionado para para esta investigación.

- Por último se recomienda realizar un estudio previo para la definición de sitios de medición, mejorando cobertura, generando datos para determinar condiciones de borde y para definir una distancia entre estaciones de medición que permita proveer una interpolación con un 95% de confiabilidad para mantener validez de información en vistas de la investigación y la academia.

### *Energía territorial: beneficio ambiental y social*

Con los resultados de este estudio, se comprueba que es posible reemplazar el 100% de la energía eléctrica convencional proveniente desde grandes proyectos eléctricos, por energías renovables fotovoltaicas de escala local. Así, es posible asegurar que la comuna de Valparaíso es capaz de alcanzar mayor nivel de autonomía e independencia de los grandes sistemas eléctricos, lo cual le permite acceder a energía eléctrica limpia y segura. Esto trae ventajas comparativas para el desarrollo urbano: en primer lugar, existe seguridad de abastecimiento eléctrico, independiente de fluctuaciones de precio o cortes de suministro; aumenta la autonomía cotidiana frente a grandes grupos económicos nacionales ligados a este sector; disminuye la huella de carbono en zonas exportadoras de energía que tienen altos impactos ambientales y a la salud; y contribuye un cambio de

paradigma del “habitar” en vistas de las urgencias que enfrentamos en relación al cambio climático.

La Agencia Internacional de la Energía afirma que “el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aún más importante, independiente de importaciones de combustibles fósiles. Aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costos de la mitigación del cambio climático y evitará el aumento excesivo de los precios de los combustibles fósiles. Estas ventajas son globales. De esta manera, los costos para el incentivo y desarrollo de las energías renovables deben ser considerados inversiones; y deben ser realizadas de forma correcta y ampliamente difundidas”.

La energía solar permite acceder a energía eléctrica segura, limpia e independizarse de las fluctuaciones de suministro y precios de la energía eléctrica convencional. Un ejemplo claro de esta fluctuación fue el experimentado en el año 2007 debido a las crisis del gas, el cual, considerando la fuerte dependencia nacional en la importación de combustibles fósiles, es una amenaza permanente.

Por lo tanto se recomienda expresamente evaluar la instalación de proyectos fotovoltaicos comunales que provean energía eléctrica territorial, limpia y estable a la comunidad y la industria.

### *Desarrollo urbano y bienestar social*

La sustentabilidad de las ciudades a nivel energético, hídrico y alimentario se hace relevante al momento de aspirar al bienestar social. Por lo tanto, es necesario potenciar proyectos territoriales para lograr ciudades autónomas, armónicas con el medio ambiente, inteligentes en el uso de sus recursos y menos abusivas de otros territorios, como sucede con los grandes proyectos de uso intensivo de recursos naturales en zonas de sacrificio social y ambiental en Chile.

El desarrollo urbano incide inevitablemente en un aumento de la energía eléctrica, tanto a nivel domiciliario como industrial. Es así como, en base a los resultados de este estudio, se recomienda fuertemente a habitantes, sector privado y también sector público, considerar la implementación de proyectos fotovoltaicos para el autoabastecimiento de energía eléctrica comunal. Estos se deben considerar bajo diferentes enfoques de acuerdo al segmento de evaluación.

En el caso de sector residencial, la implementación de tecnología fotovoltaica se traduce en una inversión en un bien de patrimonio personal o familiar. Este tiene un retorno de inversión de 10 años aproximadamente para una tecnología con una vida útil mínima de

20 años. Así, luego de 10 años, la energía eléctrica consumida tendrá un costo cero y un retorno de un 100% de la inversión. Cuando se trata de proyectos fotovoltaicos acogidos a la ley de Netbilling, se recomienda concentrar las labores domésticas que demandan energía eléctrica en el horario solar diurno. Esto debido a que la ley beneficia a la empresa eléctrica por sobre el consumidor, ya que permite que esta pague al generador domiciliario solo el 50% del valor real de mercado por cada KWh producido. Es así como, el mayor ahorro económico se alcanza cuando existe un consumo eléctrico directo desde el sistema fotovoltaico al hogar, evitando pasar por el sistema de distribución eléctrica de la compañía.

En el caso de sector industrial, se recomienda la evaluación de proyectos eléctricos fotovoltaicos acogidos al Netbilling, concentrando la mayor cantidad de sus funciones que demandan energía en horario solar diurno. En el caso de actores industriales la compañía eléctrica compra hasta un 80% del valor de mercado del KWh producido. Por lo cual el retorno de inversión tiene mejor evaluación e incide positivamente sobre los costos de producción.

En el caso del sector público, se recomienda fuertemente a la municipalidad evaluar la implementación de proyectos comunales fotovoltaicos bajo contratos PPA o de inyección al mercado spot. Estos deberían evaluarse económicamente como alternativa viable para lograr ingresos financieros adicionales a la comuna, a la vez de proveer energía local y generar empleo en la comuna. Es así como la implementación de proyectos fotovoltaicos como alternativa viable de negocio local debe ser evaluada, considerando la escasez actual de proyectos económicamente viables que permitan subsanar deudas y generar holguras financieras al municipio. La municipalidad de Valparaíso carece de proyectos de vanguardia que permitan mejorar sus condiciones económicas, la cual ha centrado sus esfuerzos en estrategias poco creativas, acudiendo a su vez a la venta de patrimonio local a privados o al gobierno central, lo cual solo la empobrece y dificulta un escenario de favorable para el desarrollo económico, social o ambiental.

### *Autonomía energética*

Por medio del análisis anterior fue posible demostrar que la comuna de Valparaíso tiene la capacidad de ser autónoma y autosuficiente en términos de producción de energía eléctrica, incluso considerando que la única fuente renovable evaluada corresponde a la solar, aun cuando existe múltiples alternativas como la eólica, biogás y marina solo por mencionar algunas.

Hoy existe consenso en cuanto a que los impactos ambientales provenientes del sector eléctrico deben ser más controlados. Además del perjuicio a la salud y del conflicto ético que implica generar daños directos a la naturaleza, existe también un potencial perjuicio

económico debido a su impacto local sobre la salud y el medio ambiente, así como para la reparación de los efectos globales sobre el cambio climático.

Valparaíso tiene la capacidad de convertirse en una comuna a la vanguardia de las ciudades sustentables, la cual debe aprovechar su condición de visibilidad al mundo exterior para conseguir recursos que permitan subsidiar los costes de implementación de estos proyectos de amplio beneficio social y ambiental local.

## Reflexión general

En las ciudades actuales, la energía se ha transformado en un bien indispensable para la vida, donde cada actividad, económica o cultural, depende la gran mayoría de las veces de este recurso.

En el caso de zonas rurales, el acceso a energía eléctrica es sinónimo de iluminación artificial para prolongar la actividad humana diaria, permitiendo incorporar tecnologías que facilitan tareas cotidianas. En estos casos, probablemente el mayor beneficio de la energía eléctrica es facilitar acceso a las comunicaciones.

Mucho se puede debatir en cuanto a los beneficios o perjuicios del uso de la energía eléctrica en la historia de la humanidad. A nivel social local en Chile, esta ha cobrado un significado importante en términos de equidad, seguridad y de integración de zonas rurales o urbanas aisladas. De manera antagónica, la energía eléctrica también ha jugado un rol importante en el desarrollo económico de los países, los cuales tradicionalmente han generado grandes urbes de escalas humanas insostenibles, los cuales demandan más recursos naturales de los que son capaces de proveer dentro de sus propios territorios. Algunos resultados visibles de esto son las tendencias a la sobre-industrialización y el desarrollo de zonas de sacrificio ambiental y social. Así mismo ha sido causante (y medio) de grandes conflictos bélicos en la historia de la humanidad en la carrera del aumento en la brecha del poder económico global.

En relación a las zonas urbanas, en la actualidad existe un cuestionamiento respecto a nuestro modelo de desarrollo y el uso eficiente de nuestros recursos energéticos a nivel domiciliario e industrial. Con la creciente demanda de energía y el urgente problema del calentamiento global, el cual es causado en gran parte por el uso indiscriminado de combustibles fósiles para la generación eléctrica. Así, las energías renovables han tomado fuerza y han pasado a ser el centro de atención durante los últimos años. El uso de energías renovables a pequeña escala, así como la implementar la eficiencia energética como práctica en la vida cotidiana, a nivel domiciliario e industrial, permitiría disminuir la demanda de proyectos eléctricos de gran magnitud situados a lo largo del país, los que en

la gran mayoría de las ocasiones tienen enormes impactos hacia el medio ambiente y ciudades donde se emplazan

Así, no solo la fuente energética tiene un rol relevante en el desarrollo social. Un factor clave que incide significativamente sobre estos resultados tiene relación con la escala o magnitud de los proyectos. Proyectos pequeños, de escala local, muy posiblemente contribuyen al desarrollo social y reduzcan las consecuencias de los grandes proyectos eléctricos.

Hoy existen una gran gama de debates en torno a las energías renovables no convencionales. Estos pueden centrarse en aspectos medioambientales en base al cambio climático y la huella de carbono; económicos desde la perspectiva del desarrollo de la industria local; o sociales desde una visión de equidad de acceso a la energía. Incluso, se ha llegado a asumir que es de gran relevancia en "el combate por la pobreza, (ya que esta) pasa por una mayor actividad económica y esto no es posible sin fuentes de generación de energías seguras, sustentables y competitivas". Lo anterior mantiene una perspectiva de desarrollo de gran escala, donde tal vez la respuesta a un mayor bienestar social, económico y medioambiental no deviene del crecimiento económico, sino en la seguridad y el bienestar cotidiano.

## Referencias

AIE, Agencia Internacional de Energía, Key World Statistics 2018. [En línea]. [Consulta: diciembre 2018].

Algo huele bien en Dinamarca. Blog La Nación. Raúl Sohr. [En línea]. <http://blog.lanacion.cl/2012/04/18/algo-huele-bien-en-dinamarca/>. [Consulta: 30 diciembre 2013].

Así no podemos seguir, política, energía y medioambiente. Chile. Debate. Raúl Sohr. 2013.

Benchmarking of Biodiesel Fuel Standardization in East Asia Working Group (2010), 'Energy Situation in the World' in Goto, S., M. Oguma, and N. Chollacoop, EAS-ERIA Biodiesel Fuel Trade Handbook: 2010, Jakarta: ERIA, pp.6-15

Central Energía. Legislación eléctrica. [En línea]. < http://www.centralenergia.cl/regulacion/legislacion-electrica-chile/>. [Consulta: 18 mayo 2016].

Central Energía. Mercado eléctrico. [En línea]. < http://www.centralenergia.cl/biblioteca/glosario-mercado-electrico/>. [Consulta: 10 julio 2016]

CGE Distribución. Memoria Anual 2014. <http://www.cgedistribucion.cl/wp-content/uploads/descargables/informacion-financiera/memorias/Memoria%20Anual-2014.pdf> [Consulta: 10 julio 2016]

Chile a Ciegas. Impreso. Santiago. 2012. Raúl Sohr.

Chile Energía 2013. Santiago, Chile. Publicaciones Lo Castillo y SR Comunicaciones. 2013.

Comisión Federal de Electricidad. Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión del sector eléctrico. Edición 32. México. 2012.

Corporación de desarrollo tecnológico, Cámara Chile de la construcción. Documentos técnicos N°37. Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red. Santiago, Chile. 2013.

Diseño de Sistemas Fotovoltaicos. Perpiñán Lamigueiro, O. (2012). Ed Progensa. 160 pg. (ISBN 978-84-95693-72-3)

Endesa, Colbún y AES Gener concentraron el 82% de generación de mayo en el SIC. [En línea]. Estrategia. 11 de junio 2013. < http://www.estrategia.cl/detalle_noticia.php?cod=80728>. [Consulta: 31 diciembre 2013]

Endesa Educa. [En línea]. <http://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/produccion-de-electricidad/vii.-las-centrales-electricas>. [Consulta: 10 julio 2016]

Energy consumption and economic growth: A panel cointegration analysis for developing countries [En línea]. Dipa Adhikari, Yangying Chen. Review of Economics and Finance, School of economics, Dalian University of technology, China. Article ID: 1923-7529-2013-02-68-13 < http://www.bapress.ca/ref/v3-2/1923-7529-2013-02-68-13.pdf> [Consulta: 13 Enero 2015].

Enersis. [En línea]. <http://www.enersis.cl/es/conoceenersis/filiales/distribucion/Paginas/distribucionchile.aspx> [Consulta: 10 julio 2016]

Estrategia Nacional de Energía. Ministerio de Energía de Chile. [En línea]. <http://www.minenergia.cl/estrategia-nacional-de-energia-2012.html>. [Consulta: 13 enero 2015].

Integración horizontal de la energía eléctrica en Chile. Pontifica Católica de Valparaíso. [En línea]. <http://power.sitios.ing.uc.cl/mercados/distribucion/Horizontal_archivos/page0004.htm> [Consulta: 10 julio 2016]

IPCC, 2014, International Panel for Climate Change, ONU. [En línea]. [Consulta: 10 julio 2016]

Mercado electricidad. Distribución. Ministerio de energía de Chile. [En línea]. <http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/Electricidad/Mercado_electricidad/distribucion.html> [Consulta: 10 julio 2016]

Mercado electricidad. Tarificación. Ministerio de Energía. [En línea]. <http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/07_Tarificacion/01_Electricidad/>. [Consulta: 10 julio 2016]

Mercado electricidad. Transmisión. Ministerio de energía de Chile. [En línea]. <http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/03_Energias/Otros_Niveles/Electricidad/Mercado_electricidad/transmision.html> [Consulta: 10 julio 2016]

Recommendations for Chile's Marine Energy Strategy. Aquatera. Santiago, Chile. 2014.

Reporte mensual sector energético, volumen N°22. Comisión Nacional de Energía. Santiago, Chile. Diciembre 2016.

Saga, T. (2010). «Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production». NPG Asia Materials (en inglés) 2: 96-102

Solar Energy Perspectives: Executive Summary (PDF). International Energy Agency. 2011. Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2011.

Tecnología de concentración solar da primeros pasos en Chile. [En línea]. Revista electricidad. 4 de febrero de 2015. <http://www.revistaei.cl/informes-tecnicos/tecnologia-de-concentracion-solar-da-primeros-pasos-en-chile/>. [Consulta: 10 julio 2016]

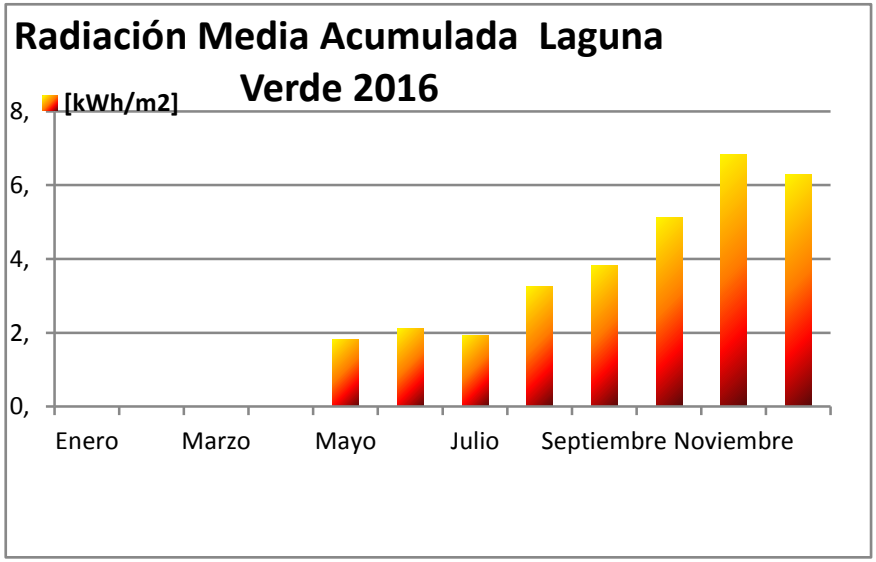
Tribunal de Libre Competencia. [En línea]. < http://www.tdlc.cl/tdlc/quienes-somos/>. [Consulta: 18 mayo 2016]

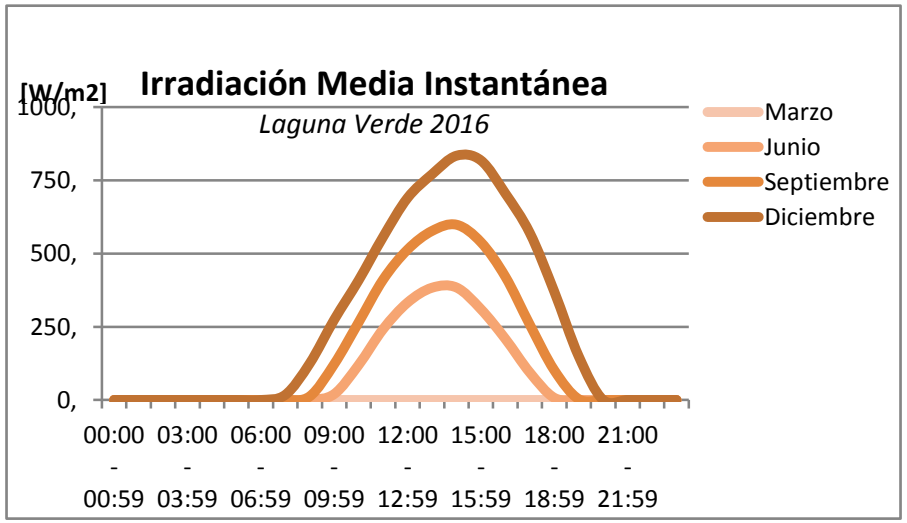
3TIER. Resource maps. [En línea]. < http://www.3tier.com/en/support/resource-maps/> [Consulta: 13 enero 2015]

## Anexo A: Tablas irradiación media día característico mensual y radiación media mensual

| Sector Laguna Verde | Estación P-10 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | - | - | - | - | 1,83 | 2,10 | 1,93 | 3,25 | 3,82 | 5,12 | 6,84 | 6,29 |
| [MJ/m2] | - | - | - | - | 6,57 | 7,57 | 6,95 | 11,70 | 13,77 | 18,42 | 24,63 | 22,65 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | - | - | - | - | 298,07 | 384,27 | 347,55 | 538,57 | 598,67 | 749,33 | 913,08 | 834,13 |
| Rad prom | - | - | - | - | 151,03 | 174,64 | 159,51 | 265,50 | 309,88 | 411,12 | 540,14 | 480,98 |

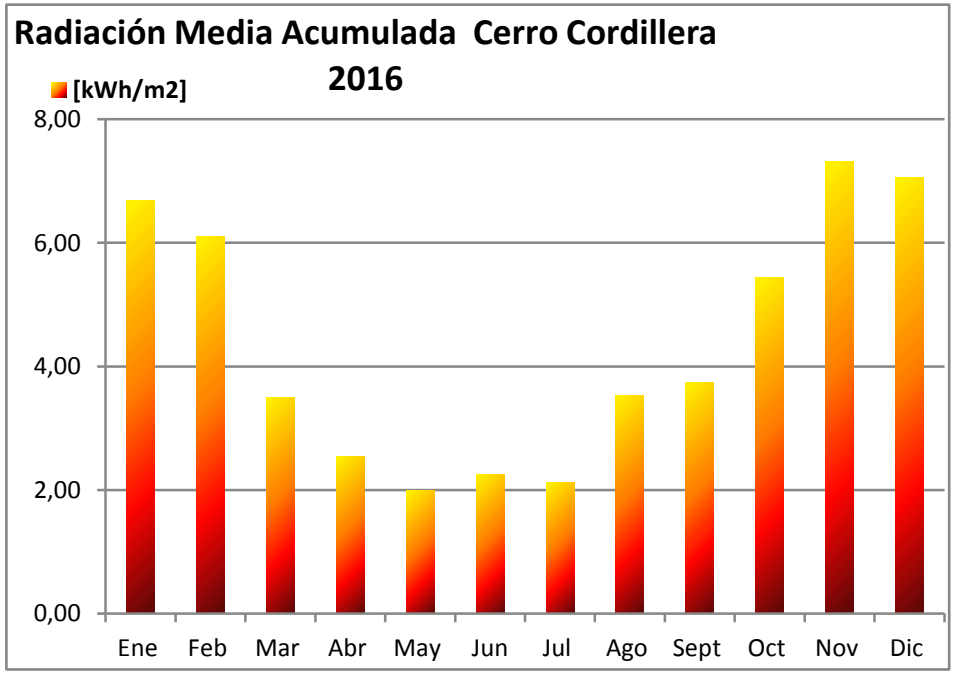


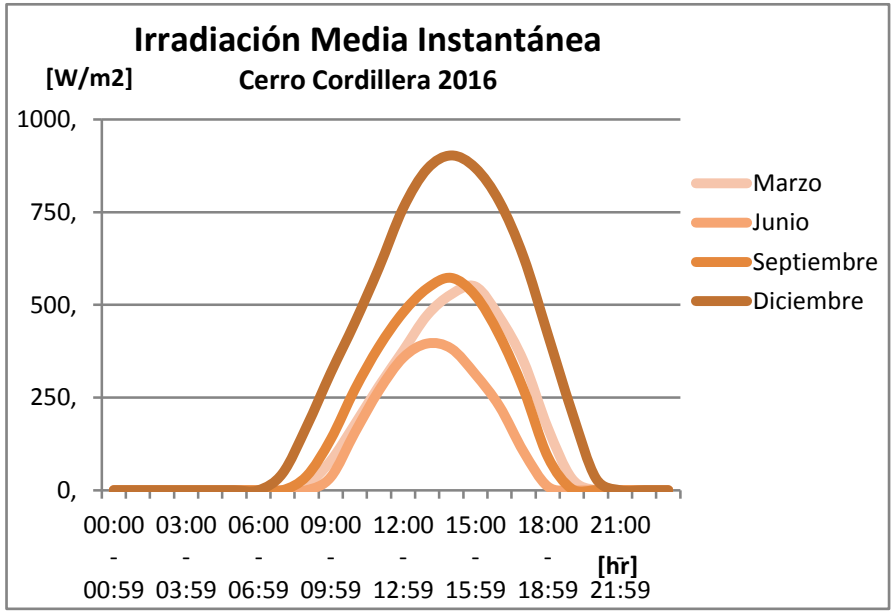



| Cerro Cordillera | Estación P-26 |
|---|---|

**Radiación Media Acumulada**

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,68 | 6,10 | 3,49 | 2,54 | 1,99 | 2,25 | 2,13 | 3,54 | 3,74 | 5,44 | 7,32 | 7,06 |
| [MJ/m2] | 24,06 | 21,95 | 12,58 | 9,15 | 7,15 | 8,09 | 7,66 | 12,73 | 13,46 | 19,57 | 26,34 | 25,40 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 893,72 | 824,49 | 549,32 | 394,40 | 320,93 | 395,64 | 346,56 | 554,31 | 572,66 | 738,12 | 939,95 | 902,85 |
| Rad prom | 508,91 | 467,30 | 274,43 | 206,90 | 164,45 | 186,44 | 172,17 | 287,66 | 303,75 | 434,18 | 571,21 | 532,55 |

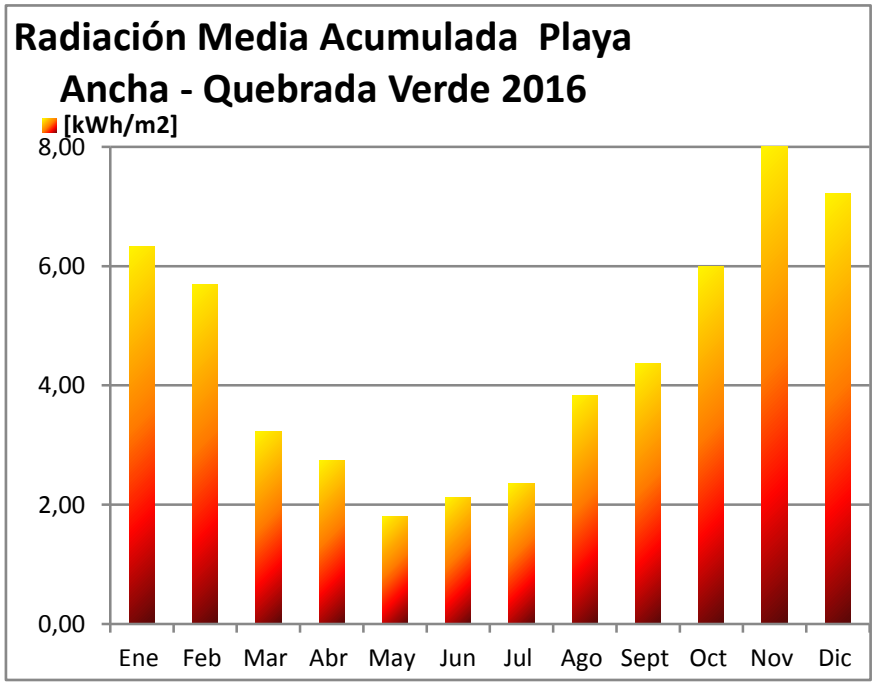


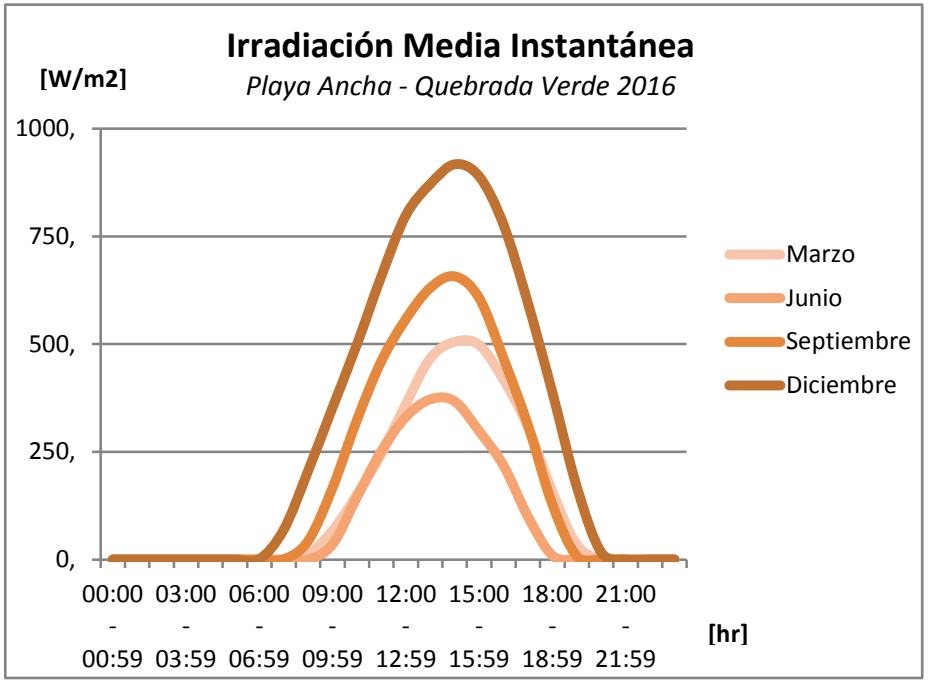



| Playa Ancha *(Quebrada Verde)* | Estación P-29 |
|---|---|

**Radiación Media Acumulada**

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,33 | 5,70 | 3,23 | 2,75 | 1,80 | 2,13 | 2,35 | 3,82 | 4,36 | 6,00 | 8,01 | 7,21 |
| [MJ/m2] | 22,79 | 20,50 | 11,61 | 9,88 | 6,49 | 7,66 | 8,48 | 13,76 | 15,71 | 21,60 | 28,83 | 25,96 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 836,39 | 791,28 | 505,48 | 427,72 | 287,41 | 371,79 | 407,25 | 604,71 | 657,31 | 842,41 | 1024,50 | 917,34 |
| Rad prom | 480,86 | 433,32 | 252,71 | 223,53 | 149,30 | 176,53 | 194,50 | 312,30 | 352,29 | 481,47 | 631,09 | 553,04 |

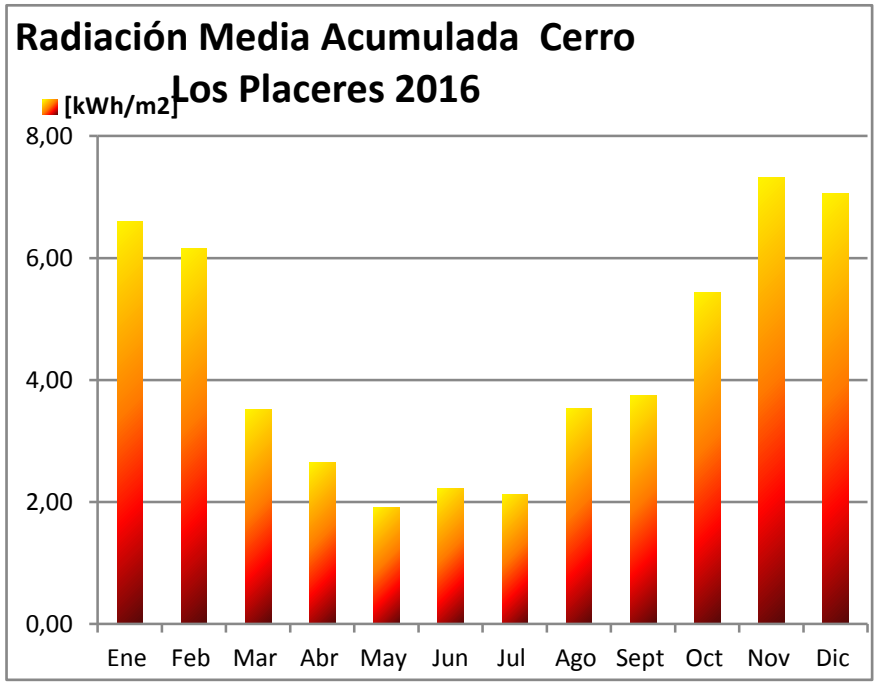


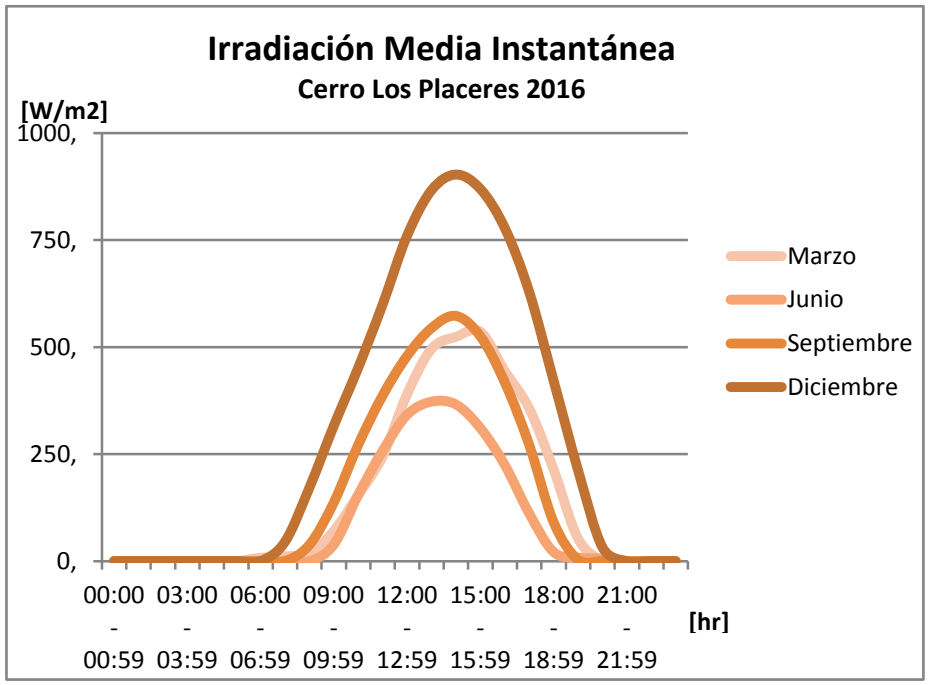



| Cerro Los Placeres | Estación P-28 |
|---|---|

**Radiación Media Acumulada**

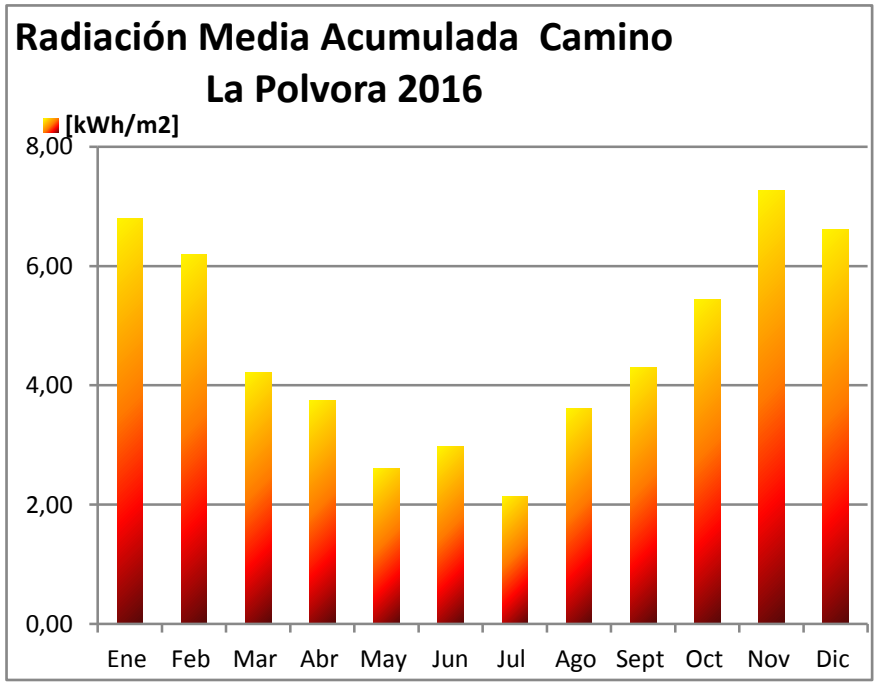
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,59 | 6,16 | 3,52 | 2,64 | 1,91 | 2,21 | 2,13 | 3,54 | 3,74 | 5,44 | 7,32 | 7,06 |
| [MJ/m2] | 23,73 | 22,18 | 12,68 | 9,52 | 6,88 | 7,97 | 7,66 | 12,73 | 13,46 | 19,57 | 26,34 | 25,40 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 836,09 | 845,92 | 535,85 | 412,16 | 314,15 | 372,48 | 346,56 | 554,31 | 572,66 | 738,12 | 939,95 | 902,85 |
| Rad prom | 493,04 | 464,20 | 271,17 | 215,49 | 157,87 | 181,58 | 172,17 | 287,66 | 303,75 | 434,18 | 571,21 | 532,55 |

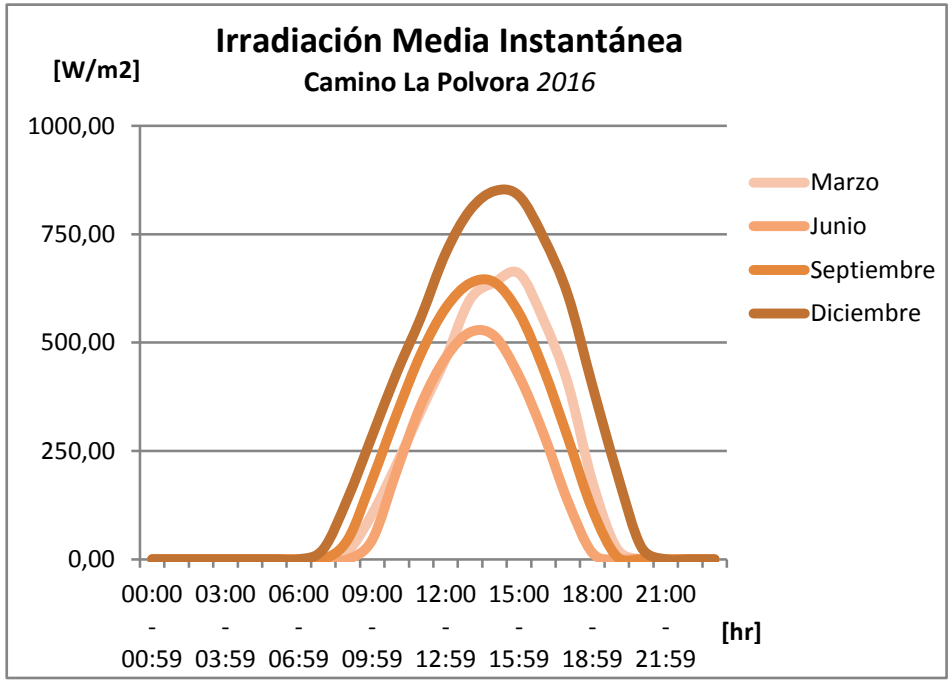


| Camino La Pólvora | Estación P-30 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

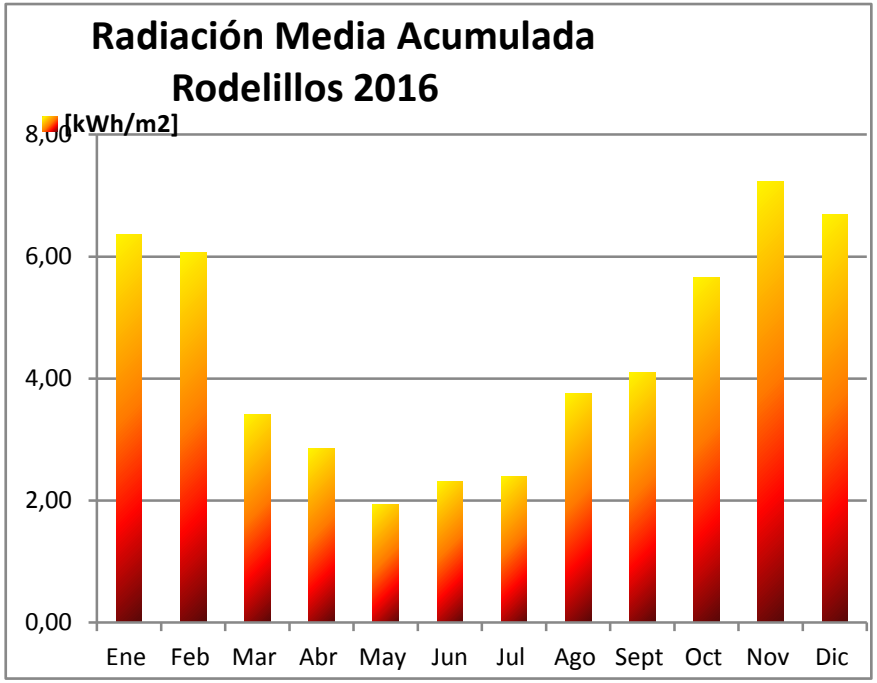
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,80 | 6,19 | 4,21 | 3,75 | 2,61 | 2,97 | 2,14 | 3,61 | 4,31 | 5,45 | 7,27 | 6,62 |
| [MJ/m2] | 24,47 | 22,29 | 15,16 | 13,51 | 9,40 | 10,70 | 7,72 | 13,00 | 15,50 | 19,60 | 26,17 | 23,84 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 885,93 | 848,04 | 659,51 | 595,80 | 430,61 | 523,79 | 365,40 | 582,89 | 639,00 | 776,82 | 945,02 | 849,58 |
| Rad prom | 24,47 | 22,29 | 333,83 | 305,43 | 216,44 | 246,39 | 176,46 | 294,85 | 348,73 | 437,54 | 570,51 | 499,20 |

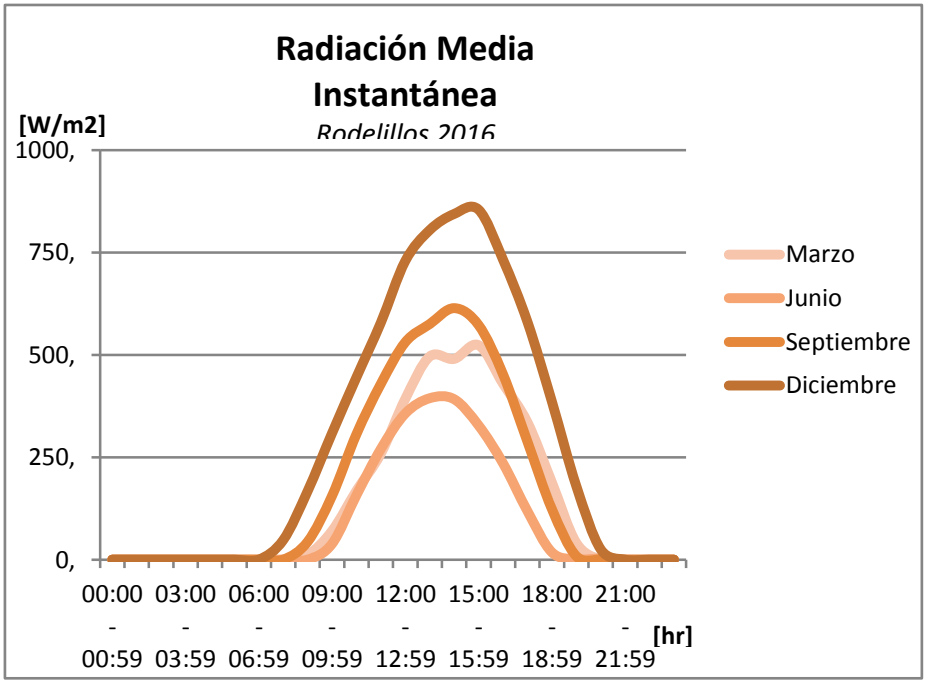


| Rodelillos | Estación P-31 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

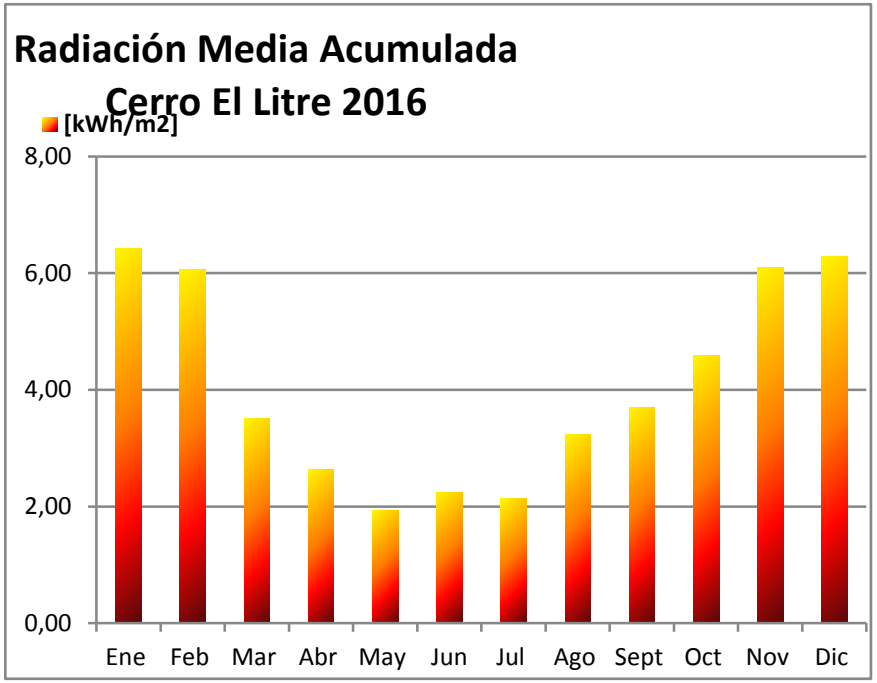
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,36 | 6,06 | 3,41 | 2,86 | 1,94 | 2,31 | 2,40 | 3,76 | 4,10 | 5,66 | 7,22 | 6,69 |
| [MJ/m2] | 22,89 | 21,82 | 12,27 | 10,30 | 6,99 | 8,33 | 8,65 | 13,52 | 14,77 | 20,38 | 26,01 | 24,07 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 823,93 | 834,56 | 523,67 | 448,46 | 305,20 | 394,19 | 407,33 | 583,80 | 614,13 | 771,89 | 933,03 | 854,67 |
| Rad prom | 484,23 | 459,55 | 264,75 | 232,61 | 157,67 | 190,94 | 198,20 | 305,20 | 330,80 | 452,19 | 566,13 | 507,89 |

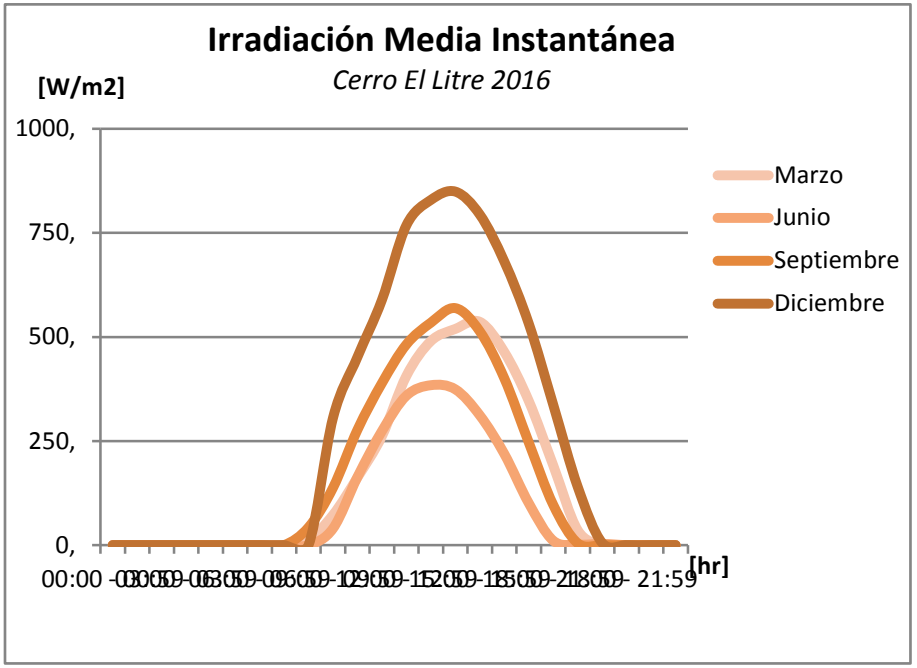


| Cerro El Litre | Estación P-32 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

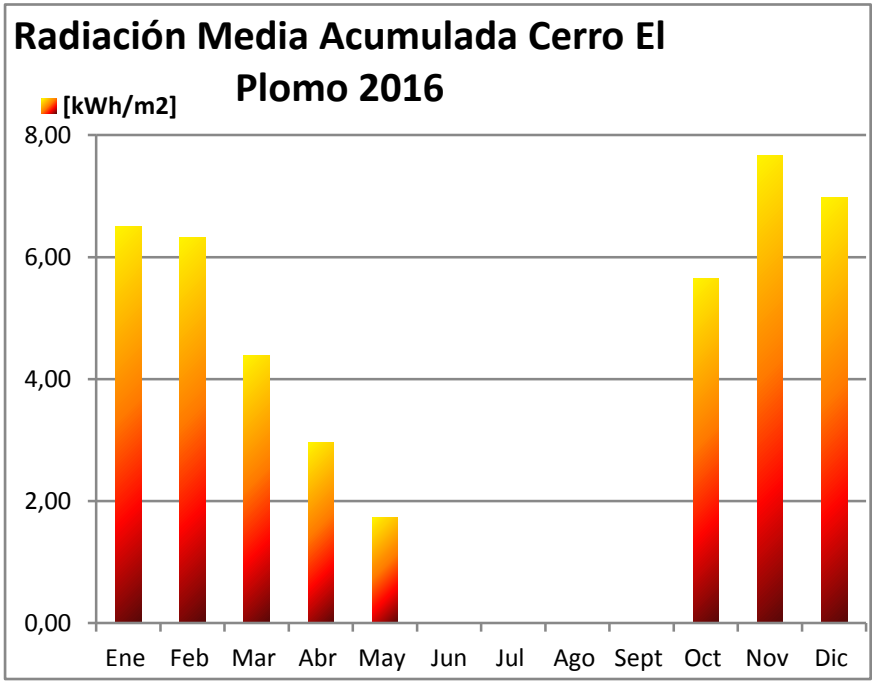
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,42 | 6,05 | 3,50 | 2,62 | 1,93 | 2,24 | 2,13 | 3,23 | 3,69 | 4,58 | 6,08 | 6,28 |
| [MJ/m2] | 23,13 | 21,78 | 12,60 | 9,45 | 6,93 | 8,07 | 7,65 | 11,62 | 13,30 | 16,48 | 21,90 | 22,62 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 843,28 | 834,66 | 536,39 | 407,36 | 304,86 | 384,18 | 327,10 | 508,70 | 569,35 | 631,18 | 800,25 | 849,25 |
| Rad prom | 488,25 | 464,15 | 272,80 | 213,19 | 159,53 | 185,57 | 166,50 | 263,47 | 299,47 | 371,11 | 477,55 | 483,42 |

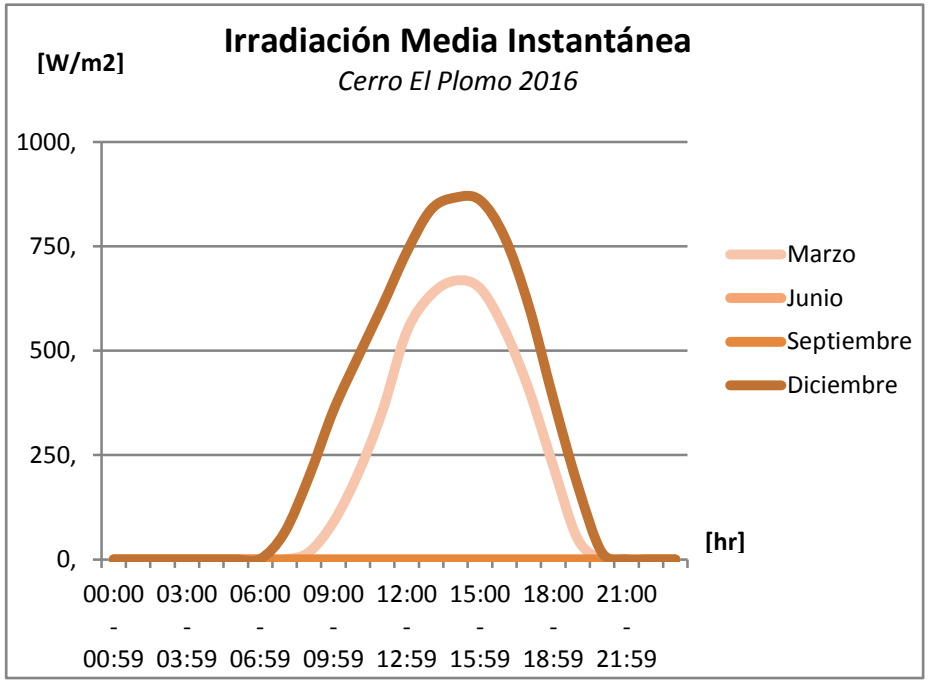


| Cerro El Plomo | Estación P-33 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

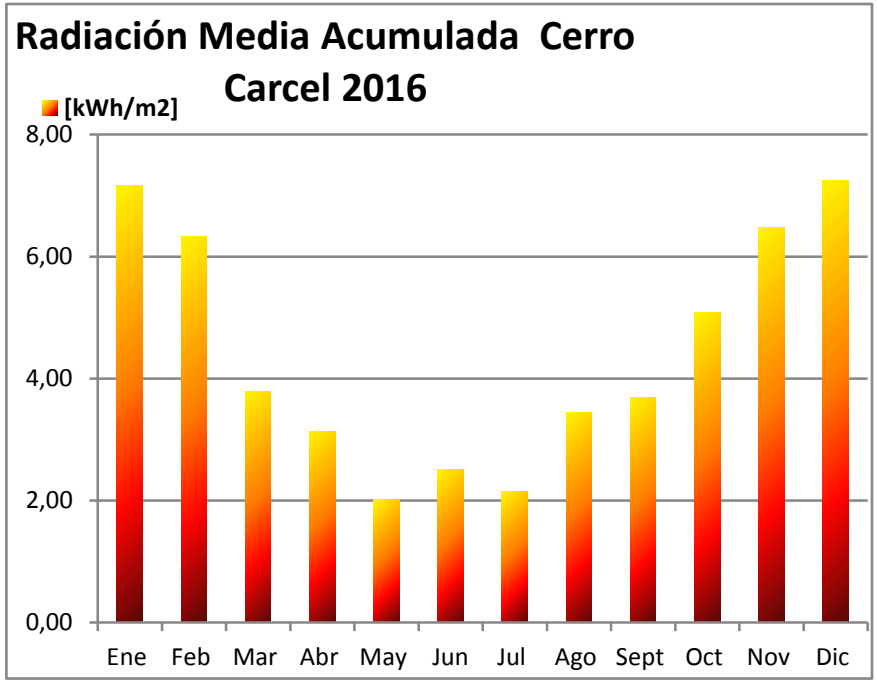
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 6,50 | 6,33 | 4,39 | 2,96 | 1,73 | - | - | - | - | 5,66 | 7,66 | 6,97 |
| [MJ/m2] | 23,38 | 22,79 | 15,82 | 10,66 | 6,21 | - | - | - | - | 20,36 | 27,59 | 25,10 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 845,21 | 844,02 | 668,00 | 469,27 | 267,70 | - | - | - | - | 752,21 | 978,53 | 866,92 |
| Rad prom | 488,48 | 482,98 | 343,49 | 240,69 | 140,53 | - | - | - | - | 448,65 | 602,69 | 532,77 |

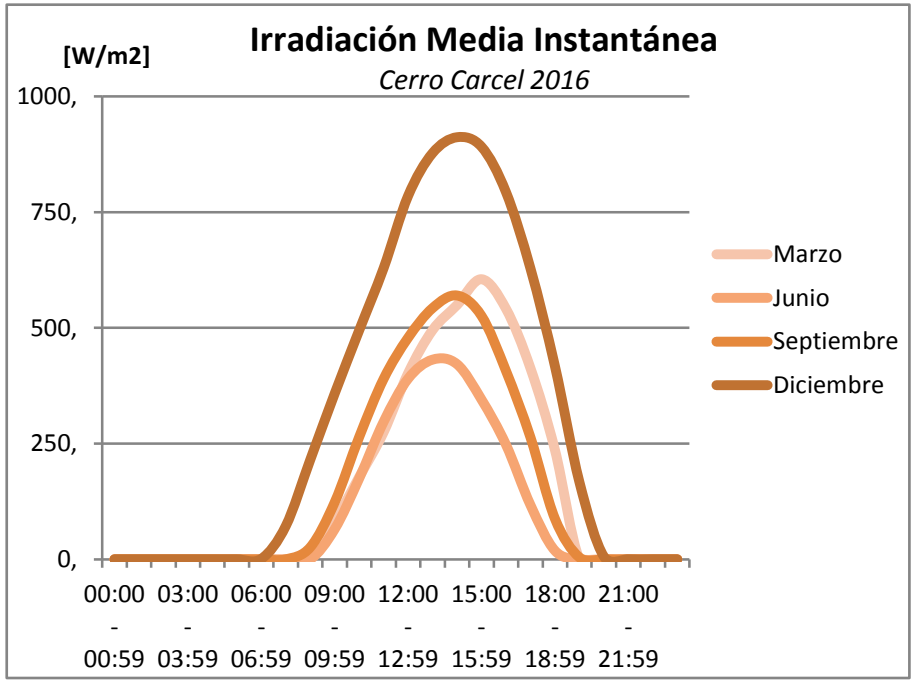


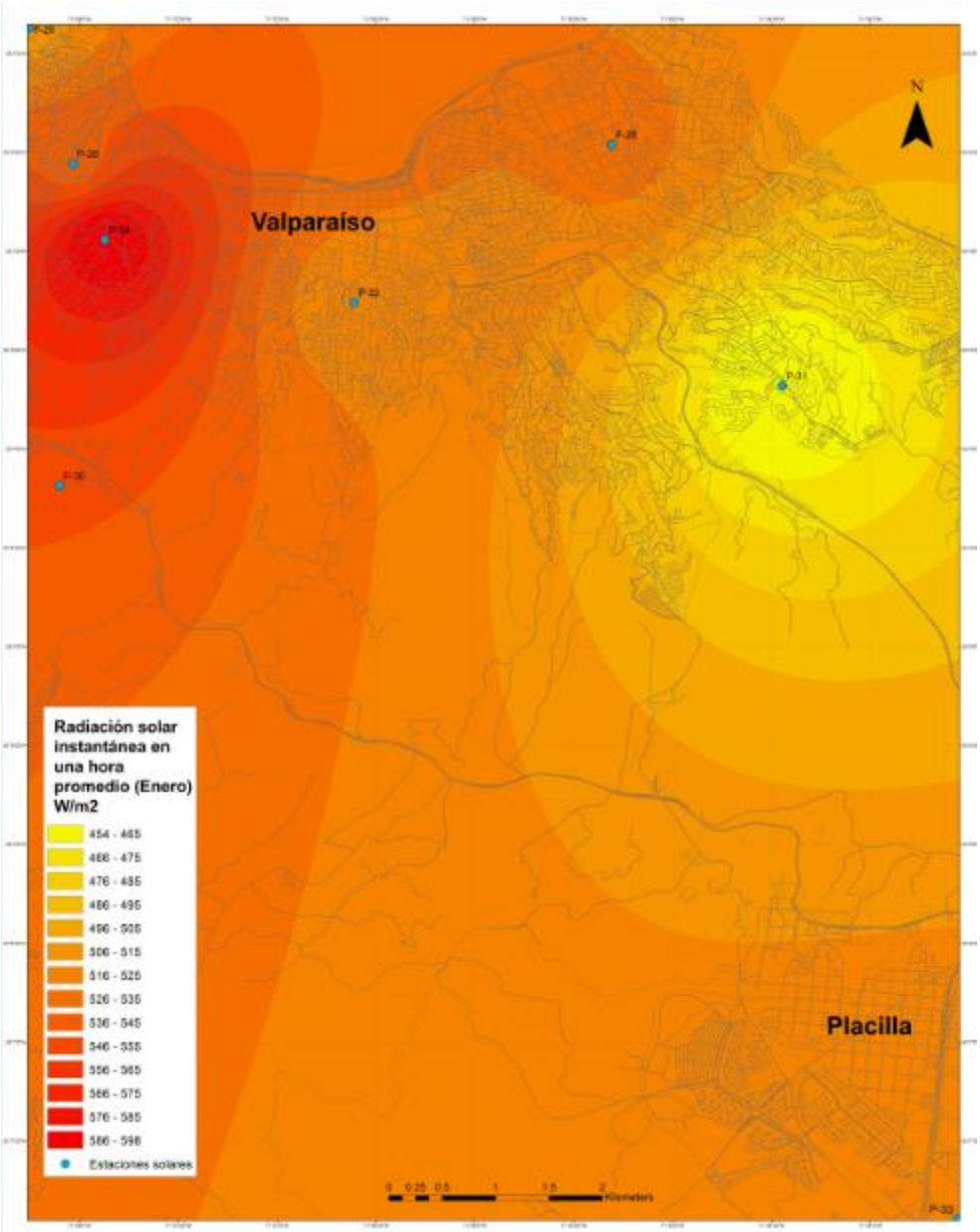
| Cerro Cárcel | Estación P-34 |
|---|---|
| Radiación Media Acumulada | |

| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| [KWh/m2] | 7,17 | 6,33 | 3,79 | 3,14 | 2,01 | 2,51 | 2,15 | 3,45 | 3,68 | 5,08 | 6,48 | 7,25 |
| [MJ/m2] | 25,82 | 22,80 | 13,65 | 11,30 | 7,24 | 9,03 | 7,75 | 12,41 | 13,26 | 18,30 | 23,33 | 26,10 |
| [W/m2] | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sept | Oct | Nov | Dic |
| Rad máx. | 944,89 | 876,15 | 605,18 | 477,26 | 310,86 | 431,41 | 366,03 | 546,72 | 570,01 | 721,62 | 873,22 | 911,96 |
| Rad prom | 561,87 | 494,57 | 296,36 | 254,32 | 165,06 | 207,56 | 176,96 | 281,98 | 299,30 | 18,30 | 521,52 | 554,85 |

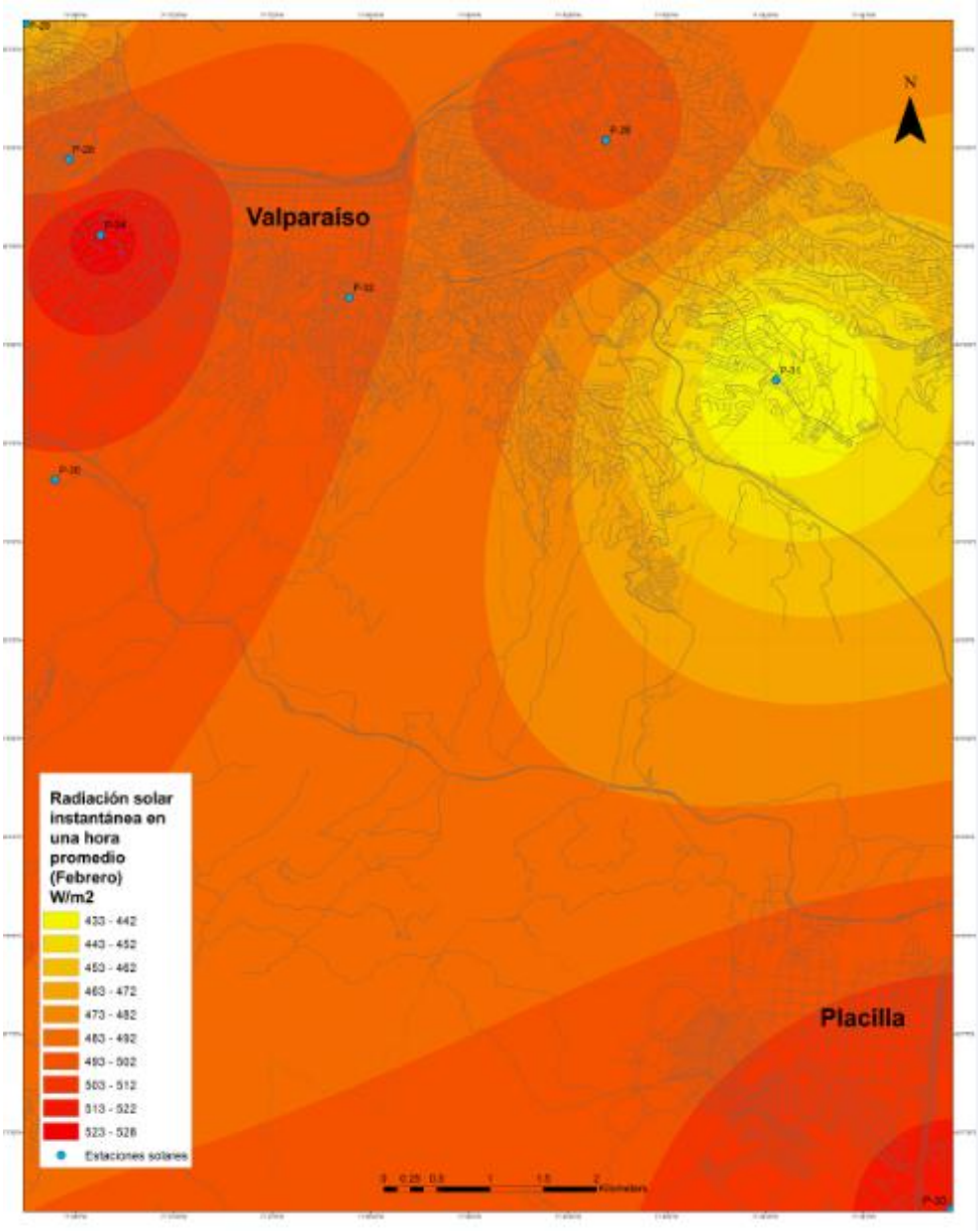


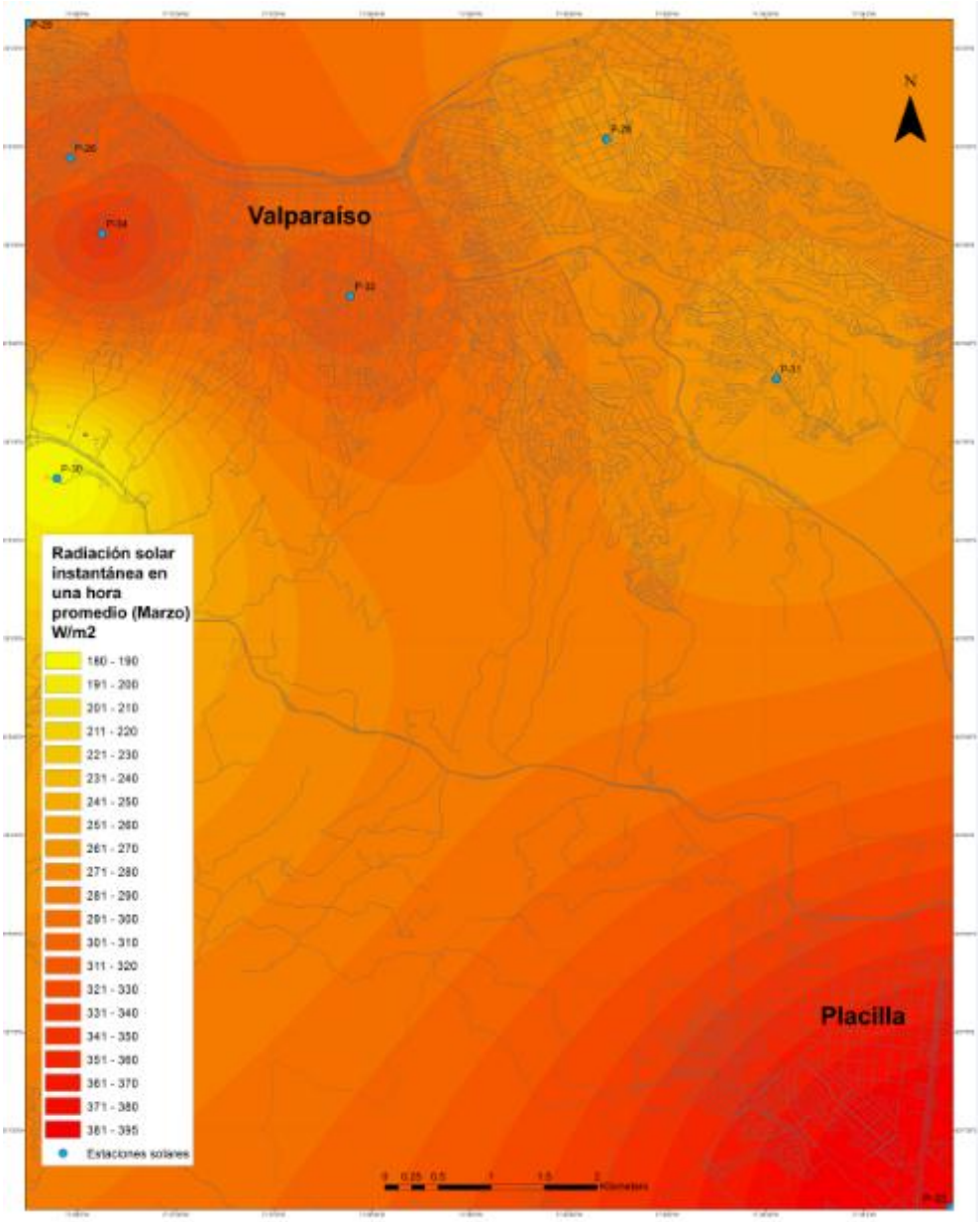
## Anexo B - Mapas de irradiancia promedio para un día característico de cada mes en el periodo enero a diciembre 2016



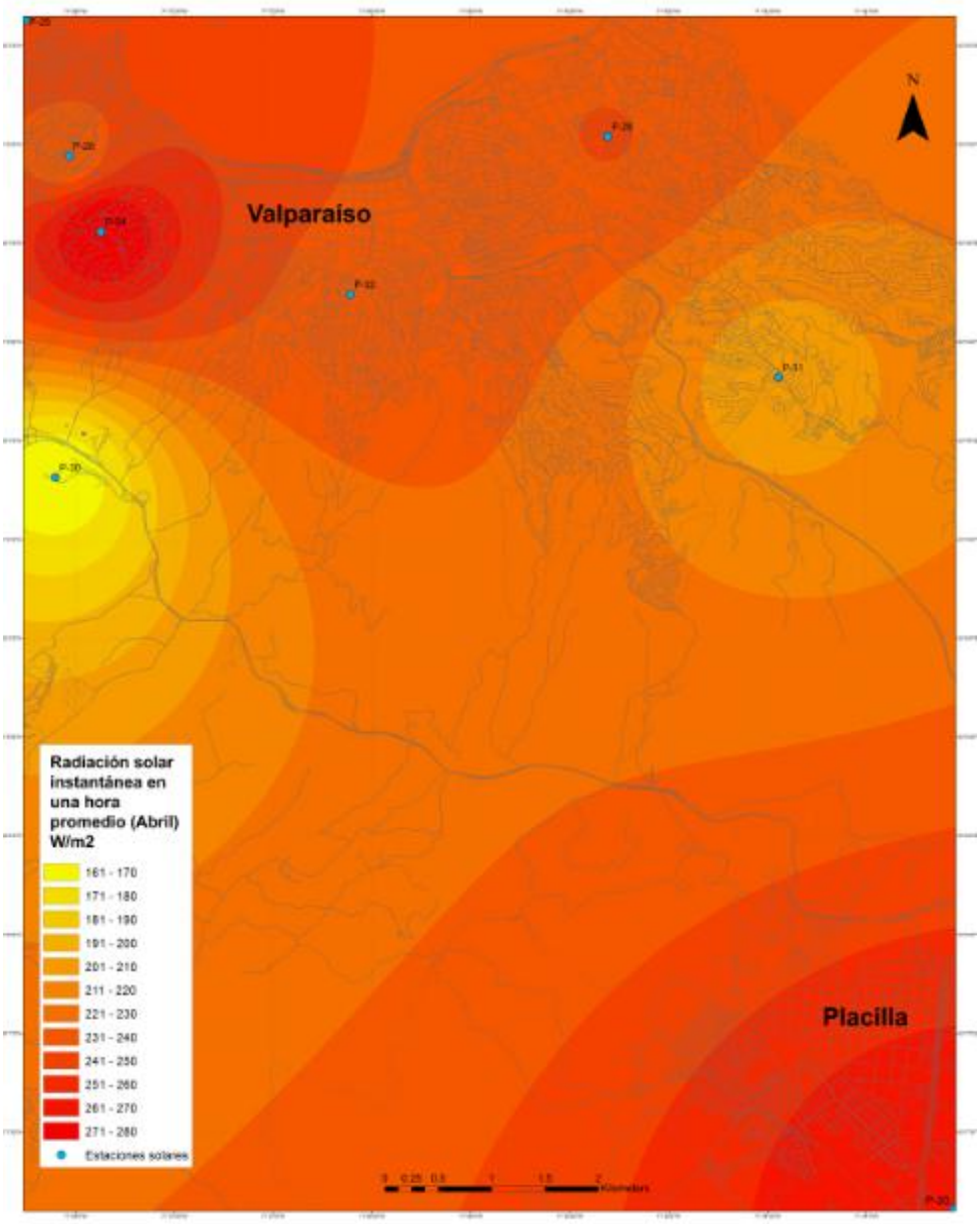

**Radiación promedio para un día característico de Enero 2016**



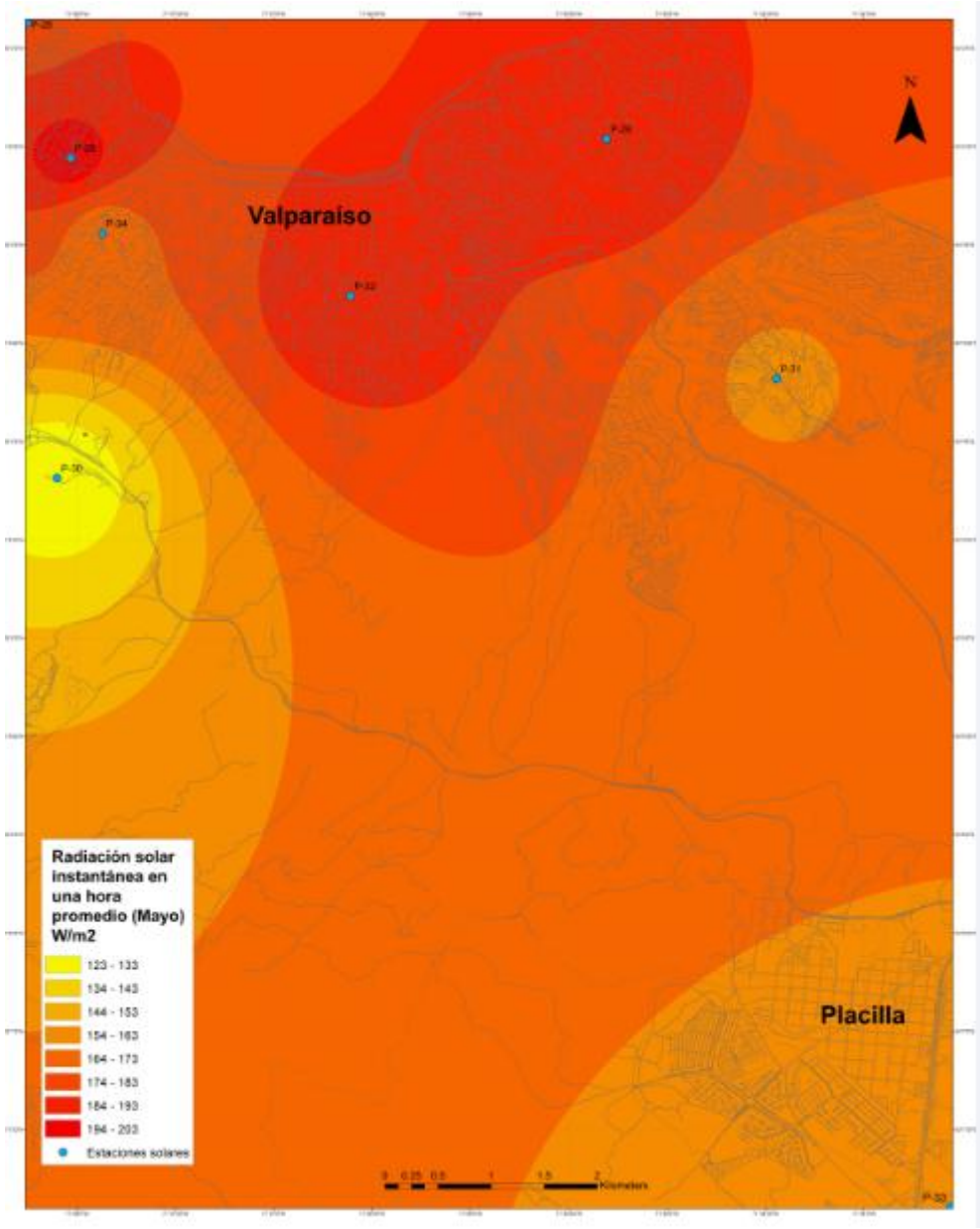

**Radiación promedio para un día característico de Febrero 2016.**



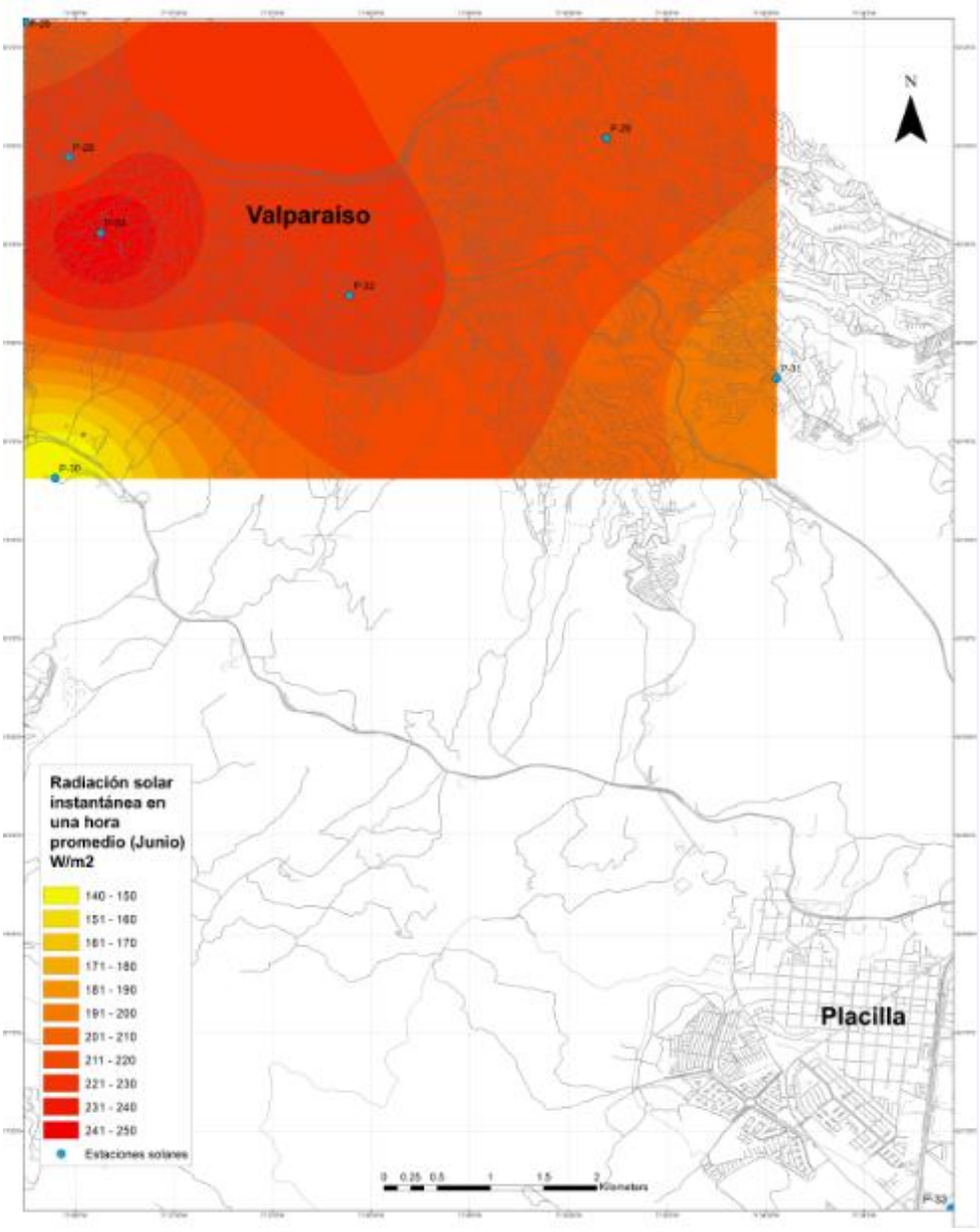

**Radiación promedio para un día característico de Marzo 2016**



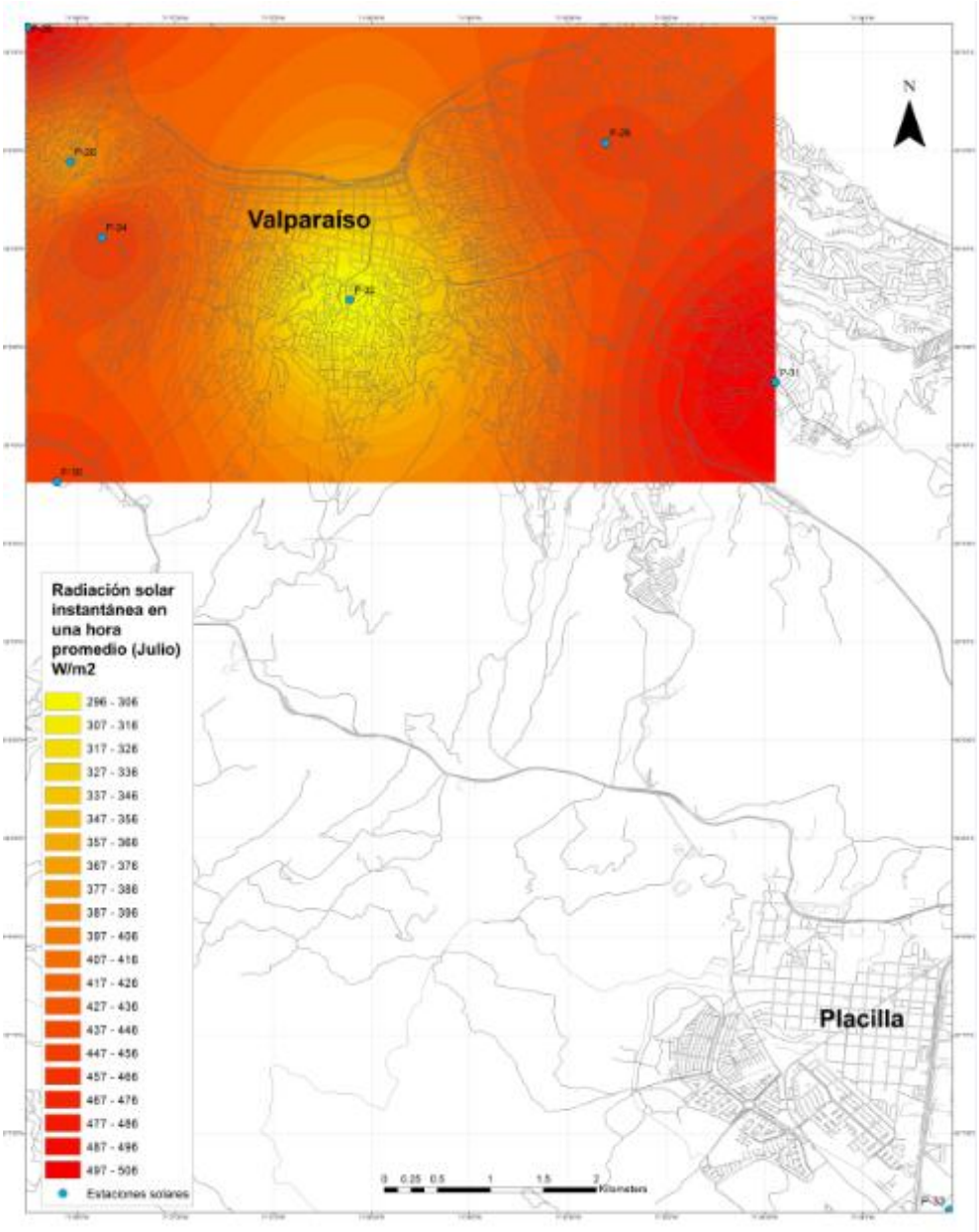

**Radiación promedio para un día característico de Abril 2016.**



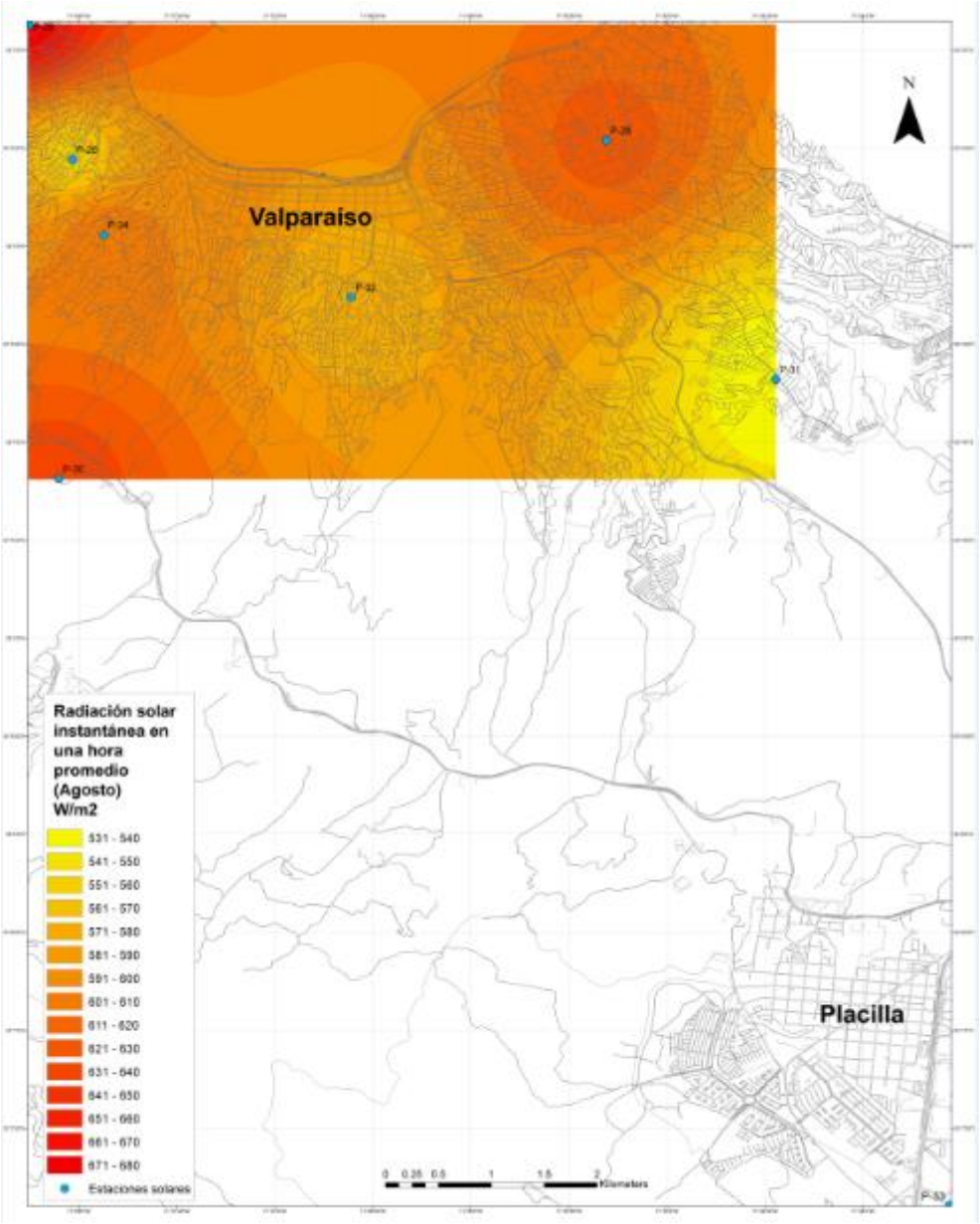

**Radiación promedio para un día característico de Mayo.**



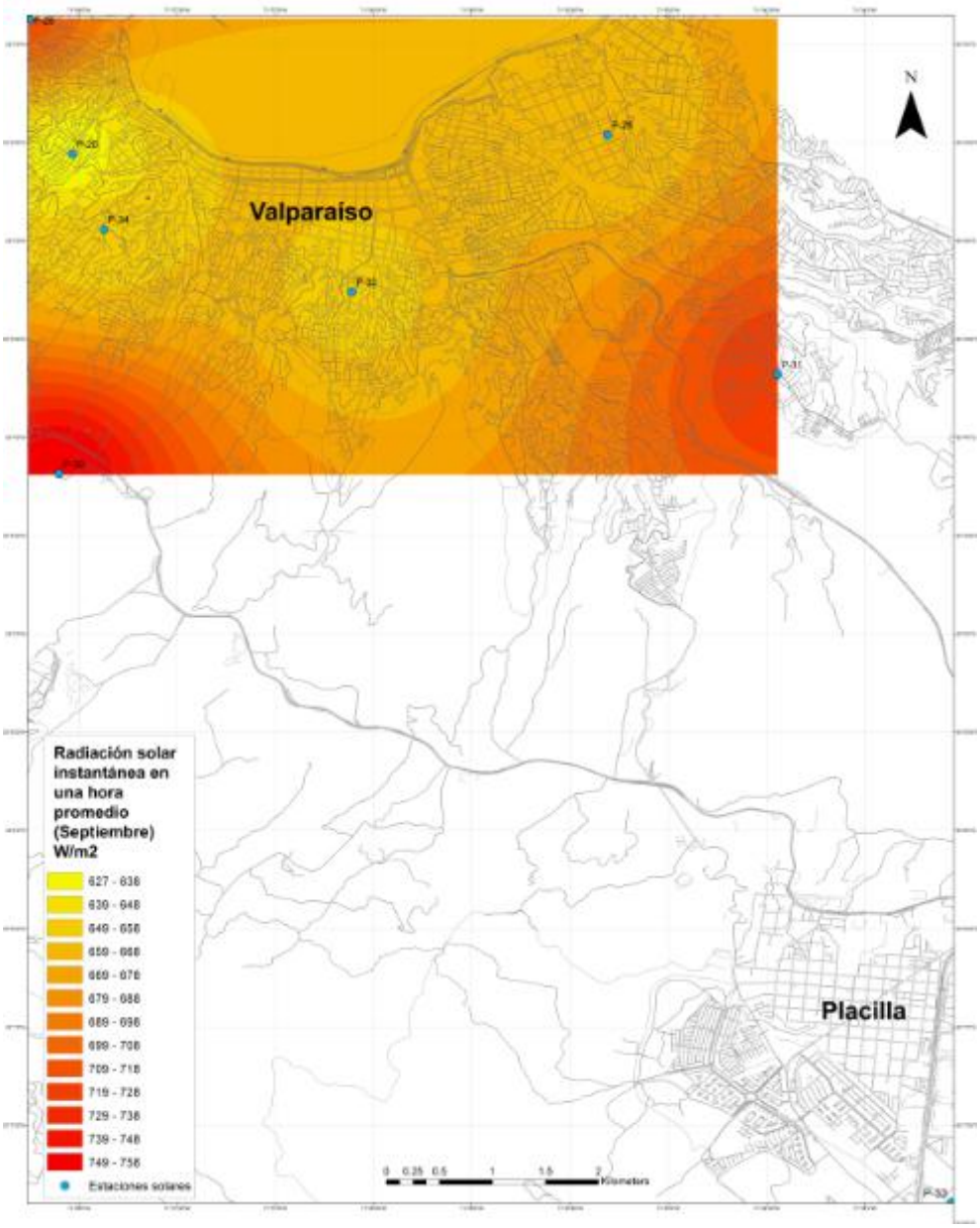

**Radiación promedio para un día característico de Junio 2016 excluyendo estaciones marginadas por error de datos**



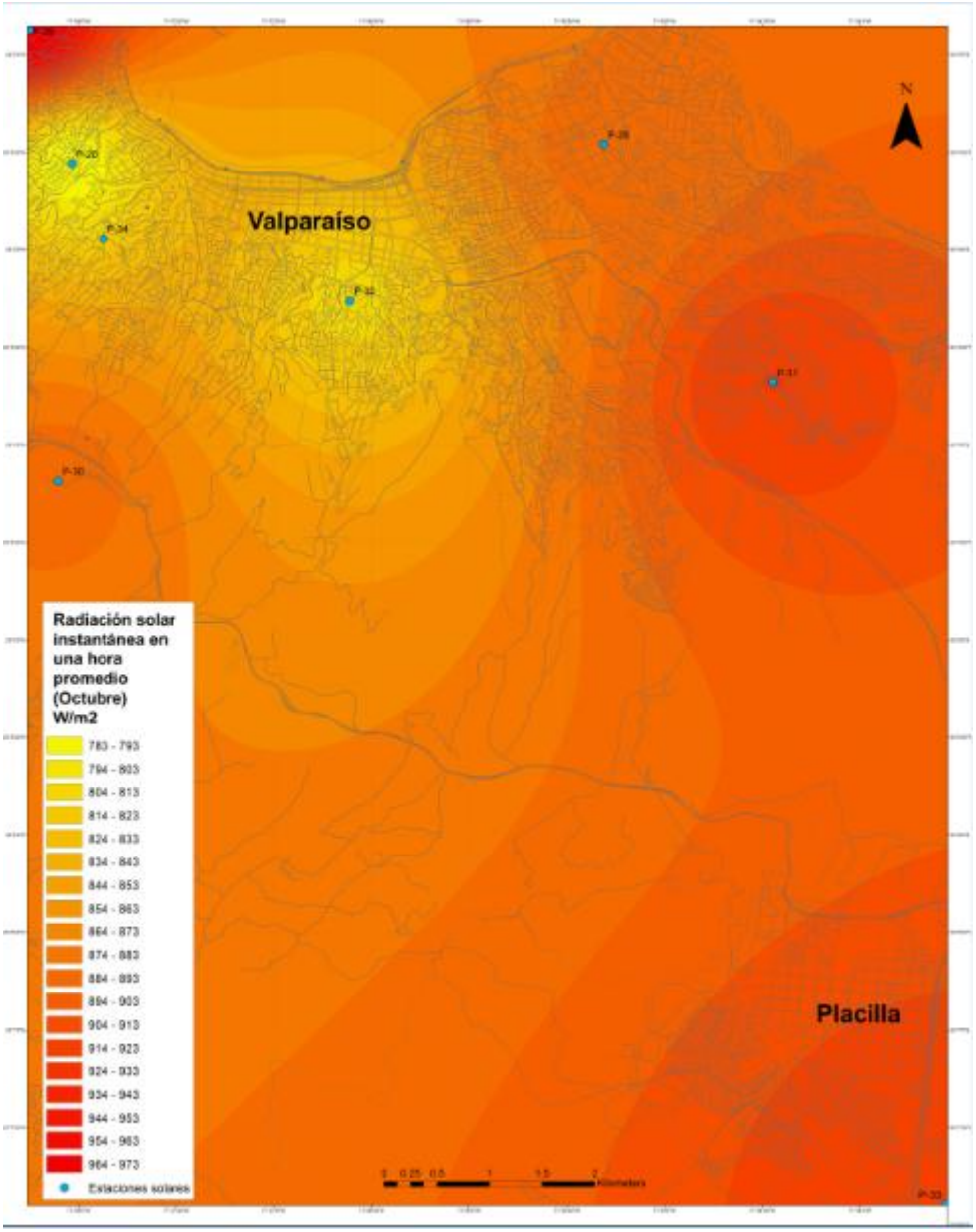

**Radiación promedio para un día característico de Julio 2016 excluyendo estaciones marginadas por error de datos.**



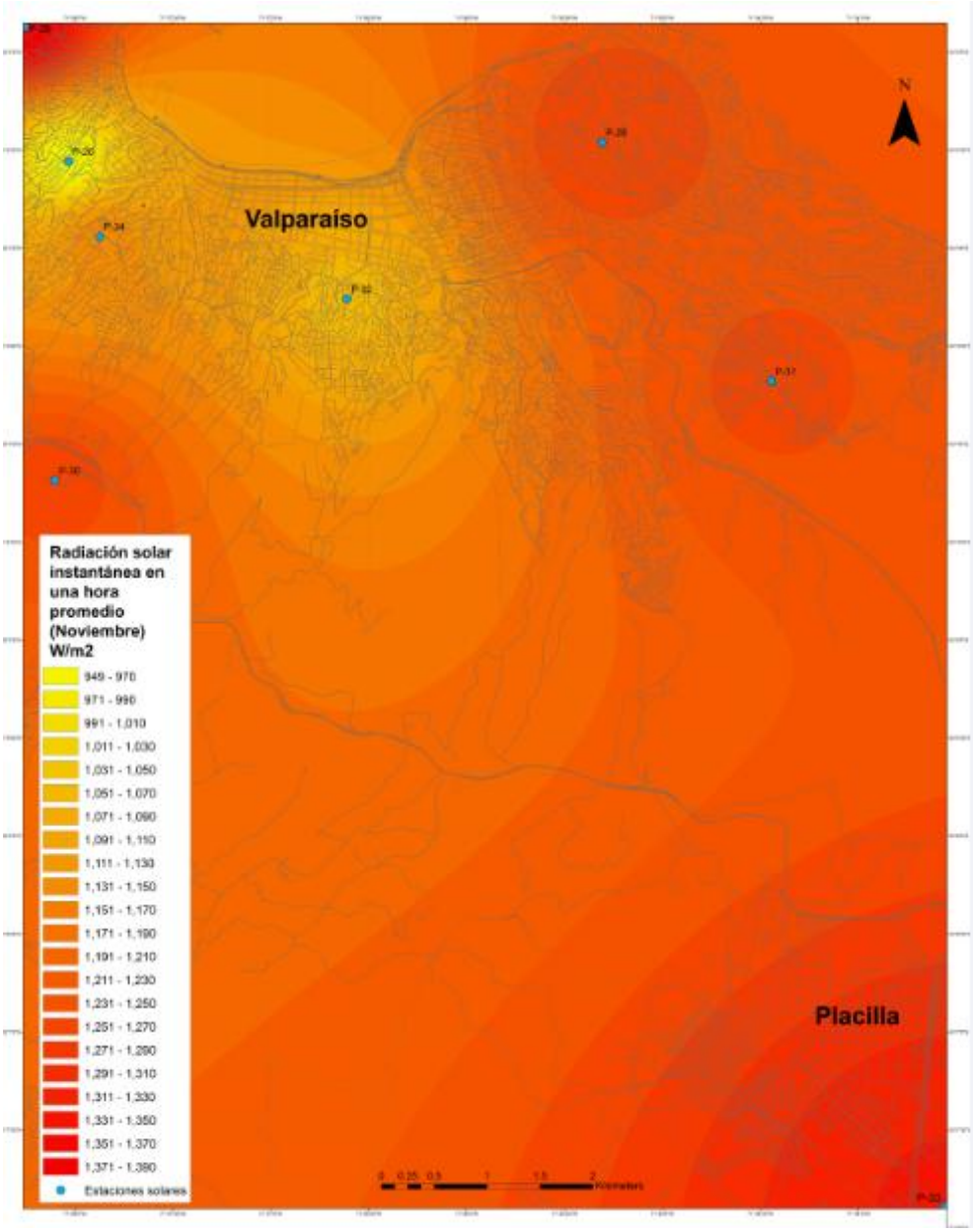

**Radiación promedio para un día característico de Agosto 2016 excluyendo estaciones marginadas por error de datos**



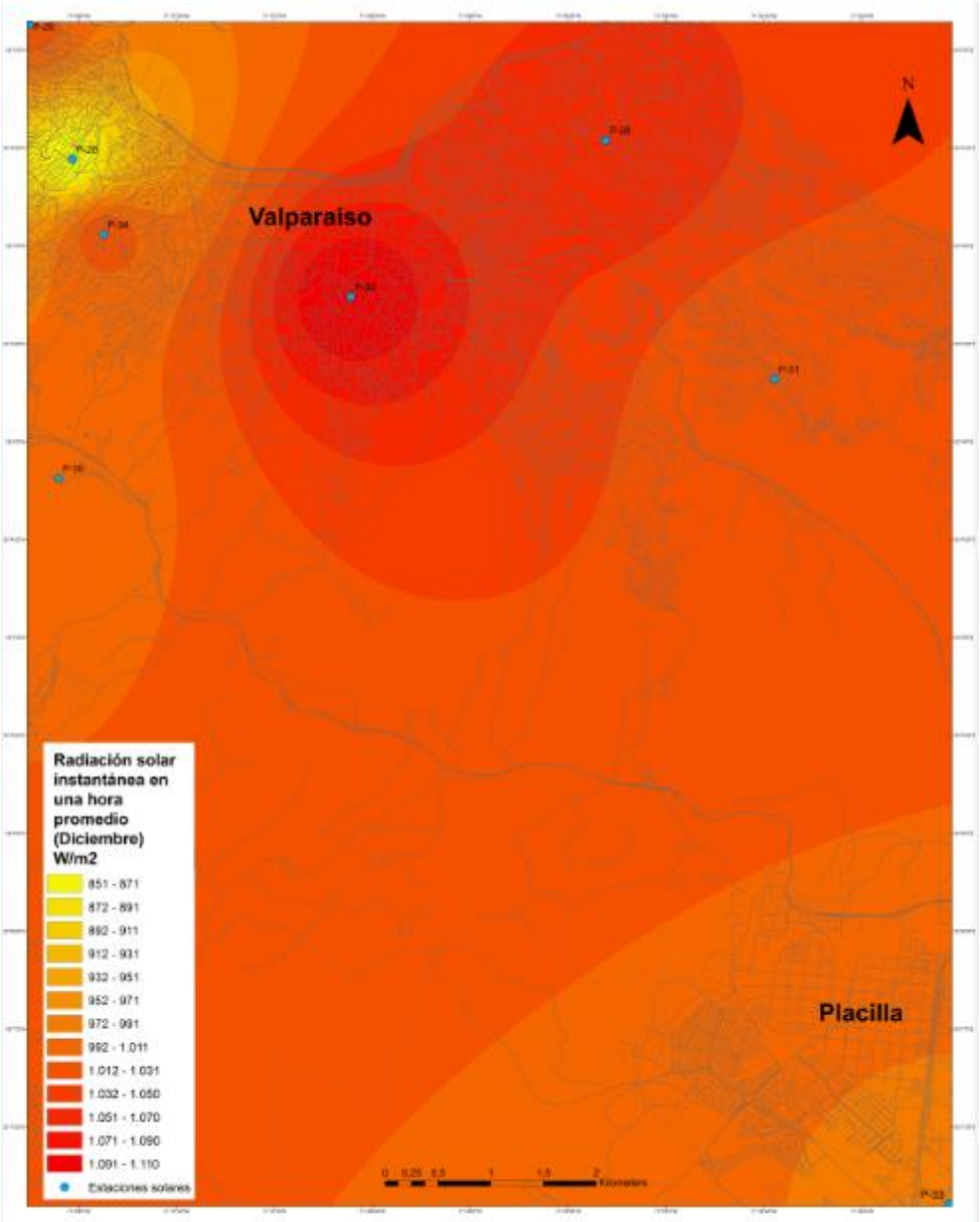

**Radiación promedio para un día característico de Septiembre 2016 excluyendo estaciones marginadas por error de datos.**




**Radiación promedio para un día característico de Octubre 2016.**




**Radiación promedio para un día característico de Noviembre 2016.**




**Radiación promedio para un día característico de Diciembre 2016.**

## Anexo C - Datos de facturación Energía Abierta Ministerio de Energía de Chile

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 17 | 114.873,4 | 0 | 6.757,26 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 39 | 85.510,2 | 0 | 2.192,57 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 1.056.809,9 | 0 | 32.024,54 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 64 | 1.187.048,3 | 0 | 18.547,63 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 2.097,9 | 0 | 1.048,95 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 171 | 11.778.534,8 | 0 | 68.880,32 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 246 | 279.507,4 | 0 | 1.136,21 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 313 | 654.507,1 | 0 | 2.091,08 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 202 | 995.576 | 0 | 4.928,59 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 687 | 2.455.603,6 | 0 | 3.574,39 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 64.400,9 | 0 | 3.788,29 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 1 | 39.200 | 0 | 39.200 |
| 2017 | 1 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 275 | 1.407.365 | 0 | 5.117,69 |
| 201 | 1 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 110.554 | 16.989.485, | 0 | 153,68 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 9 | | |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 17 | 142.193,7 | 0 | 8.364,34 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 39 | -205.106,4 | 0 | -5.259,14 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 937.335,7 | 0 | 28.404,11 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 64 | 1.102.589,9 | 0 | 17.227,97 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.813,2 | 0 | 906,6 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 170 | 10.071.387,2 | 0 | 59.243,45 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 245 | 263.060,9 | 0 | 1.073,72 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 312 | 614.282,7 | 0 | 1.968,85 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 202 | 938.317 | 0 | 4.645,13 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 685 | 2.208.879 | 0 | 3.224,64 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 69.437,8 | 0 | 4.084,58 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 55.280 | 0 | 27.640 |
| 2017 | 2 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 275 | 1.323.298,7 | 0 | 4.812 |
| 201 | 2 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 110.350 | 16.258.014, | 0 | 147,33 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 5 | | |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 17 | 113.295,4 | 0 | 6.664,44 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 39 | 62.927 | 0 | 1.613,51 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 940.042,6 | 0 | 28.486,14 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 64 | 1.015.351,3 | 0 | 15.864,86 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.652,6 | 0 | 826,3 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 171 | 10.516.500,3 | 0 | 61.500 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 244 | 310.702,9 | 0 | 1.273,37 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 311 | 586.076,8 | 0 | 1.884,49 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 202 | 934.856 | 0 | 4.628 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 684 | 2.326.010,3 | 0 | 3.400,6 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 77.682 | 0 | 4.569,53 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 97.440 | 0 | 48.720 |
| 2017 | 3 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 275 | 1.374.180 | 0 | 4.997,02 |
| 201 | 3 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 110.246 | 16.152.644, | 0 | 146,51 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 5 | | |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 108.071,4 | 0 | 6.003,97 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 40 | 35.372,5 | 0 | 884,31 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 837.973 | 0 | 25.393,12 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 64 | 1.140.849,2 | 0 | 17.825,77 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.921,2 | 0 | 960,6 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 168 | 8.519.149,3 | 0 | 50.709,22 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 243 | 280.599,4 | 0 | 1.154,73 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 313 | 661.752,9 | 0 | 2.114,23 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 201 | 918.154 | 0 | 4.567,93 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 682 | 2.231.022,1 | 0 | 3.271,29 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 66.600 | 0 | 3.917,65 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 44.280 | 0 | 22.140 |
| 2017 | 4 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 277 | 1.273.228 | 0 | 4.596,49 |
| 201 | 4 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 110.553 | 15.940.237, | 35.024,2 | 144,5 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 9 | | |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 131.104,7 | 0 | 7.283,59 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 43.126,4 | 0 | 1.051,86 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 958.428,2 | 0 | 29.043,28 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.043.157,1 | 0 | 16.825,11 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.566,7 | 0 | 783,35 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 165 | 7.574.464,6 | 0 | 45.905,85 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 243 | 323.508 | 0 | 1.331,31 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 316 | 649.916,9 | 0 | 2.056,7 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 200 | 955.278 | 0 | 4.776,39 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 681 | 2.435.761,3 | 0 | 3.576,74 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 70.610,2 | 0 | 4.153,54 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 47.360 | 0 | 23.680 |
| 2017 | 5 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 277 | 1.394.118,4 | 0 | 5.032,92 |
| 201 | 5 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 110.882 | 17.808.216, | 207.921, | 162,48 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 61 | 81 | |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 102.972,1 | 0 | 5.720,67 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 68.940 | 0 | 1.681,46 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 896.080,6 | 0 | 27.153,96 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.004.937,2 | 0 | 16.208,66 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.705,5 | 0 | 852,75 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 165 | 7.322.739,6 | 0 | 44.380,24 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 244 | 307.054,5 | 0 | 1.258,42 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 320 | 616.270,5 | 0 | 1.925,85 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 199 | 880.082,9 | 0 | 4.422,53 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 680 | 2.348.280,9 | 0 | 3.453,35 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 64.752,8 | 0 | 3.808,99 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 47.960 | 0 | 23.980 |
| 2017 | 6 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 281 | 1.350.136,3 | 0 | 4.804,76 |
| 201 | 6 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.066 | 17.498.106, | 589.652, | 162,86 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 76 | 4 | |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 106.158,6 | 0 | 5.897,7 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 40.237 | 0 | 981,39 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 33 | 960.158,6 | 0 | 29.095,72 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.136.086,2 | 0 | 18.323,97 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 3.308 | 0 | 1.654 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 164 | 7.445.505,2 | 0 | 45.399,42 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 244 | 301.838,5 | 0 | 1.237,04 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 319 | 667.664,8 | 0 | 2.092,99 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 201 | 880.062 | 0 | 4.378,42 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 681 | 2.483.089,3 | 0 | 3.646,24 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 62.279,9 | 0 | 3.663,52 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 45.120 | 0 | 22.560 |
| 2017 | 7 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 282 | 1.462.431,1 | 0 | 5.185,93 |
| 201 | 7 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.072 | 18.898.836, | 645.970, | 175,97 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 58 | 88 | |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 91.183,5 | 0 | 5.065,75 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 38.042,5 | 0 | 927,87 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 34 | 925.338,9 | 0 | 27.215,85 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.032.022,3 | 0 | 16.645,52 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 2.358,5 | 0 | 1.179,25 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 165 | 7.165.629,5 | 0 | 43.428,06 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 244 | 308.970,8 | 0 | 1.266,27 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 321 | 689.682,4 | 0 | 2.148,54 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 203 | 907.186,9 | 0 | 4.468,9 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 682 | 2.372.006,2 | 0 | 3.478,01 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 60.138,1 | 0 | 3.537,54 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 46.840 | 0 | 23.420 |
| 2017 | 8 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 284 | 1.347.914 | 0 | 4.746,18 |
| 201 | 8 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.087 | 17.844.153, | 506.896, | 165,2 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 39 | 1 | |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 93.050,5 | 0 | 5.169,47 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 39.722,5 | 0 | 968,84 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 34 | 1.053.952,3 | 0 | 30.998,6 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.272.501,7 | 0 | 20.524,22 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 1.935,9 | 0 | 967,95 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 164 | 7.729.836,3 | 0 | 47.133,15 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 245 | 294.825,3 | 0 | 1.203,37 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 318 | 701.283,07 | 0 | 2.205,29 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 203 | 917.398,59 | 0 | 4.519,2 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 686 | 2.709.676,5 | 0 | 3.949,97 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 72.516,2 | 0 | 4.265,66 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 45.320 | 0 | 22.660 |
| 2017 | 9 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 286 | 1.534.506 | 0 | 5.365,41 |
| 201 | 9 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.241 | 18.477.966, | 616.203, | 171,65 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 2 | 8 | |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 18 | 99.851,6 | 0 | 5.547,31 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 41 | 39.409,2 | 0 | 961,2 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 34 | 983.687,4 | 0 | 28.931,98 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.138.185,6 | 0 | 18.357,83 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 2.326,8 | 0 | 1.163,4 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 164 | 7.304.592,1 | 0 | 44.540,2 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 229 | 283.835,1 | 0 | 1.239,45 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 316 | 670.383,4 | 0 | 2.121,47 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 204 | 905.208 | 0 | 4.437,29 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 686 | 2.468.790,6 | 0 | 3.598,82 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 75.847,1 | 0 | 4.461,59 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 51.600 | 0 | 25.800 |
| 2017 | 10 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 289 | 1.394.898 | 0 | 4.826,64 |
| 201 | 10 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.611 | 17.981.739, | 285.782 | 163,67 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 7 | | |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 19 | 111.539,9 | 0 | 5.870,52 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 40 | 72.560,6 | 0 | 1.814,02 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 35 | 944.207 | 0 | 26.977,34 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 1.076.377,6 | 0 | 17.360,93 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 2.602,2 | 0 | 1.301,1 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 167 | 7.193.251,8 | 0 | 43.073,36 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 231 | 400.661,5 | 0 | 1.734,47 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 316 | 665.249,4 | 0 | 2.105,22 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 204 | 869.836 | 0 | 4.263,9 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 687 | 2.391.616,9 | 0 | 3.481,25 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 58.594,7 | 0 | 3.446,75 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 44.560 | 0 | 22.280 |
| 2017 | 11 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 290 | 1.362.170 | 0 | 4.697,14 |
| 201 | 11 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.672 | 17.648.800, | 51.000,5 | 158,5 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 67 | | |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PP | 14 | 85.154,5 | 0 | 6.082,46 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT2PPP | 40 | 33.178,7 | 0 | 829,47 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PP | 35 | 850.866,1 | 0 | 24.310,46 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT3PPP | 62 | 962.780,1 | 0 | 15.528,71 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.1 | 2 | 705,7 | 0 | 352,85 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | AT4.3 | 166 | 7.126.721,3 | 0 | 42.932,06 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PP | 229 | 337.818,4 | 0 | 1.475,19 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT2PPP | 313 | 606.769,8 | 0 | 1.938,56 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PP | 205 | 832.608 | 0 | 4.061,5 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT3PPP | 689 | 2.295.679,2 | 0 | 3.331,9 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.1 | 17 | 62.142,5 | 0 | 3.655,44 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.2 | 2 | 51.520 | 0 | 25.760 |
| 2017 | 12 | Región de Valparaíso | valparaíso | No Residencial | BT4.3 | 292 | 1.388.379 | 0 | 4.754,72 |
| 201 | 12 | Región de | valparaís | Residencial | BT1A | 111.617 | 16.985.470, | 545,5 | 152,18 |

| Año | Mes | region_nombre | comuna | tipo_clientes | Tarifa | Clientes_Totales | E1_kWh | E2_kWh | consumo_promedio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | | Valparaíso | o | | | | 88 | | |