

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
Ciencias de la Tierra con orientación
en Geociencias Ambientales**

**Reducción atmosférica de la radiación solar
en la Península de Baja California**

Tesis

para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ciencias

Presenta:

Ricardo Miranda Jiménez

Ensenada, Baja California, México, Diciembre
2016

Tesis defendida por:
Ricardo Miranda Jiménez
y aprobada por el siguiente comité:

Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist
Codirector del Comité

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Codirector del Comité

Dr. Edgar Gerardo Pavía López

Dr. Víctor Manuel Wong Ortega

Dr. Rodrigo Méndez Alonzo



Dr. Juan García Abdeslem
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

Dra. Rufina Hernández Martínez
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Ricardo Miranda Jiménez** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geociencias Ambientales.

Reducción atmosférica de la radiación solar en la Península de Baja California

Resumen aprobado por:

Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist
Codirector de Tesis

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Codirector de Tesis

La península de Baja California es una región con gran potencial de aprovechamiento de energía solar, sin embargo también es afectada por frecuentes variaciones en la composición de la atmósfera. Se ha comentado frecuentemente que la reducción de la radiación solar se debe a la nubosidad sobre la zona, pero no se cuenta con una recopilación de datos ni evaluación de modelos disponibles referente a esta posible causa de la reducción de la radiación solar. En el presente trabajo se ha estimado la variación espacio-temporal de la reducción de la radiación solar que incide en la península de Baja California generada por la atmósfera. En enfoque principal fue sobre cuatro horas de 26 días-muestra del 2014 en las 12 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) que se localizan en la península. Primero estimamos la radiación exoatmosférica (G_o), por medio de un modelo numérico teórico basado en el trabajo de Spencer (1982). Este modelo incorpora variaciones temporales debidas a ángulos y distancias. Posteriormente, se estimó la radiación superficial con los datos de radiación superficial de las EMAs, y se calibró el modelo GSIP (GOES Surface and Insolation Product) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). El modelo GSIP, de frecuente actualización con datos satelitales y terrestres, se seleccionó sobre un modelo que estima la radiación solar superficial incidente para un escenario ideal de cielo despejado (HLJ: Hottel, 1976; Liu & Jordan, 1960), considerando su relación lineal más estrecha con los datos de las EMAs ($r = 0.94$ y 0.74 respectivamente). Se notó que la transmisión varió conforme el ciclo diurno, siendo baja a la mañana. Hubo exceso generalizado de radiación a la tarde, debido probablemente a trayectorias indirectas recibidas por los sensores terrestres. A diferencia de los escasos EMAs, GSIP permite mapeo extensivo de la radiación superficial estimada y de la transmisión atmosférica. Con esto pudimos observar anomalías subregionales, por ejemplo de radiación baja en Mexicali, Guerrero Negro y Cabo San Lucas. Los mapas de GSIP ajustado podrían sugerir efectos de la topografía, pero faltan EMAs en las montañas para confirmar o complementar la calibración. Sin embargo, la presente calibración apoya el uso de GSIP como la base para estimar la radiación superficial, y para determinar las causas de su variación debidas a geografía, climatología y orografía, además habilita a futuros estudios de las causas de su variación.

Palabras clave: Radiación superficial, efecto atmosférico, modelaje empírico, percepción remota, calibración, variación geográfica del clima.

Abstract of the thesis presented by **Ricardo Miranda Jiménez** as a partial requirement to obtain the Master in Science degree in Earth Sciences with orientation in Environmental Geosciences.

Reduction of solar radiation by atmospheric effect on the Baja California Peninsula

Abstract approved by:

Dr. Stephen Holmes Bullock Runquist
Thesis Codirector

Dr. Jorge Torres Rodríguez
Thesis Codirector

The Baja California Peninsula is considered as a region of great potential for implementing solar energy but is also subject to frequent changes in atmospheric composition. In BC reduction of solar radiation might be due to cloudiness, but there is no compilation of data or evaluation of available models in this regard. The present work proposes to estimate the atmospheric transmittance and show the spatio-temporal variation in atmospheric reduction of solar radiation on the peninsula. The principal focus was on four hours across 26 days in 2014 at the sites of the 12 automatic weather stations (EMAs) on the peninsula. The initial reference was exoatmospheric radiation (G_0), which was estimated by a numeric theoretical model based on the work of Spencer (1982). In contrast to use of a “solar constant”, the Spencer model incorporates temporal variations due to angles and distances. Radiation at the surface was also required: data from the EMAs was used to calibrate the GSIP (GOES Surface and Insolation Product) model of NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). The GSIP model, which is frequently updated with satellite and terrestrial data, was chosen over a model that estimates surface radiation with an idealized, “clear sky” model (HLJ: Hottel, 1976; Liu & Jordan, 1960), considering its linear relation with the EMAs data was closer ($r = 0.94$ y 0.73 , respectively). It was noted that transmittance varied on a daily cycle, being lowest in the morning. There was a generalized excess of radiation in the afternoon, probably due to indirect light. In contrast to the scarce EMAs, GSIP permits extensive mapping of estimated surface radiation and atmospheric transmittance. Such mapping shows subregional anomalies, e.g. low transmittance around Mexicali, Guerrero Negro and cabo San Lucas. Maps of adjusted GSIP might suggest topographic effects, but there is a lack of EMAs in the mountains to confirm or complement the calibration. However, the calibration developed here supports the use of GSIP as a basis for estimation of surface radiation, its geography, climatology and tendencies, and enables future studies of causes of its variation.

Keywords: Radiación superficial, efecto atmosférico, modelaje empírico, percepción remota, calibración, variación geográfica del clima.

Dedicatorias

Este trabajo de tesis se lo dedico a toda mi familia.

A mi madre Rocío Jiménez Carrillo y a mi padre Gabriel Ricardo Miranda Padilla por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos Monserrat y Edgar que estuvieron al tanto de mí desde la lejanía.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Agradecimientos

Se agradece los apoyos financieros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para mis estudios de maestría por una beca de estudio y ayudantía de investigador.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) por la oportunidad de estudiar en el programa de Ciencias de la Vida.

Al proyecto 227615 del CONACYT y 681115 del CICESE, por el apoyo financiero para el trabajo de campo.

Agradezco especialmente al Dr. Stephen H. Bullock Runquist por el apoyo y dedicación como director de tesis y por brindarme la oportunidad de aprender de sus experiencias y trabajar con él.

Agradezco a mis asesores, Dr. Rodrigo Méndez Alonzo, Dr. Edgar G. Pavía López y Dr. Víctor M. Wong Ortega por sus aportaciones, discusiones y revisiones que enriquecieron la escritura del estudio y compartir su conocimiento.

Agradezco a la Dra. María Elena Solana Arellano, por la orientación numérica y estadística.

Agradezco a la Dra. Paula Pérez Brunius, por la ayuda con el mapa de temperatura superficial del océano Pacífico y del Golfo de California.

Agradezco al Ing. Manuel E. Colima Sánchez de CONAGUA, por la foto del piranómetro.

Agradezco al Técnico titular Santiago A. Higareda Cervera del departamento de Oceanografía Física del CICESE, por facilitar la información de las estaciones meteorológicas automáticas sobre la península de Baja California.

Agradezco también por su ayuda a la Lic. Ana Rosa Soto Rincón y a la Lic. Eva Angelina Robles Sánchez por su orientación y paciencia para los diferentes trámites administrativos que se deben realizar en el transcurso de mi estancia en CICESE.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	xii
Lista de acrónimos	xiii
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Antecedentes	5
2.1 Constante Solar	5
2.2 Radiación solar exoatmosférica	6
2.2.1 Sistema de referencia temporal	6
2.2.2 Sistema de referencia espacial o geometría solar	7
2.3 Radiación solar en la atmósfera	9
2.4 Radiación solar en la superficie	11
2.5 Modelos y estudios de radiación solar en México	13
Capítulo 3. Objetivos y justificación	17
3.1 Objetivo general	17
3.1.1 Objetivos específicos	17
3.2 Justificación	17
Capítulo 4. Metodología	19
4.1 Área de estudio	19
4.2 Fuentes de información de radiación solar	21
4.2.1 Radiación superficial registrada por estaciones meteorológicas	22
4.2.2. Radiación superficial estimada por GSIP	26
4.2.3 Modelo de radiación exoatmosférica	31
4.2.4 Modelo de radiación superficial con cielo despejado	34
4.3 Preprocesamiento de los datos	37
4.4 Análisis estadístico	44
4.5 Mapeo de radiación superficial y transmisión atmosférica	44

Capítulo 5. Resultados	46
5.1 Descripción temporal y espacial de la radiación	46
5.1.1 Radiación exoatmosférica	46
5.1.2 Radiación superficial estimada por el modelo HLJ	49
5.1.3 Radiación superficial estimada por el modelo GSIP	52
5.1.4 Radiación superficial registrada por las EMAS	54
5.2 Comparación preliminar de modelos y datos	57
5.2.1 Relación entre los resultados del modelos HLJ y GSIP	58
5.2.2 Relación entre los resultados del modelo HLJ y los datos de las EMAS	59
5.2.3 Relación entre los resultados del modelo GSIP y los datos de las EMAS	60
5.2.4 Ajuste al modelo GSIP	62
5.2.5 Mapas de radiación superficial con datos ajustados	63
5.3 Transmisión atmosférica	64
5.3.1 Mapas de transmisión atmosférica estimada	65
Capítulo 6. Discusión	67
6.1 Modelos de radiación solar	67
6.2 GSIP ajustado y trabajos previos	68
6.3 Transmisión atmosférica	69
Capítulo 7. Conclusiones	71
Literatura citada	73
Anexos	79

Lista de figuras

Figura		Página
1	Atenuación atmosférica que se ejerce en las diferentes longitudes de onda de la radiación solar en la atmósfera (modificado de Bakker et al., 2001).	2
2	Mediciones desde 1978 al 2015 de irradiación solar total en incidencia normal para una dirección Sol-Tierra. Cada color indica una serie de medidas de un mismo satélite (Pmodwrc, 2016).	5
3	Modelo que define la geometría solar para cualquier punto de la superficie de la exosfera en latitudes norte (UJaen.es, 2016).	8
4	Incidencia de la radiación solar en la Exosfera y su variación hacia los polos. A mayor latitud menor radiación solar y viceversa.	9
5	Representación de los procesos de absorción y reflexión que afectan a la radiación solar y al balance de energía global estimado en la atmósfera. Los porcentajes, indican las mejores estimaciones promedio a nivel global presupuestas por Wild en el 2013. Además podemos observar las componentes principales de la radiación solar, directa (componente direccional) y difusa (componente no es direccional).	11
6	Mapa de radiación solar global (cal cm^{-2} día) para el mes de enero, correspondiente al modelo de Hernández (1991).	16
7	Mapas de radiación solar global (ly día^{-1}) para el mes de enero, correspondiente al modelo propuesto por Almanza & Muñoz (1994).	16
8	Rangos hipsométricos de la península de Baja California, México (información de INEGI et al., 1990).	19
9	Imágenes satelitales GOES, donde se observa la nubosidad cercana a la Península de Baja California para las 6 am (imagen de arriba) y 7 pm (imagen de abajo) del día 22 de Junio del 2016 (Ellrod, 2016).	20
10	Temperatura superficial del océano Pacífico y del Golfo de California ($^{\circ}\text{C}$). Promedios mensuales correspondientes al mes de mayo para los años 1999 al 2004 (Figura cortesía de la Dra. Paula Pérez Brunius de CICESE, 2016).	21
11	Estaciones meteorológicas automáticas del SMN con registros para el año 2014 de radiación solar superficial incidente en la península de Baja California (CONAGUA, 2016).	22
12	Piranómetro CMP11 donde se observa la última calibración que se le realizó al sensor (Imagen cortesía del Ing. Manuel E. Colima Sánchez de CONAGUA, 2016).	23

13	Variación de la sensibilidad de la termopila con respecto a la radiación solar para un rango de 0 a 1000 Wm^{-2} , refiriendo la calibración en 500 Wm^{-2} (Kipp & Zonen, 2010).	25
14	Máximo error direccional (%) de la energía registrada en relación al ángulo del Sol (Kipp & Zonen, 2010).	25
15	Dependencia de la sensibilidad de la termopila con respecto a la variación de la temperatura. Para un piranómetro dado la respuesta está en la región entre las líneas curvas (Kipp & Zonen, 2010).	25
16	El esquema representa a algunos albedos que se generan en la atmósfera cuando la radiación exoatmosférica (G_0) total incide en la atmósfera e interactúa con la misma. La radiación superficial (G_s) total que incide en la superficie es el resultado directo de la atenuación atmosférica de G_0	29
17	Diagrama de flujo que describe como deriva la radiación superficial a partir de la combinación del albedo TOA y de un acervo de datos (modificado de Pinker & Lazlo, 1992). Para más información consultar el texto.	30
18	Variación anual de la diferencia de tiempo, obtenida a partir de la ecuación de tiempo para la estación meteorológica ubicada en Bahía de los Ángeles.	33
19	Reducción e integración de datos de los archivos de las EMAs.	40
20	La segunda etapa de preprocesamiento en los datos registrados por el SMN, disminuyó la cantidad de datos en el año del estudio de 52,560 a 104 por EMA. ...	41
21	En el mapa se observan los datos desplegados de GSIP en conjunto con la ubicación de las EMAs (La Rumorosa y Constitución de 1857) para el día 7 de Enero del 2014 a las 10 am (18 z).	42
22	Resultado del preprocesamiento en los datos de GSIP, se redujo 144 archivos a 12 archivos en los cuales solo se encuentra el producto de radiación para las horas y días de la muestra de estudio.	43
23	Malla de datos ejemplo que se generaron por medio de Matlab para estimar la radiación superficial con el modelo GSIP ajustado	44
24	Máximo anual instantáneo de la radiación exoatmosférica (Wm^{-2}) estimado sobre las EMAs ubicadas en la península de Baja California en el 2014.	46
25	Máximo estacional instantáneo de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.	48

26	Máximo anual para cada hora muestra de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	48
27	Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) estimado por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	49
28	Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.	51
29	Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	51
30	Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) estimado por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	52
31	Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.	53
32	Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	53
33	Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	55
34	Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.	56
35	Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014.	57
36	Dispersión de los resultados de HLJ y GSIP (todas las EMAs y días y horas de muestreo) y su relación lineal (analizado en el software JASP).	58
37	Coeficiente de correlación lineal (r) entre los modelos HLJ y GSIP.	59
38	Dispersión de los resultados de HLJ y SMN (todas las EMAs y días y horas de muestreo) y su relación lineal (analizado en el software JASP).....	60
39	Coeficiente de determinación entre el modelo HLJ y los datos de las EMAs.	60

40	Dispersión de los resultados de GSIP y los datos de las EMAs para los días y horas de muestreo y su relación por regresión lineal (analizado en el software JASP).	61
41	Coefficiente de determinación ajustado de la regresión lineal entre el modelo GSIP y los datos de las EMAs.	62
42	Histograma de la diferencia en los valores del modelo GSIP ajustado y no ajustado.....	63
43	Promedio instantáneo anual de la radiación superficial del modelo GSIP ajustado en la península de Baja California en el 2014.	63
44	Promedio instantáneo de la radiación superficial del modelo GSIP ajustado para las cuatros estaciones del año en la península de Baja California en el 2014.	64
45	Promedio instantáneo anual de la transmisión atmosférica en la península de Baja California en el 2014.	65
46	Promedio instantáneo de la transmisión atmosférica para las estaciones del año en la península de Baja California en el 2014.	66
47	Comparación de resolución espacial de la estimación de la radiación solar superficial para la península de Baja California.	68
48	Muestra del comportamiento diurno de la radiación exoatmosférica (G_0), radiación superficial ajustado y la transmisión atmosférica en la EMA Gustavo Díaz Ordaz.	69
49	Comparación de resultados de la radiación superficial ajustada y de la transmisión atmosférica para la península de Baja California en el 2014.	70

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Coordenadas y alturas de las estaciones meteorológicas automáticas con registros de radiación solar (CONAGUA, 2016).	23
2	Factores de corrección para los tipos de clima generados para el modelo de Hottel.	36
3	Características principales de las bases de datos.	38
4	Muestra de días para el año 2014.	38
5	Características principales de las bases de datos, después de realizar el preprocesamiento.	43
6	Estadística descriptiva de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}) y el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}).	47
7	Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}), y el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}).	50
8	Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercana a las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}) y el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}).	54
9	Estadística descriptiva de la radiación superficial registrada por las EMAs del SMN de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}) y el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}).	55

Lista de acrónimos

Acrónimo	Definición
AgRISTARS	Agriculture and Resources Inventory Surveys through Aerospace Remote Sensing
AU	Unidad Astronómica
AVHRR	Advanced Very High-Resolution Radiometer
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
EMAs	Estaciones meteorológicas automáticas
G _b	Radiación directa
G _d	Radiación difusa
GEDISK	GOES East Full Disk
GENHEM	GOES East Northern Hemisphere Extended
GWNHEM	GOES West Northern Hemisphere Extended
GWDISK	GOES West Full Disk
GFS	Global Forecast System
G _o	Radiación exoatmosférica
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
G _s	Radiación superficial
G _{sc}	Constante solar
GSIP	GOES Surface and Insolation Product
HDF	Hierarchical Data Format
HLJ	Hottel Liu Jordan
IMS	Ice Mapping System
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía

ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project
METEOSAT	Meteorological Satellites
MSG	METEOSAT Second Generation
MSGFD	MSG Full Disk
MTSAT	Multifunctional Transport Satellites
MTSFD	MTSAT Full Disk
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NESDIS	National Environmental Satellite Data and Information
NetCDF	Network Common Data Form
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organización Mundial de Meteorología
PAR	Photosynthetically Active Radiation
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
τ_b	Transmisión directa
τ_d	Transmisión difusa
SOHO	Solar and Heliospheric Observatory
TOA	Top of the Atmosphere
TSI	Total Solar Irradiation
USNO	United States Naval Observatory
UTC	Coordinated Universal Time

Capítulo 1. Introducción

La radiación solar es un conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol, que provee de energía a la atmósfera y a la superficie de la Tierra. Esta energía genera mecanismos positivos y negativos en el balance energético terrestre, que controla directamente o indirectamente los procesos y ciclos de la Tierra, como el ciclo hidrológico, la degradación de materia inorgánica y orgánica, la fotosíntesis que sostiene la biosfera, etc. Su papel en estos procesos y ciclos ligando a la radiación solar con la transformación física, química y biológica de la superficie terrestre u oceánica, por ejemplo de manera indirecta influye en los procesos de erosión del suelo y de manera directa varía la temperatura superficial del suelo y el océano. En general los ciclos y procesos que se gestan en la Tierra dependen directa o indirectamente de la variación temporal y espacial de la radiación solar (Hoyt & Schatten, 1996).

Las variaciones en la magnitud de la radiación solar se generan desde el Sol, por la actividad solar y por los ciclos de Milankovitch (Fröhlich, 2000). En décadas recientes gracias a observaciones satelitales podemos ver como en ciclos de 11 años, la actividad solar hace varía a la radiación solar (c. 0.1%) incidente a la Tierra, además evidencia terrestre como la variación climática registrada en núcleos de hielo (Petit J. R. et al., 1999), anillos de los árboles (North G. R. et al., 2006) y sedimentos oceánicos (Bond G. et al., 2001) sugiere que existe una mayor variación de la radiación solar en ciclos con mayor período (Willson & Hudson, 1991; Kopp & Lean, 2011). Una vez que la radiación solar alcanza a la exosfera se le conoce con el nombre de radiación exoatmosférica o radiación extraterrestre (Whiteman & Allwine, 1986), esta varía anualmente en mayor grado (c. 6%), por la variación estacional que tiene la distancia entre el Sol y la Tierra debido al movimiento de translación. La radiación exoatmosférica también varía por la rotación de la Tierra, la latitud, la longitud y por las diferencias que existen entre el ángulo de incidencia de la radiación con respecto al plano horizontal de la superficie de la exoatmósfera (Linacre & Geerts, 1997).

La radiación solar que se transmite en la exosfera comenzará a interactuar con los diferentes tipos de gases y partículas presentes en la atmósfera, como resultado tendremos una reducción de la magnitud de la radiación solar por algún fenómeno de atenuación atmosférica (reflexión o absorción principalmente). Estos fenómenos de atenuación atmosférica no son constantes en toda la atmósfera, su variación dependerá principalmente por la concentración, composición y distribución de los gases y partículas presentes en la atmósfera (Liou, 2002). Debido a la densidad, los gases y partículas más

pesadas se encuentran en la tropósfera (entre c. 9 y c. 17 km arriba de la Tierra), en esta capa atmosférica es donde ocurre una mayor atenuación en la radiación solar. Se hace hincapié, que existe una mayor atenuación de la radiación solar en la atmósfera debido a la presencia de agua (en forma de nubes principalmente), esto se puede observar en la figura 1. La atenuación atmosférica hace variar directamente a la radiación solar superficial, un monitoreo extensivo e intensivo de la radiación solar superficial y conociendo la radiación exoatmosférica, podemos estimar la atenuación atmosférica que existe. Otra forma de estimar la atenuación atmosférica sería por medio de modelos satelitales.

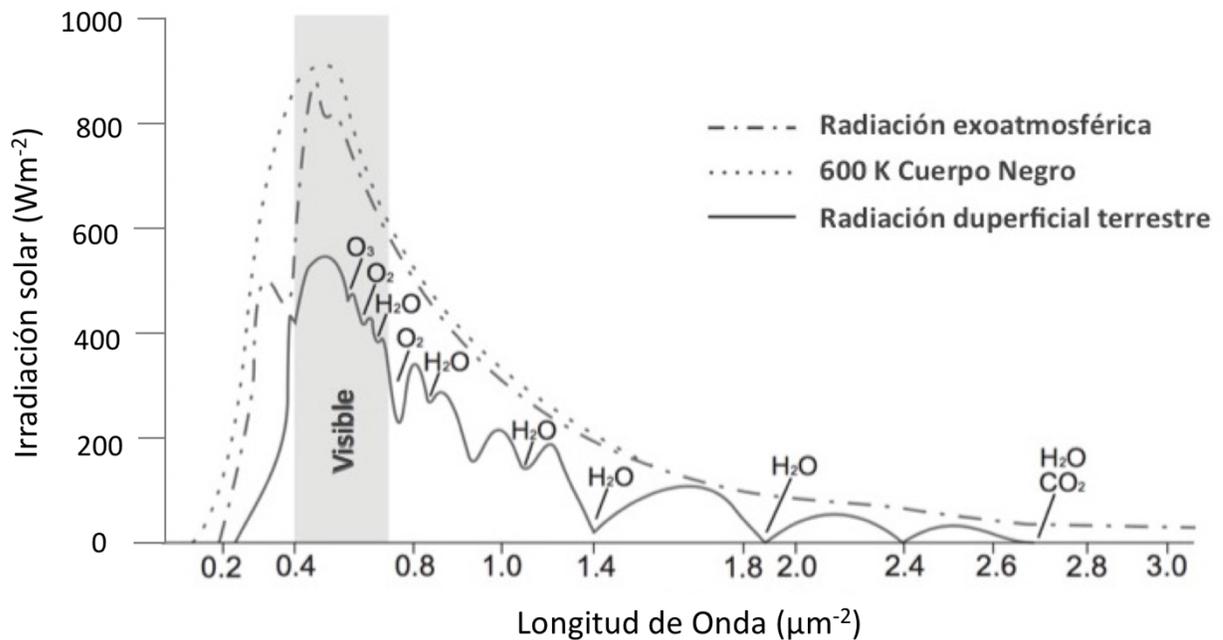


Figura 1. Atenuación atmosférica que se ejerce en las diferentes longitudes de onda de la radiación solar en la atmósfera (modificado de Bakker et al., 2001).

En la actualidad algunas estaciones meteorológicas registran mediciones de la radiación solar superficial, estas constituyen la fuente de datos más confiable, siempre y cuando el equipo tenga un buen mantenimiento y calibración regular. Estas mediciones registradas por las estaciones meteorológicas son puntuales, por lo que existen huecos espaciales de información entre las estaciones. Para cubrir estos huecos espaciales de información se generaron métodos de interpolación espacial (por ejemplo: Bechini et al., 2000; Ertekin & Evrendilek, 2007), pero a menudo no existe una densidad suficiente de mediciones de la radiación solar superficial para tener una interpolación fiable.

Un enfoque diferente, que no se basa directamente en la medición de la radiación solar superficial por medio de estaciones meteorológicas, es el de modelar la radiación solar superficial por medio de procesos físicos (por ejemplo: Hottel, 1976; Liu & Jordan, 1960; Powell, 1984; Page, 1986). Esto conlleva

la necesidad de medir muchos parámetros atmosféricos poco accesibles o bien, asumir la utilidad de utilizar valores no específicos.

Otra fuente de información que se tiene en la actualidad son las observaciones satelitales que han proporcionado un medio alternativo para obtener información de la radiación solar durante más de 30 años (por ejemplo: Brisson et al., 1999; Geiger et al., 2008; Laszlo et al., 2008; Lefevre et al., 2007; Posselt et al., 2012). No obstante la actualización de los satélites, los sensores y modelos, hacen que los datos cambien su resolución espacial, temporal y características espectrales.

El presente trabajo se centra en estimar la radiación solar exoatmosférica y la radiación solar superficial en la península de Baja California. Esto se obtendrá por medio de mediciones de la radiación solar superficial de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), estimaciones de la radiación superficial del producto del Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), llamado Surface and Insolation Products (GSIP) y de modelos para obtener la radiación solar exoatmosférica (Spencer, 1982) y la radiación solar superficial incidente para un escenario ideal de cielo despejado (Liu & Jordan, 1960; Hottel, 1976). También se estimará la transmisión atmosférica (τ), lo que expresa la cantidad de radiación solar que permite pasar la atmósfera a la superficie y a partir de τ estimar la reducción de la radiación solar por efecto de la atmósfera. Esto se realizará por medio de los datos estimados de la radiación solar exoatmosférica y con los datos de radiación solar superficial del modelo GSIP, calibrados por medio de los datos registrados por las EMAs.

La península de Baja California es de particular interés debido a su posición latitudinal, ya que se genera una inversión térmica durante una parte del año por efecto de la corriente marina fría del océano Pacífico, donde la temperatura media aumenta en lugar de disminuir con respecto a la altitud (entre 0 m y 800 m de altitud; García & Mosiño, 1968). Al mismo tiempo, esta corriente marina aumenta su temperatura superficial por la radiación solar que llega a la región, lo que genera nubosidad (Iacobellis & Cayan, 2013). Esto genera como resultado una frecuente capa baja de alta humedad o nubosidad (neblina) que cubre la vertiente del Pacífico. Esta nubosidad tiene la misma dirección predominante del viento (Noroeste-sureste) en la península (García & Mosiño, 1968) y ayuda, particularmente en verano, a reducir la evapotranspiración en la región (Fischer et al., 2008). Mientras tanto, por lado del Golfo de California, hay poca nubosidad excepto por chubascos en verano, debido a la alta temperatura de las aguas superficiales y de la sequedad del aire bajando de las sierras peninsulares (Mitchell & Ivanova, 2002).

En la península de Baja California, así como en gran parte de México, falta tratar a la radiación solar en forma cuantitativa, y se espera que con una buena resolución espacial y temporal pueda contribuir al entendimiento hidrometeorológico, climático y agrícola en la región, verificando modelos existentes que puedan incluir a la radiación solar como una variable más y así impulsar el uso de la radiación solar en México.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Constante Solar

La variación de la radiación solar que incide sobre el planeta Tierra tiene varios ciclos de importancia, algunos ciclos pueden tener de miles de años debido a las características de la órbita y de la rotación de la Tierra (Palike H., 2002), pero existen otros ciclos más pequeños que se dan principalmente por la actividad solar (Usoskin, 2013) manifestada por el número de manchas solares y el viento solar, entre otras cosas. Willson et al. (1981) informa varianzas de la magnitud de la radiación solar es de hasta 0.2 % en correlación con el desarrollo de manchas solares. Estos ciclos generan variaciones en el clima y en la vida del planeta (Budyko, 1969). La variación de la radiación solar se calcula para un plano normal a la dirección Sol-Tierra con una distancia aproximada de 149.6 millones de Km, conocida como unidad astronómica (AU; Iqbal, 1983). La variación de la radiación solar se pudo determinar con mediciones de diferentes satélites, a lo largo de casi cuarenta años (Figura 2), por medio de la construcción de un compuesto de irradiación total solar (Fröhlich, 2000). Estas mediciones mostraron una pequeña variación de aproximadamente $\pm 0.1\%$ (Duffie & Beckman, 2013), respecto a su promedio de 1367 Wm^{-2} , llamado Constante Solar (G_{sc}). La variación observada en las mediciones satelitales está asociada al ciclo solar.

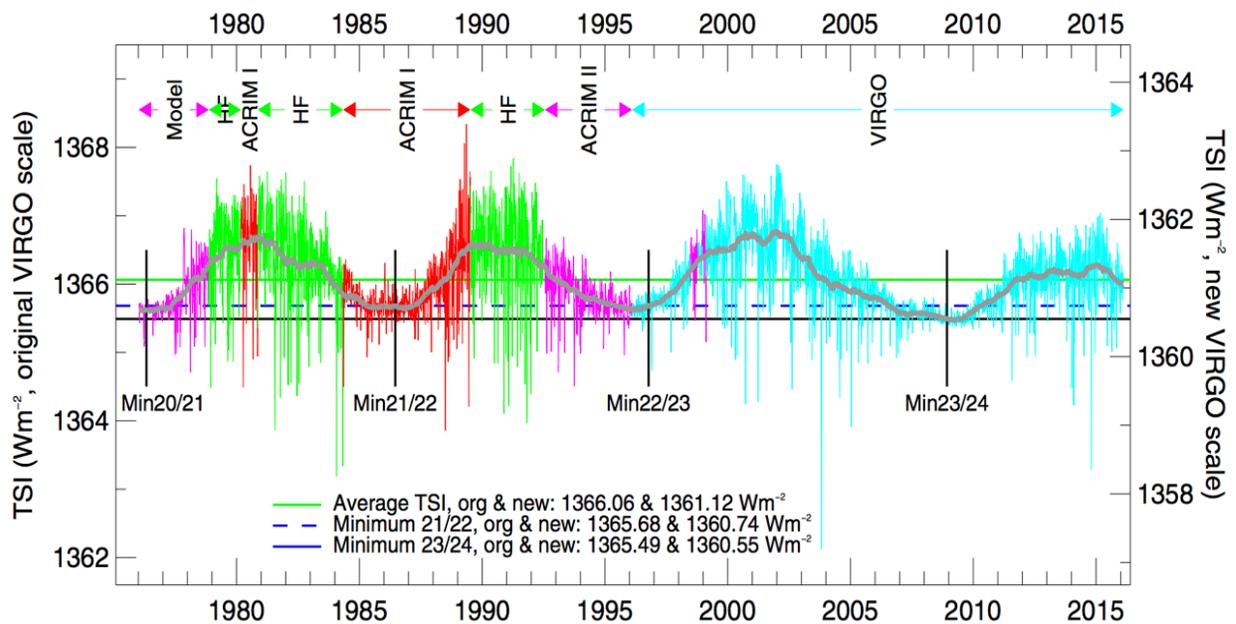


Figura 2. Mediciones desde 1978 al 2015 de irradiación solar total en incidencia normal para una dirección Sol-Tierra. Cada color indica una serie de medidas de un mismo satélite (PMODWRC, 2016).

2.2 Radiación solar exoatmosférica

La radiación solar al incidir en la exosfera (aproximadamente a 690 Km sobre la superficie terrestre) toma el nombre de radiación solar exoatmosférica (G_0). Como se ha mencionado el Sol emite una radiación a la Tierra de 1367 Wm^{-2} , conocida como constante solar. Esta cantidad de radiación solar incide sobre la capa más alta de la atmósfera (exosfera) y se puede determinar analíticamente para cualquier parte de la Tierra, en función de la posición relativa del Sol y de la Tierra. Para ello es necesario definir un sistema de referencia temporal y espacial, ya que la Tierra realiza un movimiento de rotación alrededor de su eje y otro de traslación alrededor del Sol.

2.2.1 Sistema de referencia temporal

Para establecer un sistema de referencia temporal sobre la exosfera, debemos definir diferentes conceptos como el día solar, el mediodía solar, el tiempo solar y el ángulo horario. Estos conceptos dependerán directamente del sistema de referencia espacial del punto de donde se quiera estimar la radiación exoatmosférica.

Un día solar se puede definir como el intervalo de tiempo que tarda el Sol en volver a cruzar un punto en la exosfera (Iqbal, 1983). Debido a los movimientos de traslación y rotación de la Tierra, la duración del día terrestre (tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta entera sobre si misma) con respecto al día solar, es aproximadamente 4 minutos menor. Además el día solar no es constante, ya que varía a lo largo del año, debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra y a la distancia entre el Sol y la Tierra.

Desde la Tierra se observa como el Sol aparentemente se desplaza sobre la bóveda celeste en función del tiempo, variando a lo largo del día y del año. Por lo que el instante de tiempo en el que el Sol alcanza su máxima elevación sobre el horizonte en un punto sobre la exosfera se define como mediodía solar, de manera que el amanecer y el ocaso se distribuyen simétricamente respecto a este instante.

Se denomina tiempo solar verdadero o tiempo solar aparente (T_s) al tiempo contado a partir del mediodía solar (Iqbal, 1983). No obstante el tiempo utilizado habitualmente no está basado en este fenómeno planetario, si no en la hora oficial o tiempo local (T_L), que es un sistema de referencia temporal utilizado en determinadas áreas geográficas a las que les interesa tener un mismo sistema de

referencia temporal. En este sistema de referencia, la longitud geográfica determina el amanecer y el ocaso, que no son simétricos respecto al mediodía, sino que se desfasan 4 minutos por cada grado de longitud geográfica. Sin embargo en ambos sistemas, la longitud del día es función del día del año o día juliano y de la latitud geográfica (λ).

Para convertir la hora oficial en hora solar es necesario hacer dos correcciones (Duffie & Beckman, 2013; Iqbal, 1983):

- La primera corrección, toma en consideración la diferencia de la longitud geográfica existente entre el meridiano del observador y el meridiano de referencia respecto al cual se define la hora oficial (4 minutos por cada grado de diferencia geográfico).
- La segunda tiene en cuenta los efectos introducidos por la excentricidad de la órbita terrestre, la constancia de la velocidad areolar (2^{da} Ley de Kepler) y los movimientos de precesión y nutación del eje de rotación terrestre. Estos efectos se tienen en cuenta en la ecuación del tiempo (EqT).

A pesar que el tiempo local se utiliza para diferentes cuestiones de la vida común, el tiempo solar verdadero es el sistema de referencia temporal utilizado más a menudo en las aplicaciones solares.

Por último, el ángulo horario (ω), es el ángulo que se forma con el meridiano del observador en un instante de tiempo y con el meridiano de paso del Sol (Iqbal, 1983). Por lo tanto, se considera que el ángulo horario es cero cuando es el mediodía solar y se considera de signo negativo o positivo para horas anteriores o posteriores al mediodía solar, respectivamente. El ángulo horario se calcula en radianes y tomando como dato la T_s .

2.2.2 Sistema de referencia espacial o geometría solar

El movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol, describe una órbita elíptica de baja excentricidad denominada eclíptica, el periodo de dicha traslación es de 365.25 días aproximadamente. La distancia entre la Tierra y el Sol no es constante a lo largo del año, sin embargo esta fluctuación es de apenas 1.7% entre el mínimo o perihelio (1.46×10^8 Km) y el máximo o afelio (1.52×10^8 Km). Además la Tierra realiza un movimiento de rotación sobre el eje que forma un ángulo de $23^\circ 27'$ con el plano de la

ecliptica y debido a los campos gravitatorios inducidos por el Sol y la Luna, se dan los movimientos de precesión y de nutación.

Para desarrollar la dinámica de la Tierra y el Sol, se va a suponer el modelo planetario de Ptolomeo, que establece el sistema de referencia en la Tierra (Figura 3), es decir, supone que el Sol describe un movimiento de rotación alrededor de la Tierra, empleando para ello un sistema de coordenadas polares (Plasencia et al., 2007).

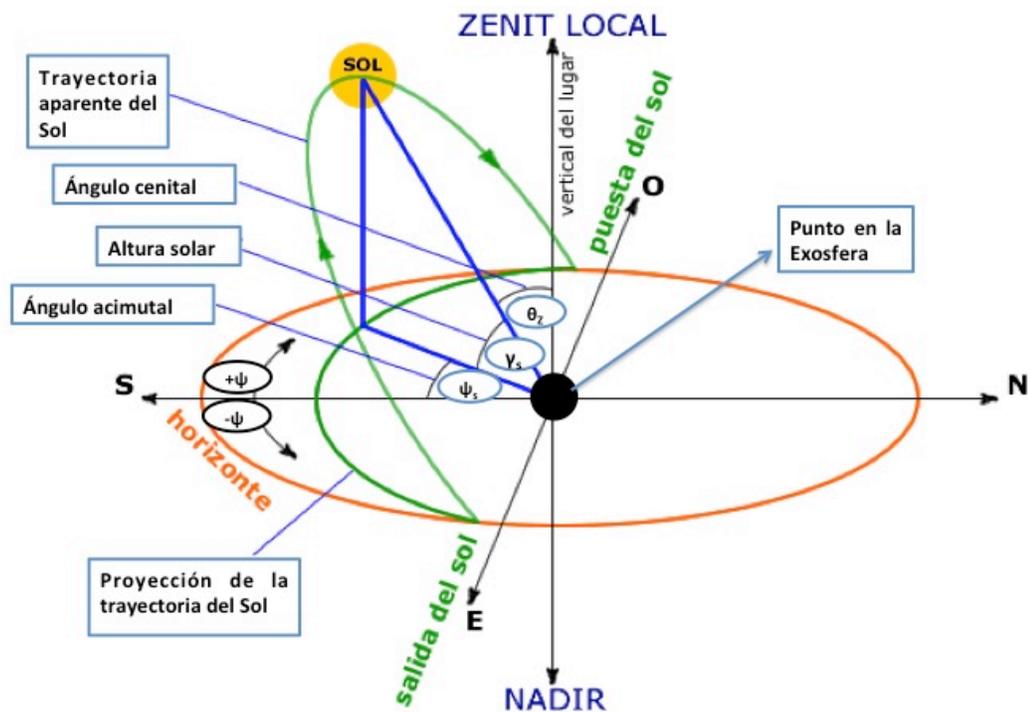


Figura 3. Modelo que define la geometría solar para cualquier punto de la superficie de la exosfera en latitudes norte (modificado de UJaen.es, 2016).

Los parámetros básicos que se van a utilizar para determinar la posición del Sol respecto de un observador situado en la Tierra son:

1. Latitud de la zona (λ). Ángulo complementario formado por la recta que une el zenit y al nadir con el eje polar, positivo hacia el Norte y negativo hacia el Sur.
2. Ángulo cenital (θ_z). Ángulo formado por el radio vector Sol-Tierra y la vertical del lugar, positivo a partir del zenit.
3. Ángulo o altura solar (γ_s): Ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal también se define con el símbolo ω .

4. Ángulo acimutal (ψ_s). Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección Sur, positivo de los 0° a 180° hacia el Oeste y negativo hacia el Este de 0° a -180° .

La variación de la radiación exoatmosférica se debe principalmente por la geometría solar (posición del Sol respecto de un observador situado en la Tierra), siendo menor en los Polos (mayor latitud) y mayor en el Ecuador (menor latitud). Esto se puede observar en la ecuación $G_o' = G_o / \text{Cos}(\theta_z)$ de la Figura 4, que nos indica que la radiación exoatmosférica varía por el ángulo cenital.

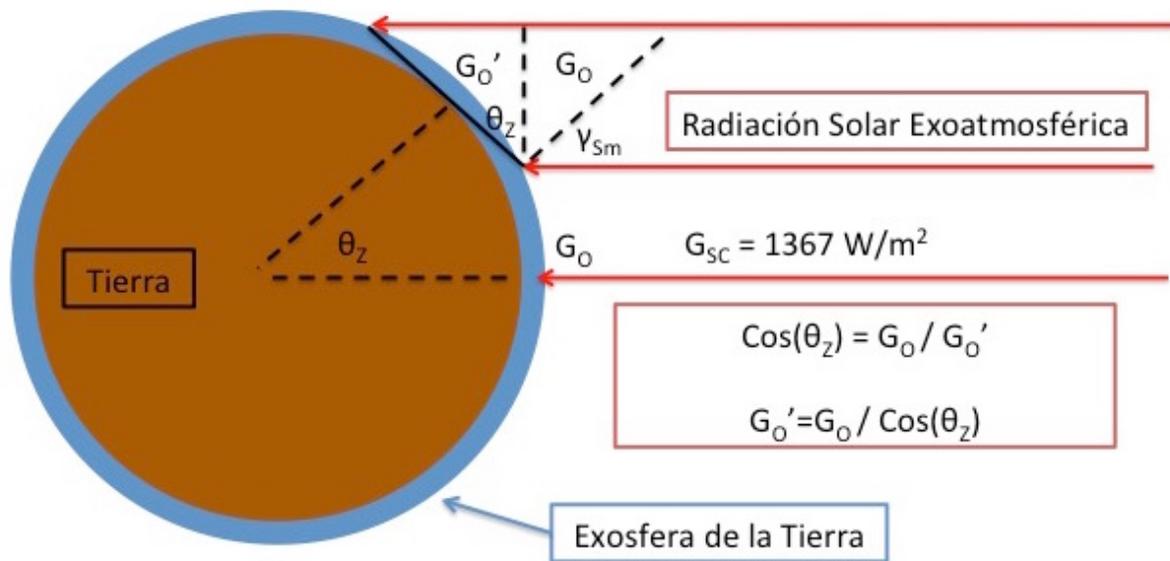


Figura 4. Incidencia de la radiación solar en la Exosfera y su variación hacia los polos. A mayor latitud menor radiación solar y viceversa.

2.3 Radiación solar en la atmósfera

La radiación solar que entra a atmósfera, experimenta procesos de absorción y dispersión (Gonzalo Abal, 2012), los cuales determinan la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, además de los procesos positivos y negativos del balance de energía (Figura 5). De acuerdo a recientes estimaciones del balance de energía de la Tierra, presupuestas por Wild et al. (2013), el 22% de la radiación solar que llega a la atmósfera se refleja al espacio, el 23% es absorbida por las nubes, los gases y aerosoles en la atmósfera, y sólo el 54% de la radiación solar llega a la superficie de la Tierra. Algunos de los mecanismos relevantes a estas estimaciones son los siguientes:

1. El ángulo cenital (θ_z), indica la posición del Sol para cualquier punto en la superficie y determina el largo del camino óptico que la radiación solar podría recorrer hasta la superficie terrestre. Entre menor sea el ángulo cenital mayor será el camino óptico y los procesos de absorción y dispersión se acentuarán.

Este efecto no es lineal porque los componentes de la atmósfera se encuentran comprimidos cerca de la superficie. La densidad de la atmósfera disminuye con gran rapidez conforme aumenta la altura, antes de los 15 Km de altura está el 95% de toda la materia atmosférica y en los primeros 80 Km, los distintos componentes de gases atmosféricos se mantienen casi invariables.

2. La altitud sobre el nivel del mar es un componente importante que ayuda a determinar el largo del camino óptico de la radiación solar. Como se mencionó anteriormente, la mayor concentración de gases y aerosoles se encuentran cercanos a la superficie, por lo que a mayor altitud disminuyen los procesos de absorción y dispersión. Vilaplana (2004) menciona que la radiación UV puede aumentar entre un 4% y un 23% por cada kilómetro de elevación sobre el terreno, esta conclusión se obtuvo de el análisis de series de observaciones del ozono y la radiación UV, con el cual se estableció tendencias, dependencia ozono-radiación UV y climatología.

3. La composición de la atmósfera, es una mezcla no homogénea de varios gases; 78% nitrógeno (N), 20.9% oxígeno (O), 0.9% argón (Ar), 0.04% dióxido de carbono (CO₂) y en porciones menores; vapor de agua (H₂O), helio (He), hidrógeno (H), ozono (O₃) y muchos más. También existen partículas sólidas y líquidas en suspensión (aerosoles). Las especies de gases y aerosoles tienen diferente propensión para absorción y reflexión de la radiación (Gil et al., 1996), además de encontrarse no uniformemente distribuidas en altitud y lateralmente (Gil et al., 1996; Peters et al., 2007).

En la atmósfera el proceso de absorción ocurre principalmente en el O₃, CO₂, H₂O y el oxígeno molecular (O₂). Estos gases absorben aproximadamente el 23 % de la radiación que llega a la atmósfera (Figura 5; Wild, 2013). La absorción de la radiación solar por el O₃, principalmente es en el rango espectral de las ondas ultravioletas, se presenta en la estratosfera. El vapor de agua y el CO₂ absorben y reflejan ondas en el espectro infrarrojo, aproximadamente la atmósfera refleja el 22 % de la radiación (Wild, 2013). El proceso de dispersión de la radiación solar se presenta comúnmente con las moléculas de aire, agua (vapor y gotas líquidas en suspensión) y en aerosoles. La cantidad de radiación solar dispersada, depende del camino óptico recorrido en la atmósfera y de la relación entre la longitud de onda y la densidad de los dispersores o bien el tamaño de concentraciones de estos.

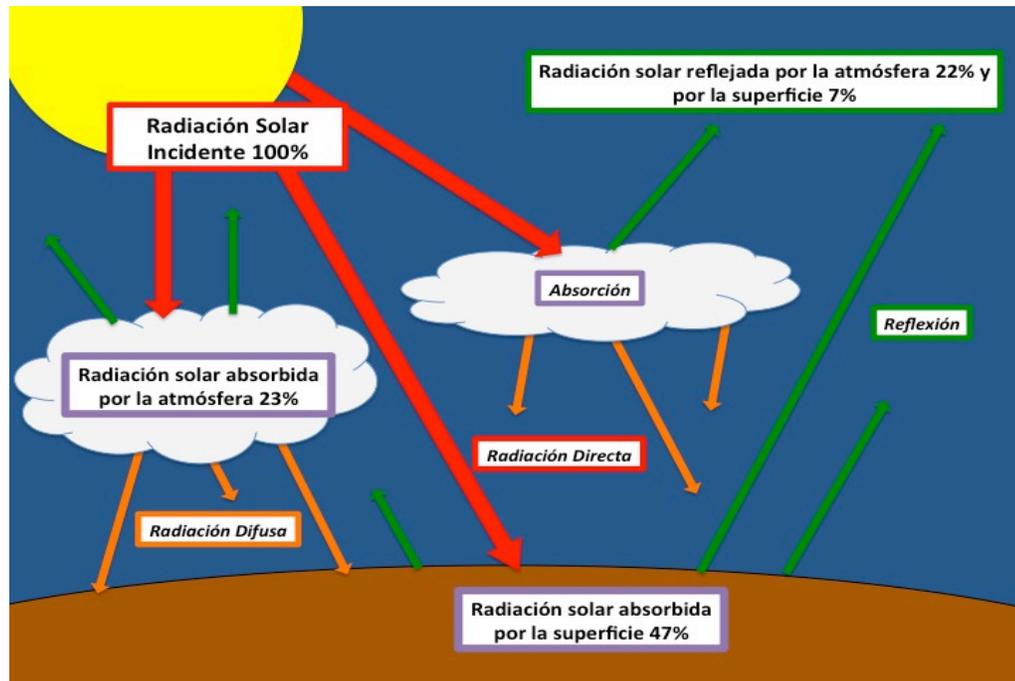


Figura 5. Representación de los procesos de absorción y reflexión que afectan a la radiación solar y al balance de energía global estimado en la atmósfera. Los porcentajes, indican las mejores estimaciones promedio a nivel global presupuestas por Wild en el 2013. Además podemos observar las componentes principales de la radiación solar, directa (componente direccional) y difusa (componente no es direccional).

Estos procesos de atenuación harán que la radiación solar en la atmósfera se divida en dos componentes principales, radiación directa y radiación difusa (Figura 5), para lo cual existen diferentes modelos que estiman estas variables (por ejemplo: Liu & Jordan, 1960; Hottel, 1976; Page, 1986; Haurwitz, 1945). Tales modelos requieren de parámetros para representar los diferentes procesos que se generan en la atmósfera y superficie, aunque no todos son accesibles y varían espacial y temporalmente como lo es humedad relativa y la temperatura (Reindl et al., 1990; López, 2013). Por conveniencia en su uso generalizado, el modelo de Hottel (1976), estima la transmisión de la radiación solar directa en un ideal de cielo despejado. En este trabajo se presentan tablas de sus parámetros aunque su derivación no sea específica.

2.4 Radiación solar en la superficie

Después que la radiación solar atraviesa la atmósfera y pasa por diferentes procesos de atenuación, aproximadamente el 54 % de la radiación total que incidió en la exosfera llega a la superficie terrestre. Como se sabe la radiación solar es energía, su balance en la superficie depende de factores como; el

albedo, la cantidad de agua, nieve o vegetación presentes, la rugosidad y tipo de superficie. El balance de energía neto en la superficie, se determina de forma directa de las temperaturas superficiales y de las características de la capa atmosférica que experimenta los efectos directos de la superficie terrestre. Los elementos del balance de energía en la superficie incluyen:

5. La radiación solar incidente total absorbida en la superficie (determinada por el ángulo solar y el albedo de la superficie).
6. La cantidad de radiación de onda larga emitida por la superficie y reflejada por la atmósfera hacia la superficie (radiación de onda larga).
7. La cantidad de energía absorbida usada para calentar la superficie (calentamiento sensible), para la evaporación y el calentamiento del suelo subsuperficial (flujo de calor del suelo).
8. La facilidad con que la superficie libera energía a través de los flujos de calor sensible y latente.

La absorción de la radiación solar que incide en la superficie y su subsiguiente intercambio de calor sensible y latente con la atmósfera y el suelo, se ve afectada por una configuración detallada de estos factores:

1. Tipo de superficie, como vegetación, suelo, agua o hielo.
2. Tipo y cantidad de vegetación, determinada por medio del albedo, las características de evapotranspiración y la cantidad de vegetación viva, que se conoce como fracción de verdor.
3. Tipo de suelo, para determinar la porosidad y las propiedades térmicas.
4. Rugosidad de la superficie, determinada por la vegetación, la topografía y por la velocidad del viento sobre el agua.

La evaporación es la variable que interconecta el balance hídrico con el balance de energía en la superficie. Esta se ve afectada por la cantidad de radiación solar incidente, la cantidad de nieve o agua, entre otras cosas. La mayoría de los modelos que estiman la radiación superficial solo toman en cuenta los procesos de atenuación de la atmósfera (Por ejemplo: Hottel, 1976; Liu & Jordan, 1960; Powell, 1984; Page, 1986) y no la interacción de la atmósfera con la superficie terrestre. Para estimar esta interacción los modelos calibran sus resultados con variables de la superficie, como la humedad relativa y la temperatura.

2.5 Modelos y estudios de radiación solar en México

Los primeros estudios de radiación solar en México fueron realizados por Ladislao Gorczyński (1920) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, Hernández et al., 1991), registrando principalmente mediciones de radiación solar directa efectuadas por un periheliómetro de compensación eléctrica. Los resultados fueron publicados en boletines del SMN intitulados como “Serie del observatorio astronómico” (Rincón, 1999).

Actualmente en México se tiene un mayor registro de datos de radiación solar debido a las estaciones automáticas (EMAs) que se han ido instalando a lo largo de los años, sin embargo, hace algunos años no se contaba con datos de radiación solar para todo el país, por lo que varios expertos en el tema adaptaron o propusieron modelos para determinar la radiación solar, la mayoría partiendo del modelo de Angström (1924) y de Glover & McCulloch (1958).

El modelo de regresión de Angström (1924; ecuación 1) ha sido el más utilizado en el mundo para estimar radiación solar global:

$$Q_g = Q_e \left(a + b \left(\frac{S_s}{S_o} \right) \right) \quad (1)$$

Donde la radiación global diaria promedio (Q_g) se obtiene a partir de la radiación exoatmosférica (Q_e), las horas promedio diarias de insolación (S_s), de la duración astronómica de la insolación (S_o) y de las unas constantes que relación la radiación y la insolación (a , b), las cuales dependen de la localidad y clima. Actualmente es a base de los nuevos modelos.

El modelo de Glover & McCulloch (1958, ecuación 2), incluyo la latitud del lugar del estudio.

$$\frac{Q_g}{Q_e} = 0.29 \cos \theta + 0.5 \left(\frac{S_s}{S_o} \right) \quad (2)$$

Donde, Q_g es la radiación global diaria media mensual y Q_e es la radiación exoatmosférica, θ es la latitud del lugar en grados, S_s es la duración de la insolación observada y S_o es la duración de la insolación astronómica.

Almanza & López (1975), usaron la ecuación propuesta por Reddy (1971), con la cual estimaron la irradiación global para 38 localidades utilizando la información meteorológica publicada por el SMN disponible en ese momento. Los resultados obtenidos se utilizaron para elaborar mapas de isohelias.

Hernández (1976) utilizó una ecuación no lineal basada en la ecuación de Angström (1924), donde las horas insolación de fueron obtenidas a partir de fotografías satelitales de nubosidad para 98 localidades, durante 1969 a 1971. Además calculó indirectamente los valores de heliofanía relativa, lo que incremento la incertidumbre de los datos obtenidos por el modelo de Angstrom.

Galindo & Chávez (1977) aplicaron la ecuación de Angström (1924) para calcular el promedio mensual de la irradiación global diaria en 136 localidades de México. Jáuregui (1978) utilizó la misma ecuación en la que aplica una corrección por latitud, con la que calculo la irradiación global para 32 estaciones y realizó mapas de isohelias por interpolación a mano libre.

El método que desarrolló Justus, Paris & Tarpley (1986) dentro del proyecto "Agriculture and Resources Inventory Surveys through Aerospace Remote Sensing" (AgRISTARS) para producir mapas de insolación en Estados Unidos, México y Sudamérica utilizó imágenes GOES del canal visible. Surgió como una simplificación del modelo desarrollado por Tarpley (1979), y cuenta sólo con una ecuación que considera los tres tipos de cobertura nubosa. El modelo realiza regresiones estadísticas entre los datos de las estaciones en superficie y los valores de los niveles de brillo de los píxeles donde se encuentran ubicadas las estaciones, para determinar las constantes que permiten calcular posteriormente la radiación incidente con otros valores de los niveles de brillo de los píxeles. Este fue el primer trabajo en México que utilizó valores cuantitativos de un satélite y no son solo imágenes como en trabajos previos.

Varios artículos relacionados con la radiación solar (Hernández & Regalado, 1975; Hernández et al., 1978; Hernández & Geffroy, 1980), sirvieron como base para realizar el Atlas Solar de la Republica Mexicana (Hernández et al., 1991), el cual utilizó el modelo de Brichambaut & Lamboley (1974) para estimar la radiación solar global mensual, en conjunto con imágenes satelitales para obtener la nubosidad regional. Un ejemplo de los resultados que obtuvo se observa en la Figura 6.

Almanza y Muñoz (1994), utilizaron la ecuación 3 deducida por Reddy (1971) como base de su trabajo para generar mapas de irradiación solar global para México:

$$Q_g = K \left[\frac{(1 + 0.8P)(1 - 0.2t)}{\sqrt{h}} \right] \quad (3)$$

Donde se calcula la irradiación solar global (Q_g) en ly día^{-1} (unidad de distribución de energía sobre un área, 1 ly día^{-1} es igual a 0.4858 Wm^{-2}) a partir de humedad relativa (h), t es número de días lluviosos durante el mes entre el número de días del mes, P es el número de horas promedio de insolación durante el mes entre la longitud del día durante el mes (K es deducido por la ecuación 3.1).

$$K = (\lambda N + \psi_{ij} \cos \theta) 10^2 \quad (3.1)$$

Donde λ es el factor de latitud, N es el la longitud promedio del día durante el mes, ψ_{ij} es el factor de estacional que depende del mes del año y θ es la latitud del lugar en grados. Un ejemplo de estos mapas podemos verlo en la Figura 7.

Tejeda et al. (2006) propusieron dos métodos para estimar la radiación global en México, basándose en los modelos de Glover & McCulloch (1958), donde se analizaron 11 localidades que contaban con observatorios meteorológicos, EMAs y normales climatológicas. El primer método utilizó datos de insolación medidos por el heliógrafo y el segundo utilizo datos de días nublados, medio nublados y despejados, registrados en las localidades.

Gómez et al. (2011) propusieron el programa Solex para estimar la irradiación solar global, el cual se basa en el modelo de Glover & McCulloch (1977; ecuación 4). En este programa los datos de entrada pueden ser los promedios mensuales de insolación medidos con el heliógrafo o los promedios mensuales de nubosidad (días nublados, medio nublados y despejados).

$$Q_g = Q_e \left[(0.29 \cos \varphi) \left(\frac{0.52 * S}{S_0} \right) \right] \quad (4)$$

Donde se calcula la irradiación global Q_g en Wm^{-2} , a través de la irradiación exoatmosférica Q_e (Wm^{-2}), la latitud del lugar (φ), la insolación astronómica S (horas) y la insolación observada S_0 (horas).

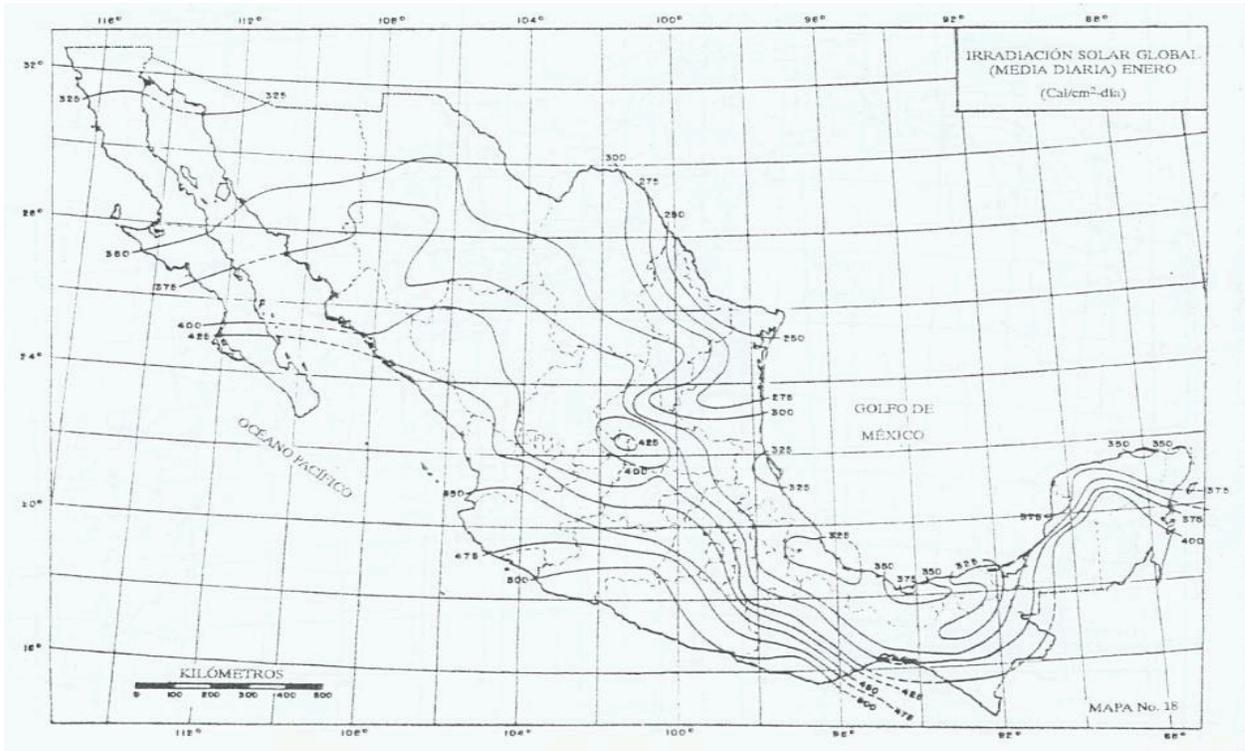


Figura 6. Mapa de radiación solar global (cal cm⁻² día) para el mes de enero, correspondiente al modelo de Hernández (1991).

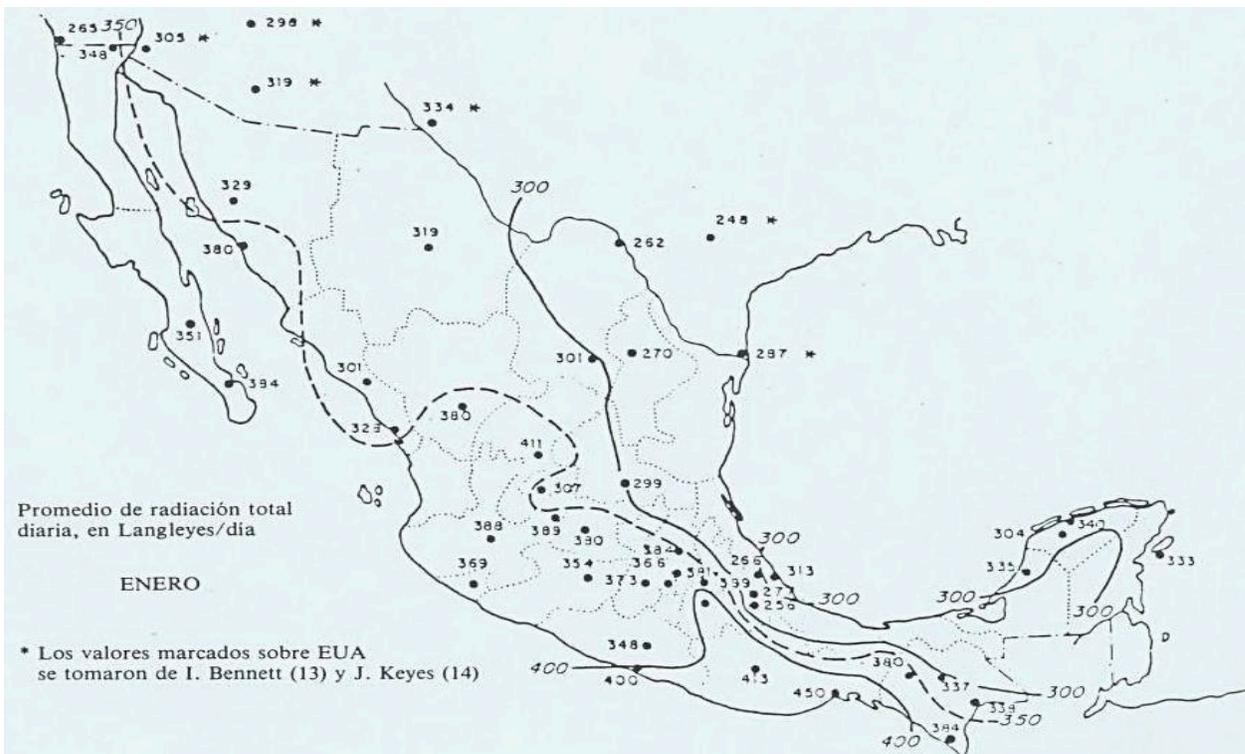


Figura 7. Mapas de radiación solar global (ly día⁻¹) para el mes de enero, correspondiente al modelo propuesto por Almanza & Muñoz (1994).

Capítulo 3. Objetivos y justificación

3.1 Objetivo general

Evaluar la variación espacial y temporal de la reducción por efecto atmosférico de la radiación solar incidente sobre la península de Baja California en el año 2014.

3.1.1 Objetivos específicos

1. Integrar bases de datos de la radiación exoatmosférica estimada y de radiación superficial estimada bajo condiciones de cielo despejado, junto con la radiación superficial incidente estimada por GSIP y la registrada por las estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional.
2. Evaluar la variación espacial y temporal de la transmisión atmosférica y radiación superficial sobre la península de Baja California.
3. Evaluar la relación espacial y temporal de la radiación solar superficial medida y estimada.
4. En caso de encontrar uno o pocos modelos útiles, aplicarlos a mapeo a nivel peninsular.

3.2 Justificación

La radiación solar es un recurso natural, útil para diferentes áreas del conocimiento, por ejemplo nos ayuda a generar presupuestos globales del balance de energía de la Tierra (Wild et al., 2013), a determinar el nivel de productividad en cultivos agrícola (Hall, 2001; Mavi & Tupper 2004; Rodríguez et al., 1999), en la atmósfera nos ayuda a estimar la cantidad de gases presentes (García et al., 2012), a entender el cambio climático en el planeta (Wild, 2009) y como fuente de energía renovable (Duffie & Beckman, 2013), entre otras cosas.

Actualmente en México no existen muchos estudios que utilicen el recurso de la radiación solar. Esto se debe a la falta de información en diferentes zonas de México y a falta de recursos, pero con la “Ley de Transición Energética” aprobada por la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión de México

(DOF, 2015), se espera que impulse el estudio de la energía solar. Esto servirá de base para diferentes estudios posteriores que se quieran generar.

El presente trabajo estudia la radiación solar por el interés científico que se genera en la península de Baja California y principalmente se estudia la reducción de la radiación solar por el efecto atmosférico. El objetivo de este trabajo (además de los anteriormente descritos) es generar un antecedente actual del estudio de la radiación solar en México.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Área de estudio

El área de estudio es la península de Baja California (Figura 8), localizada al noreste de México, flanqueada al Oeste por el Océano Pacífico y al Este por el Golfo de California. Tiene una longitud aproximada de 1250 km y comprende los estados de Baja California (INEGI, 2016a) y Baja California Sur (INEGI, 2016b). La cordillera peninsular se conforma por cuatro cadenas montañosas y otras de menor importancia se extienden a lo largo de la península, dominando el panorama peninsular la Sierra de San Pedro Mártir, con alturas que sobrepasan los 3,000 m. La Sierra de Juárez que se encuentra en el extremo norte de Baja California, tiene una altura de alrededor de 1500 m y es relativamente plana en la cima. Por su parte en Baja California Sur descuella la cordillera de origen volcánico, conocida como Sierra de la Giganta. La cordillera peninsular tiene efectos importantes en limitar, afectar y dirigir flujos en la atmósfera baja entre el Pacífico y el Golfo (Figura 9).

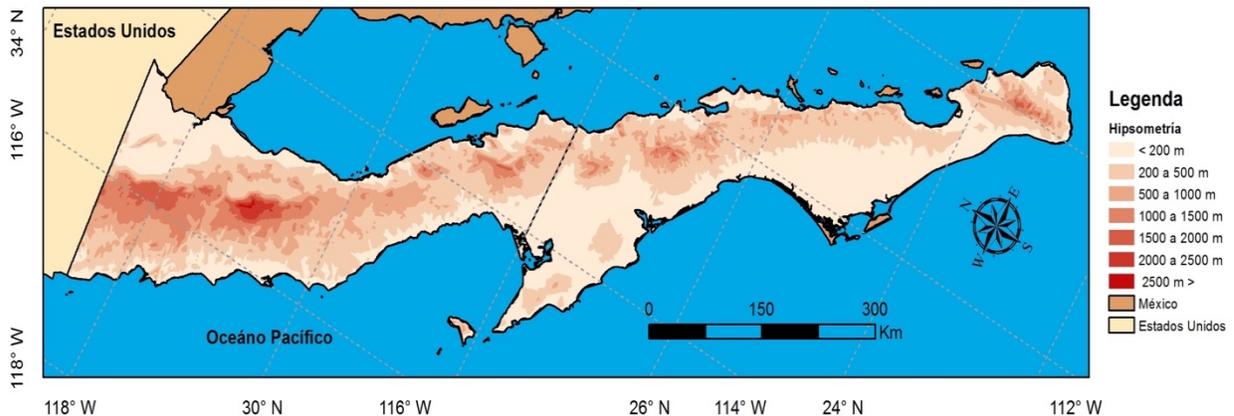


Figura 8. Rangos hipsométricos de la península de Baja California, México (información de INEGI et al., 1990).

La línea costera que bordea la península se caracteriza por poseer bahías, puertos, cayos, esteros y playas. Alrededor de la península hay 35 islas, sin contar islotes, la mayoría del lado del golfo. Del lado del Pacífico se encuentra la Isla de Guadalupe que es oceánica, pero el resto están cercanas a la costa y comparten sus características geológicas.

La extensión latitudinal de la península conlleva a una diferenciación del clima: el noroeste se caracteriza por influencia templada y hacia el sureste se aumenta la influencia tropical (García & Mosiño, 1968;

Salinas et al. 1990). Los trabajos sobre el clima en la península típicamente se enfocan en la precipitación, con pocos análisis sobre temperaturas, nubosidad o vientos (excepto ciclones tropicales). Además los forzamientos externos (radiación solar, fenómeno del Niño, etc.) afectan las condiciones atmosféricas de la región, por ejemplo el cambio en el patrón de la temperatura superficial del océano que rodea a la península. Teniendo una temperatura menor al norte del océano Pacífico y mayor hacia el sur del Pacífico y el Mar de Cortés (Figura 10), estos patrones de la temperatura superficial del océano afectan directamente al comportamiento de la nubosidad en la península (Douglas, 1995; Schwartz et al., 2014).

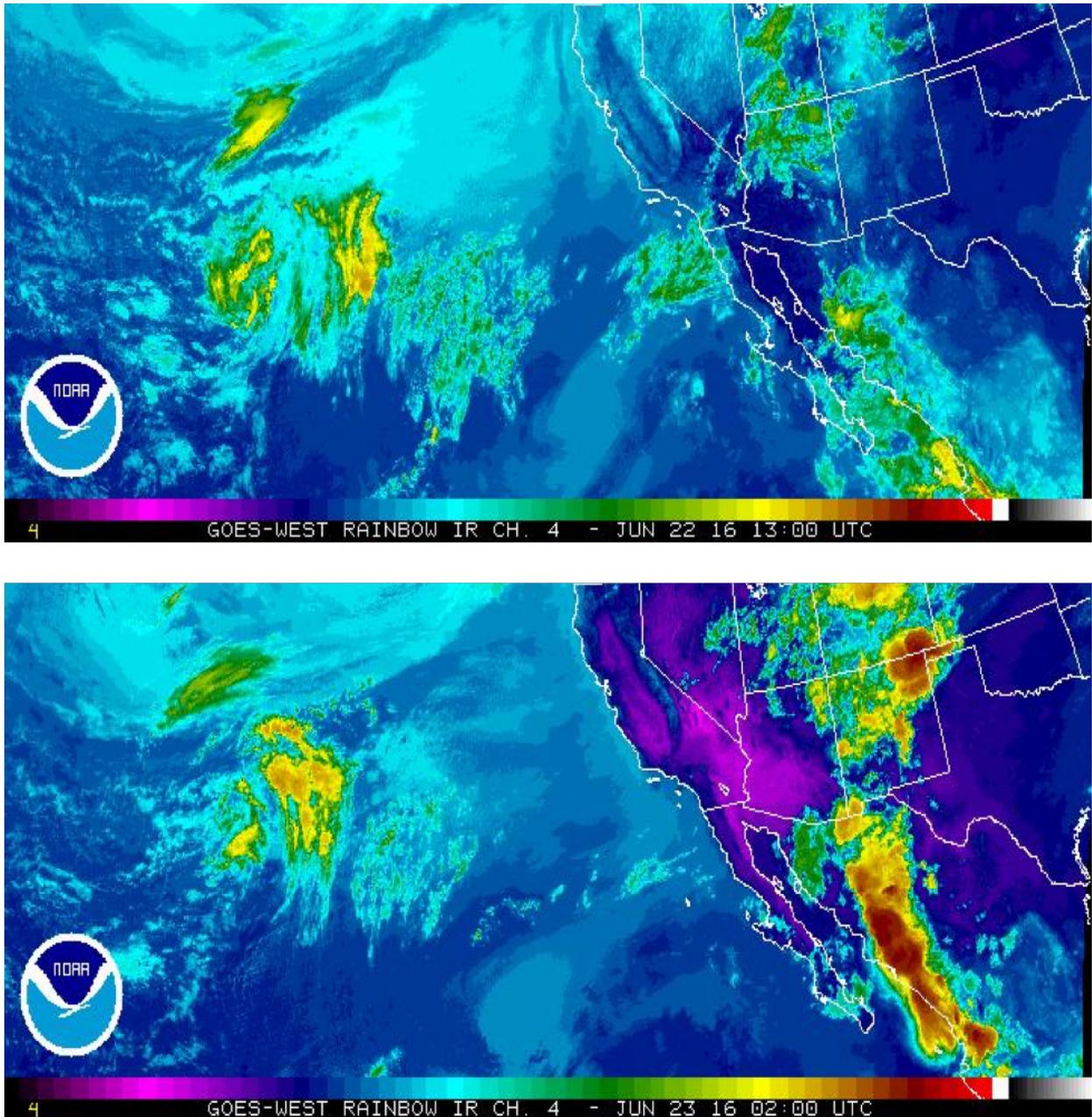


Figura 9. Imágenes satelitales GOES, donde se observa la nubosidad cercana a la Península de Baja California para las 6 am (imagen de arriba) y 7 pm (imagen de abajo) del día 22 de Junio del 2016 (Ellrod, 2016).

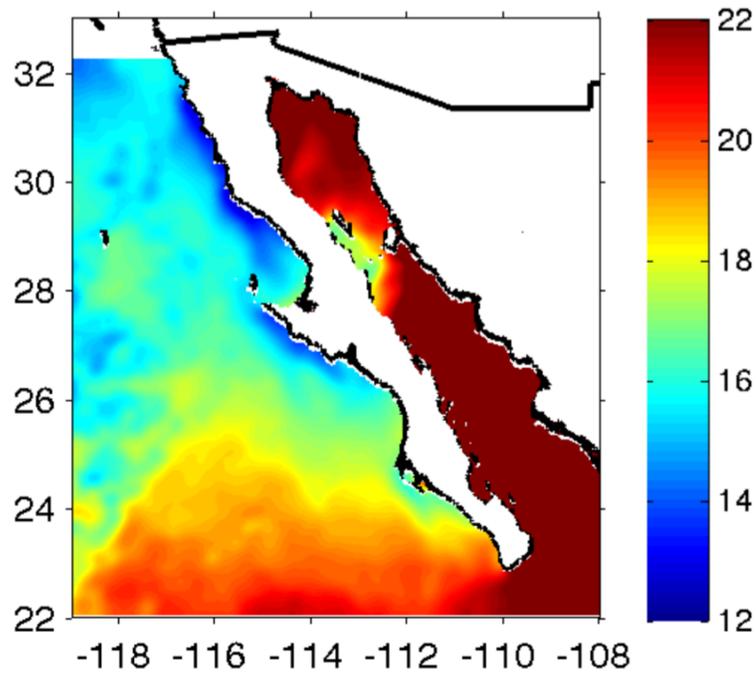


Figura 10. Temperatura superficial del océano Pacífico y del Golfo de California ($^{\circ}\text{C}$). Promedios mensuales correspondientes al mes de mayo para los años 1999 al 2004 (figura cortesía de la Dra. Paula Pérez Brunius de CICESE, 2016).

4.2 Fuentes de información de radiación solar

Para el presente trabajo se utilizaron las siguientes bases de datos, aparte de las estimaciones de la radiación exoatmosférica por un modelo físico y la estimación de radiación superficial con cielo despejado por un modelo empírico.

1. Base de datos de radiación solar superficial incidente, registrada por las estaciones meteorológicas automáticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), distribuidas en la península de Baja California.
2. Base de datos de radiación solar superficial incidente del producto de insolación y superficie del Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES), conocido como GSIP por sus siglas en inglés.

4.2.1 Radiación superficial registrada por estaciones meteorológicas

Las 12 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) distribuidas a lo largo de la península de Baja California (Figura 11) que tienen registros de radiación solar superficial para el año 2014, se encuentran descritas en la Tabla 1. Estas estaciones registran los valores de radiación solar superficial por medio del piranómetro modelo CMP11 de la empresa Kipp & Zonen. El piranómetro mide la radiación solar en un rango espectral de 285 nm a 2800 nm con una sensibilidad de 7 a 14 $\mu\text{VW}^{-1}\text{m}^{-2}$. Tiene un campo de visión de 180° y trabaja a temperaturas entre -40 °C y 80 °C (Kipp & Zonen, 2010). Para más información de la ficha técnica del piranómetro, consultar el Anexo 1.

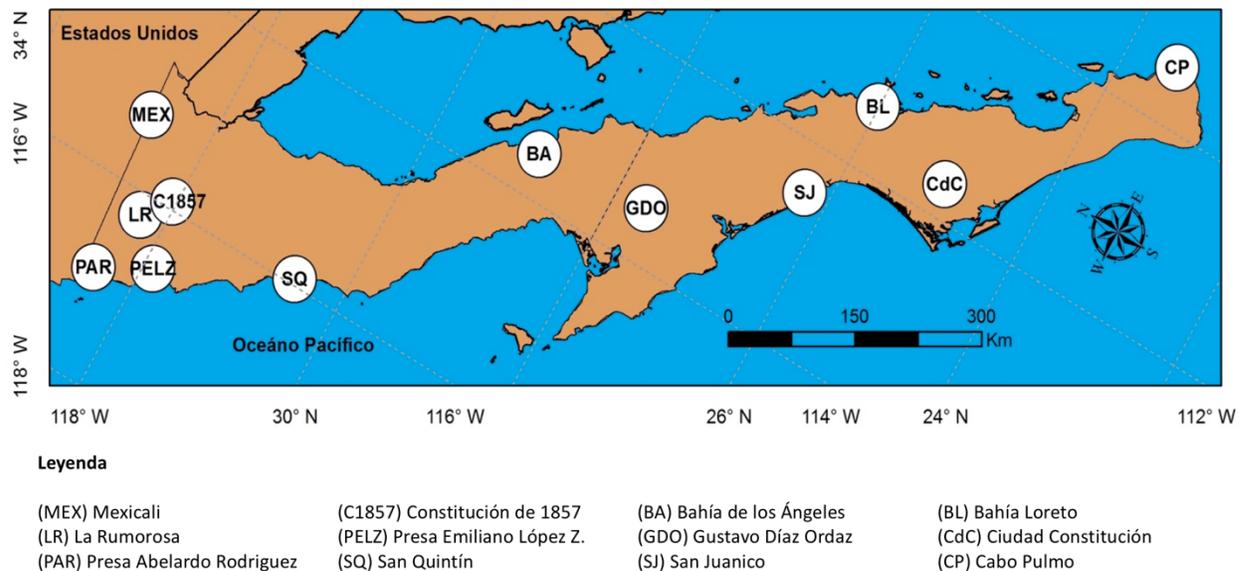


Figura 11. Estaciones meteorológicas automáticas del SMN con registros para el año 2014 de radiación solar superficial incidente en la península de Baja California (CONAGUA, 2016).

El piranómetro (Figura 12) utiliza un principio de detección termoelectrónica, por el que la radiación entrante es absorbida casi en su totalidad por una superficie horizontal ennegrecida, para una gama de longitudes de onda muy amplia. El incremento de la temperatura resultante se mide a través de termopares conectados en serie o en serie/paralelo para conformar la termopila. Las uniones activas (calientes) se sitúan por debajo de la superficie ennegrecida del receptor y utilizan la radiación absorbida por el revestimiento negro para calentarse. Las uniones pasivas (frías) de la termopila mantienen un contacto térmico con la carcasa del piranómetro, que actúa como disipador térmico. Es necesario proteger el revestimiento negro del detector de las influencias externas que pueden afectar las mediciones, como las precipitaciones, la suciedad o el viento. Casi todas las cúpulas semiesféricas individuales o dobles de los piranómetros utilizan un cristal de calidad óptica.

Tabla 1. Coordenadas y alturas de las estaciones meteorológicas automáticas con registros de radiación solar (CONAGUA, 2016).

Estación Meteorológica Automática (EMA)	Estado	Latitud	Longitud	Altitud (m)
Mexicali	Baja California	32°40'01"	115°17'27"	50
Presa Abelardo Rodríguez	Baja California	32°26'50"	116°54'30"	156
La Rumorosa	Baja California	32°16'20"	116°12'20"	1262
Constitución de 1857	Baja California	32°02'31"	115°55'18"	1576
Presa Emiliano López Zamora	Baja California	31°53'29"	116°36'12"	32
San Quintín	Baja California	30°31'54"	115°56'14"	32
Bahía de los Ángeles	Baja California	28°53'47"	113°33'37"	10
Gustavo Díaz Ordaz	Baja California Sur	27°38'34"	113°27'27"	37
San Juanico	Baja California Sur	26°15'27"	112°28'43"	36
Bahía Loreto	Baja California Sur	26°00'35"	111°21'14"	1
Cd. Constitución	Baja California Sur	25°00'35"	111°39'48"	28
Cabo Pulmo	Baja California Sur	23°26'42"	109°25'28"	1



Figura 12. Piranómetro CMP11 donde se observa la última calibración que se le realizó al sensor (Imagen cortesía del Ing. Manuel E. Colima Sánchez de CONAGUA, 2016).

En función del cristal, la transmisión varía de 300 nm (o menos) hasta unos 3000 nm. Las cúpulas dobles ofrecen una estabilidad mejor en condiciones dinámicamente cambiantes gracias al aislamiento adicional de la superficie del sensor frente a factores medioambientales como el viento y las fluctuaciones repentinas de temperatura. La forma de la cúpula y el índice de refracción del material mejoran la respuesta del sensor cuando el sol se sitúa cerca del horizonte al curvar los rayos de radiación entrantes. El incremento en el índice de refracción aumenta todavía más la respuesta direccional, mientras que la mejora en la conductividad térmica con respecto al cristal ofrece otras ventajas en términos de rendimiento.

Cuando el piranómetro está en funcionamiento, su rendimiento está correlacionado con parámetros como la temperatura, el nivel de radiación, ángulo de incidencia, etcétera. Estos parámetros afectan directamente la sensibilidad del sensor como se observa en las Figuras 13, 14 y 15. Normalmente, se utiliza la cifra de sensibilidad suministrada por la empresa para calcular las radiaciones, si las condiciones difieren considerablemente de las condiciones de calibración se debe esperar incertidumbre en las radiaciones calculadas.

Para un instrumento estándar secundario (alta calidad) como el que tiene las EMAs del SMN, la Organización Mundial de Meteorología (OMM) espera errores máximos en la radiación horaria total del 3 %. En el total diario se espera un error del 2 %, porque algunas variaciones en la respuesta se anulan entre sí, si el periodo de integración es largo. Se espera una incertidumbre máxima del 2 % para totales horarios y del 1 % para totales diarios en el piranómetro CMP 11 (Kipp & Zonen, 2010).

Los piranómetros de las estaciones meteorológicas están configurados para medir radiación global en Wm^{-2} cada 10 min, los datos registrados son guardados en un formato de salida de texto (txt) y administrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de México.

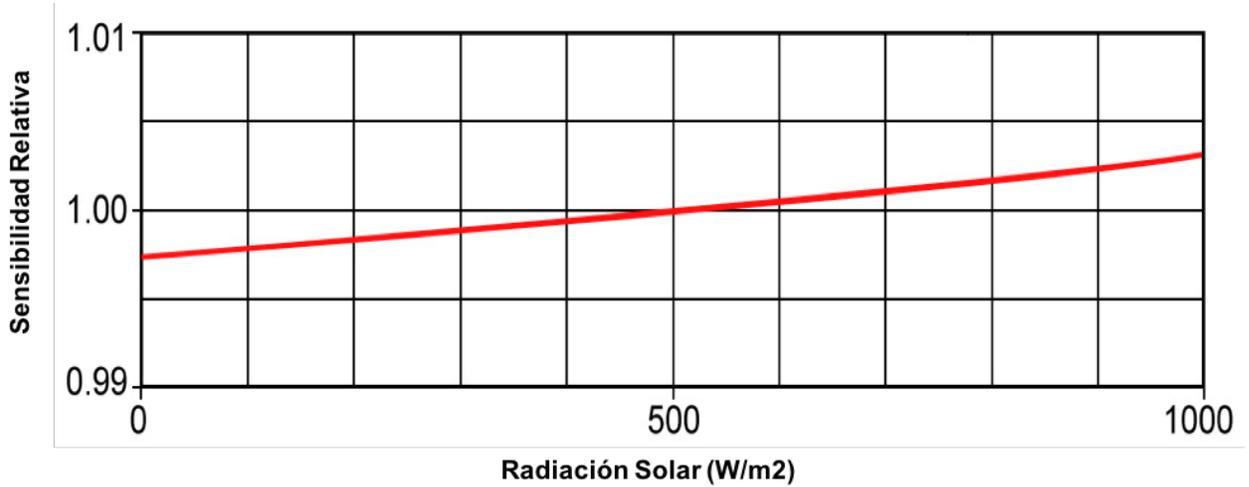


Figura 13. Variación de la sensibilidad de la termopila con respecto a la radiación solar para un rango de 0 a 1000 Wm^{-2} , refiriendo la calibración en 500 Wm^{-2} (Kipp & Zonen, 2010).

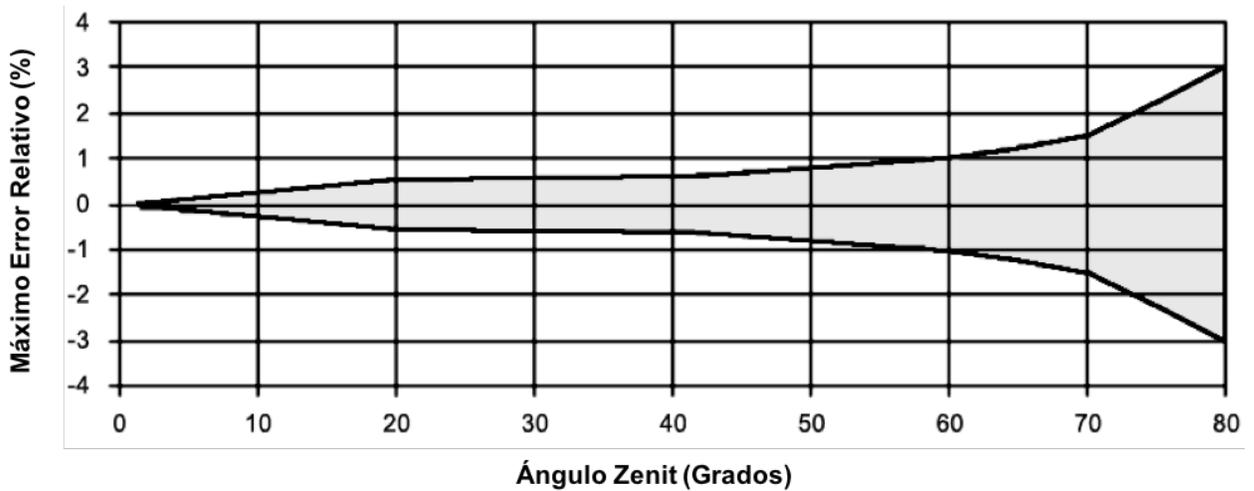


Figura 14. Máximo error direccional (%) de la energía registrada en relación al ángulo del Sol (Kipp & Zonen, 2010).

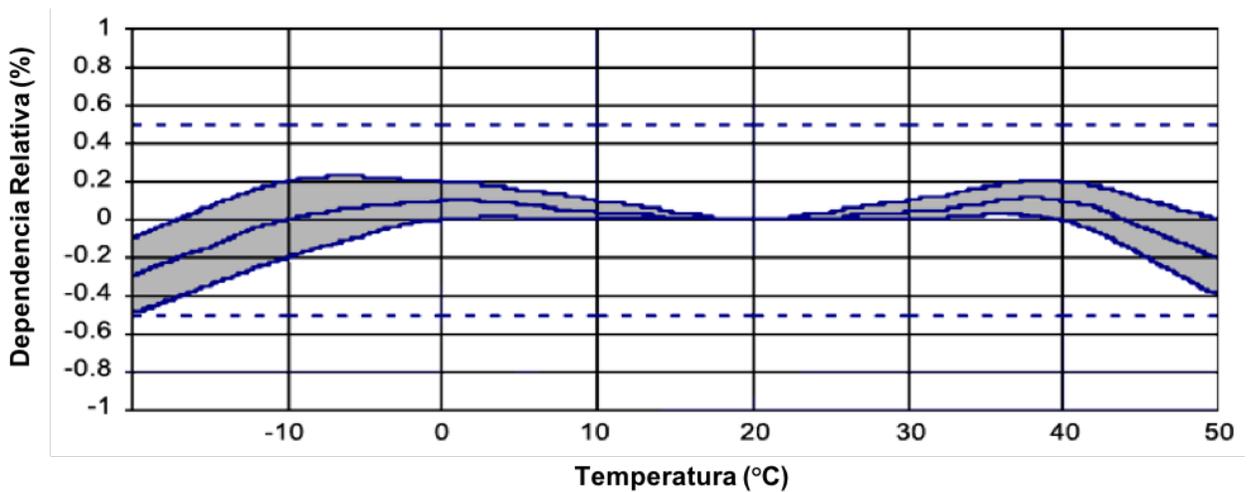


Figura 15. Dependencia de la sensibilidad de la termopila con respecto a la variación de la temperatura. Para un piranómetro dado la respuesta está en la región entre las líneas curvas (Kipp & Zonen, 2010).

4.2.2 Radiación superficial estimada por GSIP

GOES Surface and Insolation Product conocido como GSIP, es un modelo que tiene como objetivo principal proveer información (como mapas con resolución espacial de 1/8 de grado y resolución temporal de 1 hora) en tiempo real de la insolación y la temperatura superficial para Estados Unidos. El producto llega a cubrir gran parte de Norteamérica, incluyendo la península de Baja California, pero con una resolución temporal menor (cada 3 horas).

El modelo GSIP se basa en modelos de transferencia de flujos de radiación (Joseph et al., 1976; Pinker & Ewing, 1985) y en la física no lineal que existe entre las nubes y la radiación solar (Pinker & Laszlo, 1992; Pinker et al., 2002; Laszlo et al., 2008; Sengupta et al., 2010). GSIP presta atención a los procesos de absorción y dispersión en la atmósfera, a la interacción de la radiación solar con la superficie y a la naturaleza bidireccional de la radiación en la cima de la atmósfera (Pinker & Laszlo, 1992). El modelo GSIP utiliza diferentes insumos para generar sus diferentes estimaciones entre las que se encuentran:

- Mediciones de los 5 canales del sensor Imager de GOES West y East, principalmente se utilizan los canales visible (0.52 μm a 0.71 μm) e infrarrojo cercano (3.73 μm a 4.07 μm) porque detectan mejor los fenómenos de atenuación que tiene la radiación solar en la atmósfera.
- Mediciones de los 11 canales del sensor Imager de MSG 3 (METEOSAT 10).
- Mediciones de los 5 canales del sensor Imager de MTSAT 1R y 2R.
- Perfiles atmosféricos (temperatura, presión, humedad, entre otros) del modelo de predicción meteorológico Global Forecast System (GFS), los cuales se utilizan para recuperar las características ópticas de las nubes (Miller et al., 2012). Son proporcionados por la National Centers for Environmental Prediction (NCEP).
- Datos y detección de nubes generados en International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) desarrollado por National Environmental Satellite Data and Information (NESDIS).
- Datos de la superficie (temperatura, presión, humedad, entre otros) del modelo de predicción meteorológico Global Forecast System (GFS), proporcionados por NCEP.
- Datos de cobertura de nieve y hielo en la superficie terrestre del modelo Interactive Multisensor Snow & Ice Mapping System (IMS).

Estos insumos son procesados cada hora o cada 3 hora, dependiendo del dominio (escenario operacional) en el que se genere las estimaciones (Kondratovich, 2013).

1. GENHEM (GOES East Northern Hemisphere Extended). Su cobertura espacial es el Noreste de América con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de una hora.
2. GWNHEM (GOES West Northern Hemisphere Extended). Su cobertura espacial es el Noroeste de América con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de una hora.
3. GEDISK (GOES East Full Disk). Tiene una cobertura espacial continental del Este de América con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de 3 horas.
4. GWDISK (GOES West Full Disk). Tiene una cobertura espacial continental del Oeste de América con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de 3 horas.
5. MSGFD (MSG Full Disk). Su cobertura espacial incluye el Oeste de Europa, Noroeste de África y el Noreste del Atlántico con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de una hora.
6. MTSFD (MTSAT Full Disk). Su cobertura espacial incluye Oceanía, Sureste de Asia y el Oeste del Pacífico con una resolución espacial de un $1/8$ de grado y con una resolución temporal de una hora.

Algunas de las estimaciones de salida que el modelo incluye (entre otros) son los flujos de radiación visible, infrarrojo de onda corta e infrarrojo de onda larga; temperatura superficial y propiedades de las nubes. Los flujos de radiación se calculan para direcciones incidentes (radiación incidente) y ascendentes (radiación reflejada) de la superficie terrestre y hasta la cima de la atmósfera. Como productos finales primarios tenemos la insolación que se representa con la estimación del flujo incidente de radiación de onda corta superficial y la radiación fotosintéticamente activa o PAR (photosynthetically active radiation) que se representa con la estimación del flujo incidente de radiación visible superficial. Estos productos primarios se utilizan en modelos de predicción de la salud de los arrecifes de coral y en modelos hidrológicos (por ejemplo, la influencia de la energía solar en la evapotranspiración).

En la actualidad el modelo GSIP estima una gran cantidad de productos para cada dominio y hora (para más información de los productos que contiene GSIP, consulte el Anexo 2), los cuales son guardados en archivos de salida tipo raster cell grid, bajo un formato HDF (Hierarchical Data Format), binario o netCDF (Network Common Data Form), que son administrados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA; Kondratovich, 2013).

El marco conceptual del modelo GSIP (Pinker & Lazlo, 1992; Pinker et al., 1995) viene derivado de la ley de conservación de energía (ecuación 5), que nos describe como la suma de reflectividad (R), absorción (A) y transmisión (T ó τ) debe ser igual a la radiación incidente (I); esta ley se aplica en la atmósfera con modelos de cielo despejado (modelo de cielo ideal donde no existen nubes, gases, aerosoles, etc.) y nublado (modelo que contempla la presencia de nubes, gases, aerosoles, etc.).

$$I = R + T + A \quad (5)$$

Las variables de la ecuación 5, se pueden determinar por medio de un conjunto de parámetros ópticos, como la profundidad óptica, dispersión simple del albedo y una función de fase (parámetro de asimetría). También se han recuperado los parámetros ópticos a partir de la reflectividad, transmisión y absorción. Por ejemplo, Platt & Perner (1983) señala que la profundidad óptica de la nube puede ser recuperada por medio de datos de satélites geoestacionarios y que el albedo visible proporciona la medida más sensible de la profundidad óptica. Arking & Childs (1985) describen una técnica para extraer los parámetros de la cobertura de las nubes a partir de mediciones radiométricas de satélites multiespectrales (Advanced Very High-Resolution Radiometer, AVHRR).

El método de Pinker y Lazlo (1992) usa conceptos similares, donde formularon y validaron un modelo espectral de baja resolución (con un rango de 0.2 a 4.0 μm) para el cálculo de la transmisión a partir de la reflectividad obtenida de observaciones satelitales de la cima de la atmósfera (top of the atmosphere) o albedo TOA (si la transmisión de la atmósfera es conocida se puede calcular la radiación incidente en la superficie). La cima de la atmósfera es una línea imaginaria que se utiliza para estimar flujos de radiación, teóricamente se localiza a 100 Km de altitud sobre la superficie, ya que a esta altura es difícil que algún rango espectral de la radiación reflejada no se tome en cuenta para estimar balances de energía o flujos de radiación. Por lo tanto el albedo TOA (α_{TOA}) es un conjunto de flujos de radiación, que puede representar el albedo de la Tierra, también se le conoce como albedo planetario (Figura 16).

Siguiendo el marco conceptual de Pinker & Lazlo (1992), se planteo 3 “etapas” de cómo funciona el modelo GSIP. La primera etapa fue establecer un modelo para calcular la transmisión (T) en función de la reflectividad (R) en condiciones realistas de la atmósfera cercana a la superficie (N) mediante:

$$T = f_i(R), i = 1, \dots, N \quad (6)$$

Donde N , se establece a partir de cálculos de transferencia radiativa. Cada diferente condición N , se caracteriza por un albedo superficial específico dado para cierta cantidad de gases absorbentes (ozono, vapor de agua) y dispersores (moléculas, aerosoles, gotas de las nubes).

La segunda etapa fue determinar el albedo TOA por medio de mediciones satelitales (R_{sat}), por último la relación de la ecuación 6 se ve modificada para una condición atmosférica-superficial (S) que existía cuando se tomo la medición satelital (ecuación 7).

$$T = f_s(R_{sat}) \quad (7)$$

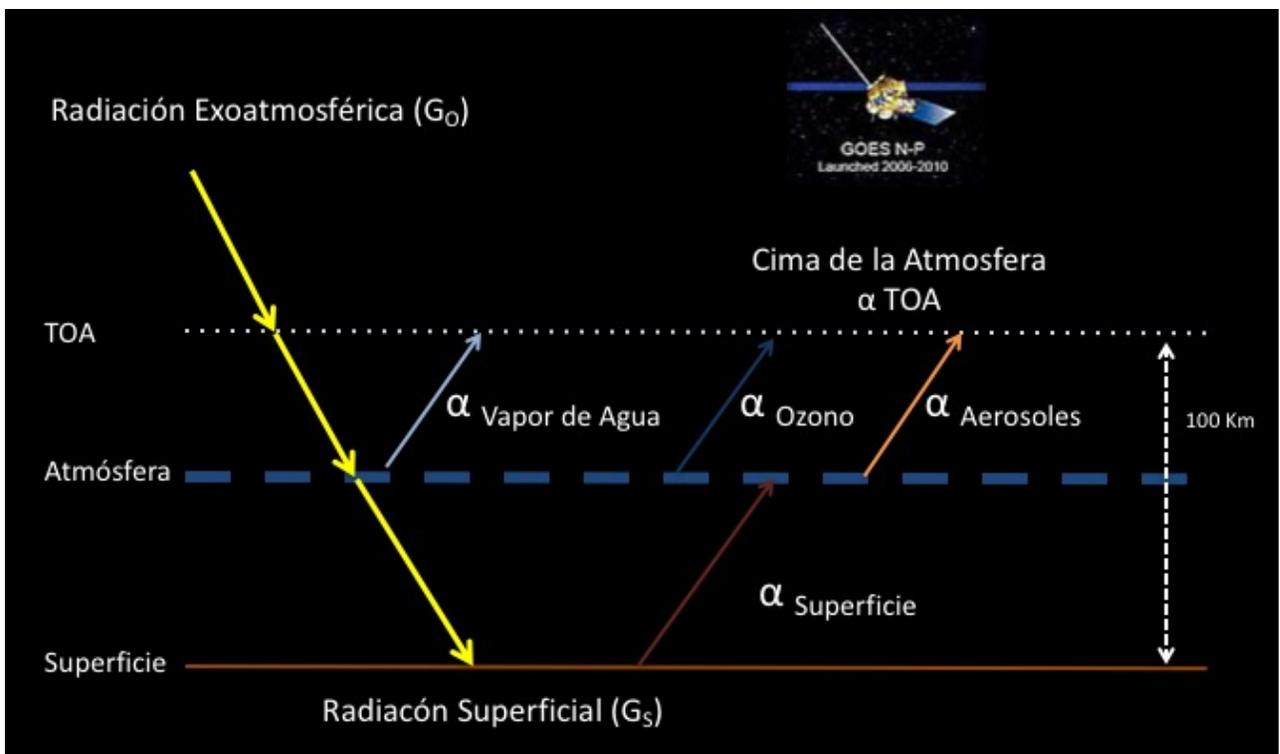


Figura 16. El esquema representa a algunos albedos que se generan en la atmósfera cuando la radiación exoatmosférica (G_0) total incide en la atmósfera e interactúa con la misma. La radiación superficial (G_s) total que incide en la superficie es el resultado directo de la atenuación atmosférica de G_0 .

La tercera y última etapa consisten en calibrar las reflectividades de la ecuaciones 6 y 7 se calibran con el fin de estimar la transmisión y la radiación superficial. El primer paso se puede hacer una sola vez pero el segundo y tercero se tienen que cada vez que se toma una medición satelital nueva.

Una vez que se planteo el funcionamiento general del modelo GSIP, debemos saber que el producto que nos representa la radiación superficial incidente es la estimación del flujo superficial incidente de onda corta (Shortwave Downward Surface) o insolación, el cual se estima con el algoritmo Shortwave Radiation Budget Retrieval (Pinker & Lazlo, 1992; Pinker et al., 1995) que estima la insolación superficial a partir del albedo TOA, datos de transmisión, reflectancia, cantidad de gases presentes en la atmósfera, albedo superficial y modelos teóricos (Figura 17). El producto de insolación que cubre la península de Baja California tiene una resolución espacial y temporal de GWDISK.

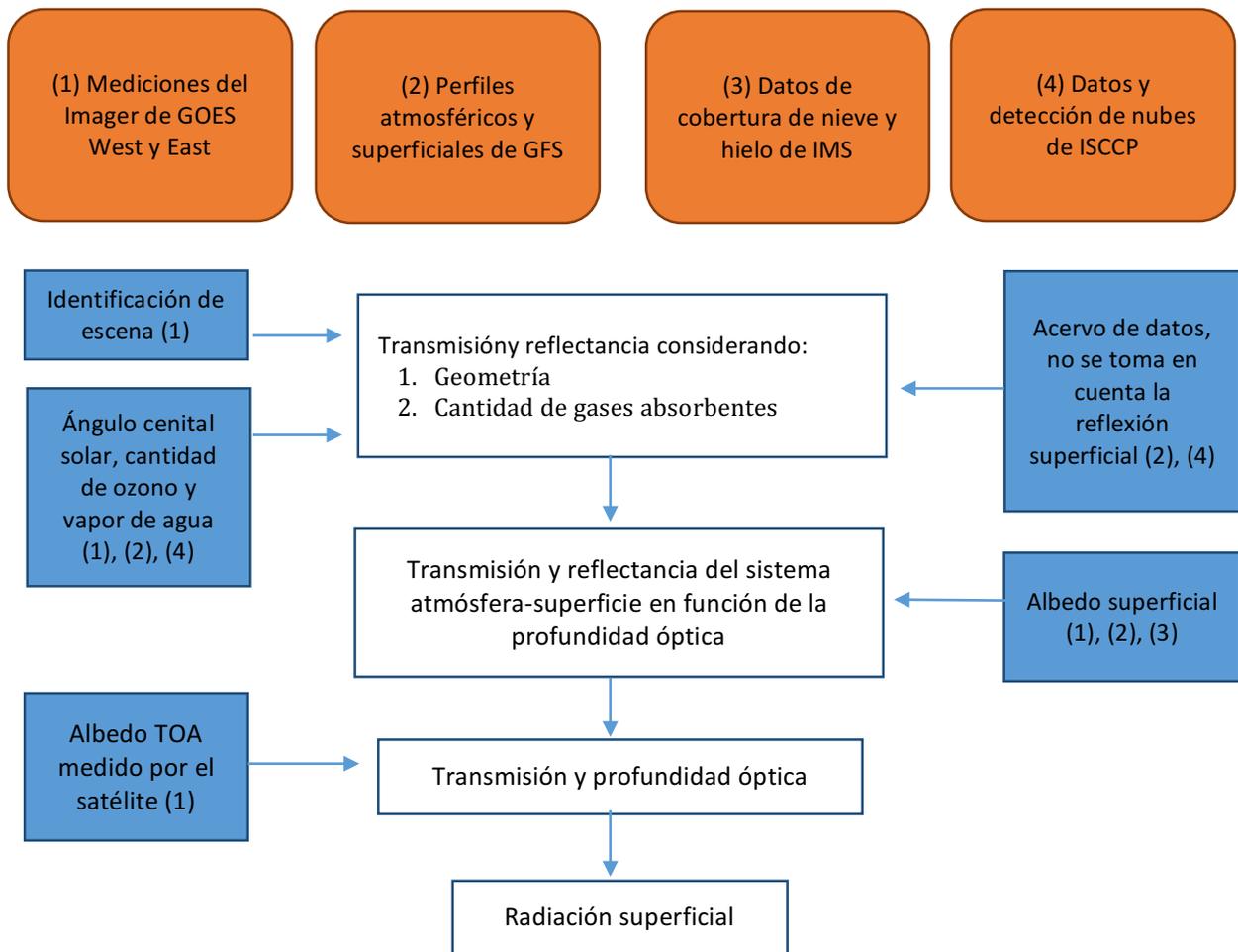


Figura 17. Diagrama de flujo que describe como deriva la radiación superficial a partir de la combinación del albedo TOA y de un acervo de datos (modificado de Pinker & Lazlo, 1992). Para más información consultar el texto.

4.2.3 Modelo de radiación exoatmosférica

La radiación “exoatmosférica” se puede obtener por medio de datos satelitales ajustados para referirse a la radiación a una unidad astronómica del sol, o bien por medio de modelos físicos que incorporan factores de la órbita terrestre y refiere a la radiación incidente en la exosfera (c. 690 km sobre la superficie terrestre). Los datos de la medición irradiación solar total (TSI) por diferentes satélites ha sido recopilados por la NOAA (Figura 2). NOAA registra un dato por día de la radiación solar exoatmosférica porque su variación es mínima (c. 0.1%; Duffie & Beckman, 2013). Los satélites que miden TSI (como el SOHO, Solar and Heliospheric Observatory) pueden diferir en sus registros por las diferencias en sus sensores o por eventos en el clima espacial (por ejemplo una tormenta solar), ya que estos satélites tiene la misma órbita halo en el punto Lagrange L1 (órbita donde teóricamente un objeto puede mantenerse estacionario entre dos objetos). En cambio la zona de estudio, tiene una variación diurna, esto hace que la radiación varié de 1367 W m^{-2} a 0 W m^{-2} aproximadamente.

Para el presente trabajo se decidió estimar la radiación a la altura de la exosfera (dG_0) por medio de un modelo físico, que nos va indicar la cantidad de radiación solar total que incide en un punto de la exosfera durante un instante de tiempo (dt), esto puede definirse por la siguiente ecuación:

$$dG_0 = G_{sc} F_c \cos(\theta_z) dt \quad (8)$$

En la ecuación 8, tenemos que G_{sc} es la constante solar con un valor de 1367 Wm^{-2} , F_c es el factor de corrección de G_{sc} debido principalmente a la excentricidad de la orbita terrestre, la cual esta definida por la ecuación 9, que tiene un error máximo de $\pm 0.03 \%$ (Iqbal, 1983).

$$F_c \equiv \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 \simeq 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi n}{365}\right) \quad (9)$$

Donde r_0 es la distancia entre el Sol y la Tierra para el día juliano del año y r es una unidad astronómica.

Una ecuación más precisa a la ecuación 9, es la ecuación 10 que tiene un error máximo de $\pm 0.01 \%$ la cual fue estimada por Spencer (1971) y es utilizada en el almanaque náutico del Observatorio Naval de los Estados Unidos (USNO, por sus siglas en inglés).

$$F_c = 1.000110 + 0.034221 \cos(\Gamma) + 0.0001280 \sin(\Gamma) + 0.000719 \cos(2\Gamma) + 0.000077 \sin(2\Gamma) \quad (10)$$

Donde $\Gamma \equiv 2\pi (n - 1) / 365$ y n es el día juliano del año.

Entonces de la ecuación 8, la única variable que nos falta describir es θ_z , que es de gran utilidad para calcular la radiación solar sobre una superficie horizontal y es conocido como ángulo cenital. Se forma por la vertical del punto sobre la superficie de la exosfera y por el radio vector Sol-Tierra, es decir que esta variable depende la posición del punto en la exosfera con respecto al Sol:

$$\cos\theta_z = \sin \delta \sin\lambda + \cos \delta \cos \lambda \cos\omega \quad (11)$$

donde λ es la latitud del punto donde se desea estimar la radiación solar, δ es la declinación solar que está definida por la inclinación del eje de rotación de la Tierra.

En el presente trabajo se utiliza la declinación solar obtenida por Spencer (1971), descrita por la ecuación 12:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos \beta + 0.070257 \sin \beta - 0.006758 \cos 2\beta + 0.000907 \sin 2\beta - 0.002697 \cos 3\beta + 0.00148 \sin 3\beta \quad (12)$$

donde $\beta = n * (2\pi / 365)$ y n es el día juliano del año.

En la ecuación 11, el ángulo solar ω debe ser corregirse por una ecuación de tiempo y por uso horario, si es necesario. La ecuación de tiempo, se utiliza para corregir la diferencia de tiempo en minutos que existe entre el medio día que marca la hora civil y el medio día real (la mitad del giro de rotación) de la Tierra (Figura 18). Esta diferencia no es constante durante el año, por lo que Spencer propuso una ecuación (ecuación 13) para corregir este error; aunque no es la más precisa es la más utilizada (Michalsky, 1988).

$$EqT = 229.18(0.000075 + 0.001868 \cos \beta - 0.032077 \sin \beta - 0.014615 \cos 2\beta - 0.040849 \sin 2\beta) \quad (13)$$

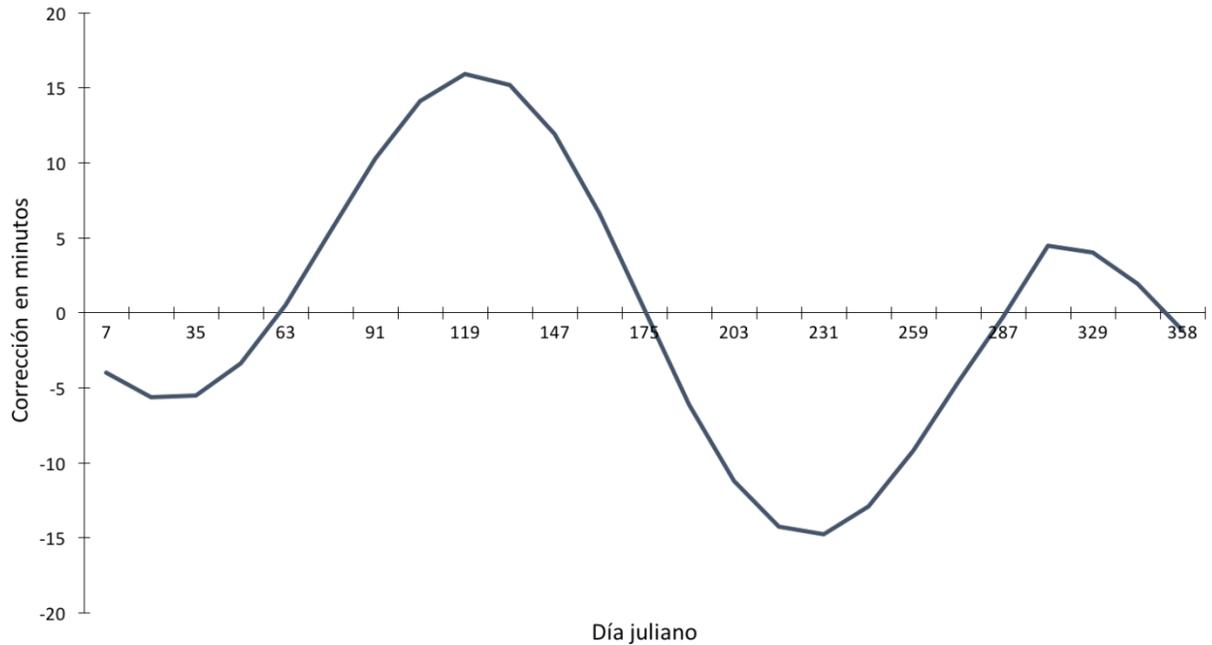


Figura 18. Variación anual de la diferencia de tiempo, obtenida a partir de la ecuación de tiempo para la estación meteorológica ubicada en Bahía de los Ángeles.

Mientras que la ecuación de tiempo se utiliza siempre que se calcula el ángulo solar, la ecuación para corregir por uso horario solo se utiliza cuando la longitud del observador varía por 15° a la longitud de referencia horaria, por lo que es necesario cambiar la hora civil (hora local) en una hora. Tomando en cuenta esto, la expresión es:

$$T_S = T_L + \frac{EqT}{60} + \frac{(Longitud_{Ref} - Longitud_{Local})}{15^\circ} \quad (14)$$

Donde T_S es el tiempo solar y T_L es el tiempo local, ambos están en grados por lo que una conversión a minutos es necesaria para obtener el ángulo solar.

$$\omega = \pi - \left(\frac{\pi}{12}\right) T_S \quad (15)$$

Conociendo todos los parámetros de la ecuación 9 podemos integrar a diferentes tiempos. Para el presente trabajo, se integró para intervalos de una hora; como resultado se obtuvo la ecuación 16:

$$G_0 = G_{sc} F_c (\sin \lambda \sin \delta + \cos \lambda \cos \delta) \left(\left(\frac{24}{\pi}\right) \cos \omega_0 \sin \left(\frac{\pi}{24}\right) \right) \quad (16)$$

Esta ecuación se utilizó para estimar la radiación exoatmosférica en la península de Baja California, México. Los resultados se registraron en un formato de texto y se procesaron con un script en Matlab (Anexo 3 y 4), con una resolución temporal de 3 horas y con la misma ubicación puntual que las estaciones meteorológicas. La razón promedio entre TSI y G_0 a las 15 z (7 am, 8 am) fue de 635 Wm^{-2} (c. 46 %), a las 18 z (10 am, 11 am) fue de 282 Wm^{-2} (c. 21 %), a las 21 z (1 pm, 2 pm) fue de 396 Wm^{-2} (c. 29 %) y a las 00 z (5 pm, 6 pm) fue de 1039 Wm^{-2} (c. 76 %), entre todas las estaciones y datos analizadas.

4.2.4 Modelo de radiación superficial con cielo despejado

El efecto de los procesos de absorción y dispersión en la atmósfera sobre la radiación solar puede ser modelado en forma aproximada para el caso de condiciones de cielo despejado, es decir sin nubes. La importancia que tienen los modelos de cielo despejado, se debe a que son la base de muchos modelos físicos de radiación que incluyen el efecto de la nubosidad estimada a partir de imágenes satelitales (Abal, 2012).

La radiación superficial global (G_S) en un plano horizontal es igual a la sumatoria de sus componentes directa (G_b) y difusa (G_d).

$$G_S = G_b + G_d \quad (17)$$

Estimar la radiación difusa no es sencillo, porque se habla de procesos de absorción y dispersión múltiples en una atmósfera no homogénea, con dependencias direccionales, espectrales y climáticas complicadas, lo cual es algo extenso para considerarlo aquí. En el presente trabajo consideraremos modelos simplificados, como el de Hottel (1976) y Liu & Jordan (1960), los cuales aplican un factor de transmisión (τ) sobre la radiación exoatmosférica (G_0), para simular los efectos de atenuación atmosférica en un modelo de cielo despejado, con la finalidad de estimar las componentes de la radiación superficial total (G_S). La ecuación 18, es la ecuación principal con la que parten los modelos utilizados. Además estos modelos son validos en alturas menores a 2.5 Km.

$$G_S = \tau G_0 \quad (18)$$

Donde la transmisión (τ) es igual a la sumatoria de sus componentes (ecuación 19), transmisión difusa (τ_d) y directa (τ_b).

$$\tau = \tau_b + \tau_d \quad (19)$$

Para estimar la transmisión directa utilizamos el modelo de Hottel (1976), la cual va depender del ángulo cenital, la altura sobre el nivel del mar y el tipo de clima.

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{(-k/\cos \theta z)} \quad (20)$$

Donde a_0 , a_1 y k son parámetros ajustados empíricamente, los cuales son las correcciones por altura y tipo de clima, para estimarlas se utilizan las ecuaciones 21.1, 21.2 y 21.3.

$$a_0 = r_0 [0.4237 - 0.00821 (6 - A)^2] \quad (21.1)$$

$$a_1 = r_1 [0.5055 + 0.00595 (6.5 - A)^2] \quad (21.2)$$

$$k = r_k [0.2711 + 0.01858 (2.5 - A)^2] \quad (21.3)$$

Donde A es la altura en kilómetros, mientras que los valores de r_0 , r_1 y r_k están dadas en la Tabla 2, para diversos tipos de climas.

Tabla 2. Factores de corrección para los tipos de clima generados para el modelo de Hottel.

Tipo de clima	r_o	r_1	r_k
Tropical	0.95	0.98	1.02
Verano latitud media	0.97	0.99	1.02
Verano sub-ártico	0.99	0.99	1.01
Invierno latitud media	1.03	1.01	1.00

Entonces para estimar la radiación directa, se tiene que sustituir la ecuación 20 en la ecuación 18, obteniendo la ecuación 22.

$$G_b = \tau_b G_0 = (a_0 + a_1 e^{(-k/\cos \theta z)}) G_0 \quad (22)$$

Teniendo la componente de radiación directa falta estimar la radiación difusa que es más compleja y su magnitud es menor comparada con la magnitud de la radiación directa. Para estimar la radiación difusa primero tenemos que calcular la transmisión difusa (ecuación 23), para el cual se utilizo el modelo de Liu y Jordan (1960) que supone que la radiación difusa proviene homogéneamente de todo el cielo, es decir que no tiene una dirección preferencial.

$$\tau_d = a - b \tau_b \quad (23)$$

Donde $a = 0.271$ y $b = 0.2939$. Estos son parámetros estimados por Liu y Jordan a partir de medidas de radiación directa y difusa para 3 ubicaciones (Montaña Hump en el Norte de Carolina, Blue Hill en Massachusetts y Minnieapolis en Minnesota). Por lo que la ecuación 23 puede ser usada como una forma practica y generalizada para estimar la transmisión difusa bajo un modelo de cielo despejado, si se conoce la transmisión atmosférica. con esta, la radiación difusa.

$$G_d = \tau_d G_0 = (0.271 - 0.2939 \tau_b) G_0 \quad (24)$$

Una vez que se estiman las componentes de la transmisión atmosférica (ecuación 20 y 23), podemos estimar las componentes de la radiación superficial (ecuación 22 y 24) y así obtener la radiación total superficial que llega a la Tierra (ecuación 25).

$$G_S = \tau G_0 = (\tau_b + \tau_d) G_0$$

$$G_S = G_b + G_d = (a_0 + a_1 e^{(-k/\cos \theta z)})G_0 + (0.271 - 0.2939\tau_b)G_0 \quad (25)$$

Los modelos utilizados no son los de mayor precisión, ni los más utilizados en la actualidad pero son simples de implementar y nos dan una rápida idea del comportamiento de la radiación solar superficial en el área de estudio.

Al igual que los resultados de radiación solar exoatmosférica estos resultados se registraron en un formato de texto y se procesaron con un script en Matlab (Anexo 3 y 4), con una resolución temporal de 3 horas y con la misma ubicación puntual que las estaciones meteorológicas.

4.3 Preprocesamiento de los datos

Las bases de datos empleadas, presentaron diferencias en la resolución espacial, temporal y de formato. Para resolver estas variaciones se realizó un preprocesamiento, cuyo objetivo es homogeneizar el formato, la resolución espacial y temporal (Tabla 3). En base a la Tabla 3, se establecieron las características de la muestra de datos, las cuales fueron:

- Solo se tomaron 4 datos al día que corresponden a cuatro horas a lo largo del día (15 z, 18 z, 21 z y 00 z). Esta característica se debe a la resolución temporal de los datos de GSIP.
- Los datos se encontraron espacialmente en las mismas coordenadas de las EMAs, para los datos de GSIP se tomo el dato más cercano a la EMA.
- Anualmente se seleccionaron 26 días del año (Tabla 4), un día cada dos semanas empezando a partir del día 7 de enero del 2014. Esto debido a la densidad de información, que represento manejar 3 bases de datos diferentes.

Tabla 3. Características principales de las bases de datos.

Fuente de información	Variable	Resolución temporal	Resolución espacial	Formato
EMAs del SMN	Radiación superficial	10 min	Puntual	Excel (.xls)
Producto GSIP de NOAA	Flujo superficial incidente de onda corta	3 hr	1/8 de grado (13.89 Km)	Netcdf (.nc)
Modelo de radiación exoatmosférica	Radiación exoatmosférica	3 hr	Puntual (**)	Texto (.txt)
Modelo para radiación superficial con cielo despejado	Radiación superficial incidente	3 hr	Puntual (**)	Texto (.txt)

Nota: Los modelos pueden adaptar su resolución espacial y temporal, además no tienen una resolución espectral, ya que no dependen de sensores que registren la radiación solar.

** Tienen las mismas coordenadas que las EMAs.

Tabla 4. Muestra de días para el año 2014.

Día del año			
7 de Enero	15 de Abril	22 de Julio	28 de Octubre
21 de Enero	29 de Abril	5 de Agosto	11 de Noviembre
4 de Febrero	13 de Mayo	19 de Agosto	25 de Noviembre
18 de Febrero	27 de Mayo	2 de Septiembre	9 de Diciembre
4 de Marzo	10 de Junio	16 de Septiembre	23 de Diciembre
18 de Marzo	24 de Junio	30 de Septiembre	
1 de Abril	8 de Julio	14 de Octubre	

Esta muestra de datos es anualmente representativa, ya que de los 1460 datos disponibles anualmente (4 horas al día por 365 días al año) se contempló trabajar con 104 datos. Esto nos da un nivel de confianza del 96 % con un margen de error del 10 %, en base a la ecuación 26, que estima proporciones poblacionales.

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2 + \left(\frac{z^2(p * q)}{N}\right)} \quad (26)$$

Donde n es el número es el tamaño de la muestra, z es el nivel de confianza deseado, p es la proporción de la población con la característica deseada (éxito), q es la proporción de la población sin la característica deseada (fracaso), e es el nivel de error dispuesto a cometer y N es el tamaño de la población.

Otro de los objetivos del preprocesamiento es corregir las inconsistencias de los datos que facilitaron su subsecuente análisis con el fin de tener resultados de calidad. Algunas de las inconsistencias más comunes son datos irrelevantes, duplicados, incompletos, erróneos, datos numéricos o simbólicos, datos de múltiples fuentes de información; los cuales perjudican la calidad de los resultados. Para resolver estas inconsistencias en los datos, existen diferentes técnicas como:

- Limpieza de datos. Se utiliza para llenar datos faltantes, suavizar errores, corregir inconsistencias, corregir redundancia en los datos.
- Integración de datos. Permite eliminar redundancias que pueden ser detectadas por un análisis de correlación, ya que se integran múltiples bases de datos.
- Transformación de datos. Se realiza normalización, suavización y agregación a los datos.
- Reducción de datos. Obtiene una representación reducida en el volumen de los datos por medio de agregación de cubos, reducción de dimensión, compresión de datos, discretización y generación del concepto de jerarquía.

Las bases de datos del SMN y de GSIP por sus características tuvieron preprocesamientos diferentes, mientras que las bases de datos generadas por los modelos no tuvieron preprocemiento porque se programaron para solo generar la información que se requiere para la muestra.

El preprocesamiento para los datos del SMN se dividió principalmente en dos etapas. La primera etapa consiste en reducir, integrar y limpiar los datos, los archivos provenientes del SMN estaban separados por EMA (Tabla 1) y por mes del año (12 archivos por EMA al año y 12 EMAs, en total 144 archivos), cada archivo contenían datos de diferentes variables meteorológicas (temperatura, presión, humedad, etc.), las cuales eran información innecesaria para el trabajo. El preprocesamiento de esta etapa se realizó por

medio de un script en Matlab (Anexo 5), el cual selecciona los 12 archivos de cada EMA, eliminando la información innecesaria y al mismo tiempo integra los datos de radiación solar de cada 10 minutos en orden cronológico empezando el 1 de enero y terminando el 31 de diciembre. Además el script modificaba el formato de los archivos (de Excel a texto) y generaba un solo archivo por EMA, el cual contenía solo información de radiación solar. Esto permitió reducir la información de 144 archivos con diferentes variables meteorológicas a 12 archivos con solo la variable de radiación solar cada 10 min (Figura 19).

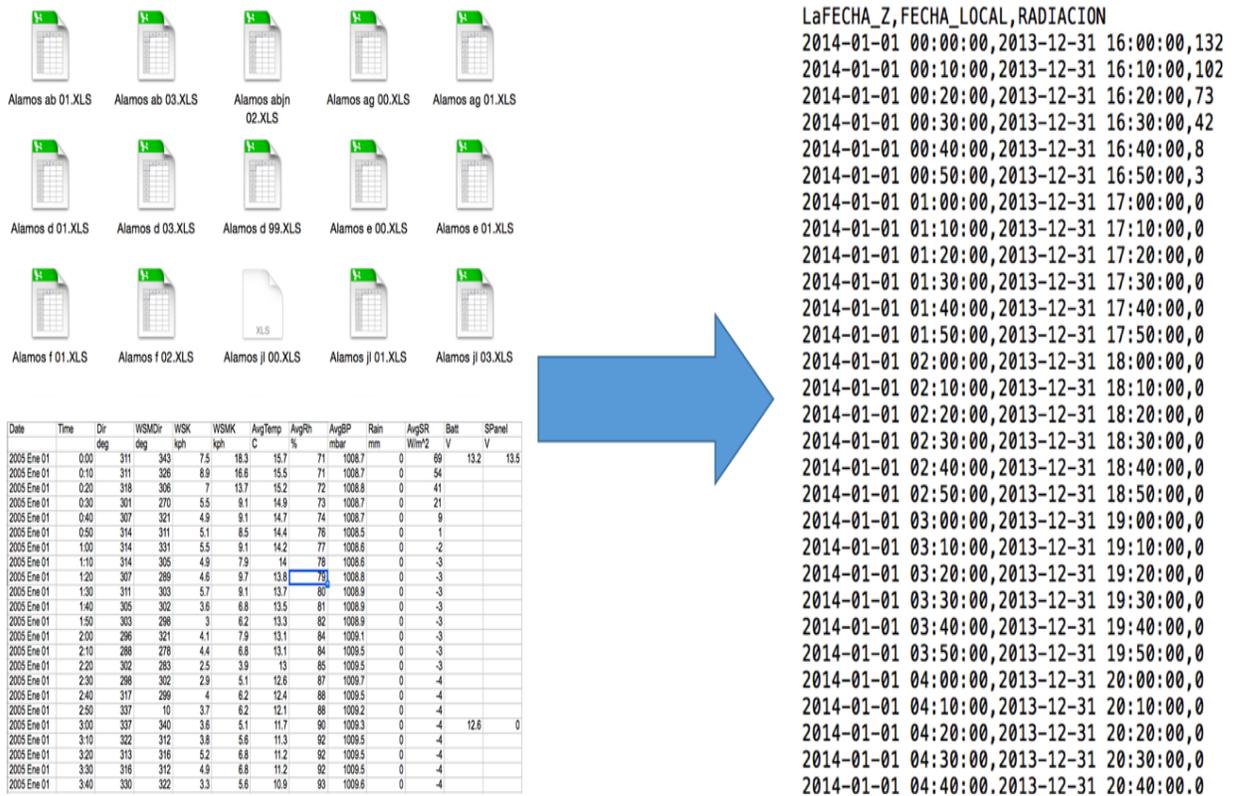


Figura 19. Reducción e integración de datos de archivos de las EMAs.

La segunda etapa realizó otra limpieza a los datos, extrajo solamente a la información que cumplía con las características de la muestra de datos. Reduciendo la información de 52,560 datos (un dato cada 10 min durante los 365 días del año) a 104 datos al año por EMA (Figura 20). Esta segunda etapa se realizó en Excel y mientras se realizaba esto, se encontraron horas donde no se tenían datos, para lo cual se utilizó un promedio móvil ponderado de una hora alrededor del dato faltante.

Los datos de GSIP tuvieron un preprocesamiento diferente en comparación a los datos del SMN, empezando por que el formato de los archivos era un netCDF, lo cual obligo a generar un script para

poder visualizar y obtener la información que contenían estos archivos. En total fueron 100 archivos adquiridos, ya que de los 104 archivos que tenían (4 archivos por día de los 26 días al año de la muestra), faltó un día (específicamente el 28 de Noviembre del 2014), debido a que GSIP no tenía información en ese día y días cercanos a este.

LaFECHA_Z, FECHA_LOCAL, RADIACION	Día Juliano	Hora Z	Radiacion Superficial
2014-01-01 00:00:00,2013-12-31 16:00:00,132	7	15:00	5
2014-01-01 00:10:00,2013-12-31 16:10:00,102		18:00	500
2014-01-01 00:20:00,2013-12-31 16:20:00,73		21:00	186
2014-01-01 00:30:00,2013-12-31 16:30:00,42		0:00	131
2014-01-01 00:40:00,2013-12-31 16:40:00,8	21	15:00	5
2014-01-01 00:50:00,2013-12-31 16:50:00,3		18:00	438
2014-01-01 01:00:00,2013-12-31 17:00:00,0		21:00	359
2014-01-01 01:10:00,2013-12-31 17:10:00,0		0:00	54
2014-01-01 01:20:00,2013-12-31 17:20:00,0	35	15:00	17
2014-01-01 01:30:00,2013-12-31 17:30:00,0		18:00	329
2014-01-01 01:40:00,2013-12-31 17:40:00,0		21:00	596
2014-01-01 01:50:00,2013-12-31 17:50:00,0		0:00	237
2014-01-01 02:00:00,2013-12-31 18:00:00,0	49	15:00	40
2014-01-01 02:10:00,2013-12-31 18:10:00,0		18:00	626
2014-01-01 02:20:00,2013-12-31 18:20:00,0		21:00	684
2014-01-01 02:30:00,2013-12-31 18:30:00,0		0:00	265
2014-01-01 02:40:00,2013-12-31 18:40:00,0	63	15:00	25
2014-01-01 02:50:00,2013-12-31 18:50:00,0		18:00	186
2014-01-01 03:00:00,2013-12-31 19:00:00,0		21:00	782
2014-01-01 03:10:00,2013-12-31 19:10:00,0		0:00	259
2014-01-01 03:20:00,2013-12-31 19:20:00,0	77	15:00	168
2014-01-01 03:30:00,2013-12-31 19:30:00,0		18:00	747
2014-01-01 03:40:00,2013-12-31 19:40:00,0		21:00	692
2014-01-01 03:50:00,2013-12-31 19:50:00,0		0:00	368
2014-01-01 04:00:00,2013-12-31 20:00:00,0	91	15:00	115
2014-01-01 04:10:00,2013-12-31 20:10:00,0		18:00	79
2014-01-01 04:20:00,2013-12-31 20:20:00,0		21:00	965
2014-01-01 04:30:00,2013-12-31 20:30:00,0		0:00	446
2014-01-01 04:40:00,2013-12-31 20:40:00,0	105	15:00	299
2014-01-01 04:50:00,2013-12-31 20:50:00,0		18:00	892
2014-01-01 05:00:00,2013-12-31 21:00:00,0		21:00	934
2014-01-01 05:10:00,2013-12-31 21:10:00,0		0:00	413
2014-01-01 05:20:00,2013-12-31 21:20:00,0	119	15:00	392
2014-01-01 05:30:00,2013-12-31 21:30:00,0		18:00	924
2014-01-01 05:40:00,2013-12-31 21:40:00,0			
2014-01-01 05:50:00,2013-12-31 21:50:00,0			
2014-01-01 06:00:00,2013-12-31 22:00:00,0			
2014-01-01 06:10:00,2013-12-31 22:10:00,0			
2014-01-01 06:20:00,2013-12-31 22:20:00,0			
2014-01-01 06:30:00,2013-12-31 22:30:00,0			



Figura 20. La segunda etapa de preprocesamiento en los datos registrados por el SMN, disminuyó la cantidad de datos en el año del estudio de 52,560 a 104 por EMA.

Los archivos descargados de GSIP contienen información de diferentes productos para toda América, por lo que se tuvo que reducir e integrar la cantidad de información, además de una limpieza de las variables innecesarios y de datos fuera de la zona de estudio. Esto se realizó por medio de un script en Matlab (Anexo 6), el cual integro todos los archivos y extrajo solo la variable de radiación para las coordenadas más cercanas a las EMAs (Figura 21). Dentro de este script también se realizó un cambio en la escala de los datos (ecuación 27), ya que los datos descargados de radiación venían en un rango de entre -127 a 127, lo cuales eran un representación de los datos reales de radiación y los cuales se tenían que escalar para obtener los datos reales.

$$\text{Radiación} = (D + 127) * (1380/254) \quad (27)$$

Donde D, es el dato crudo de la radiación que viene en los archivos de GSIP.

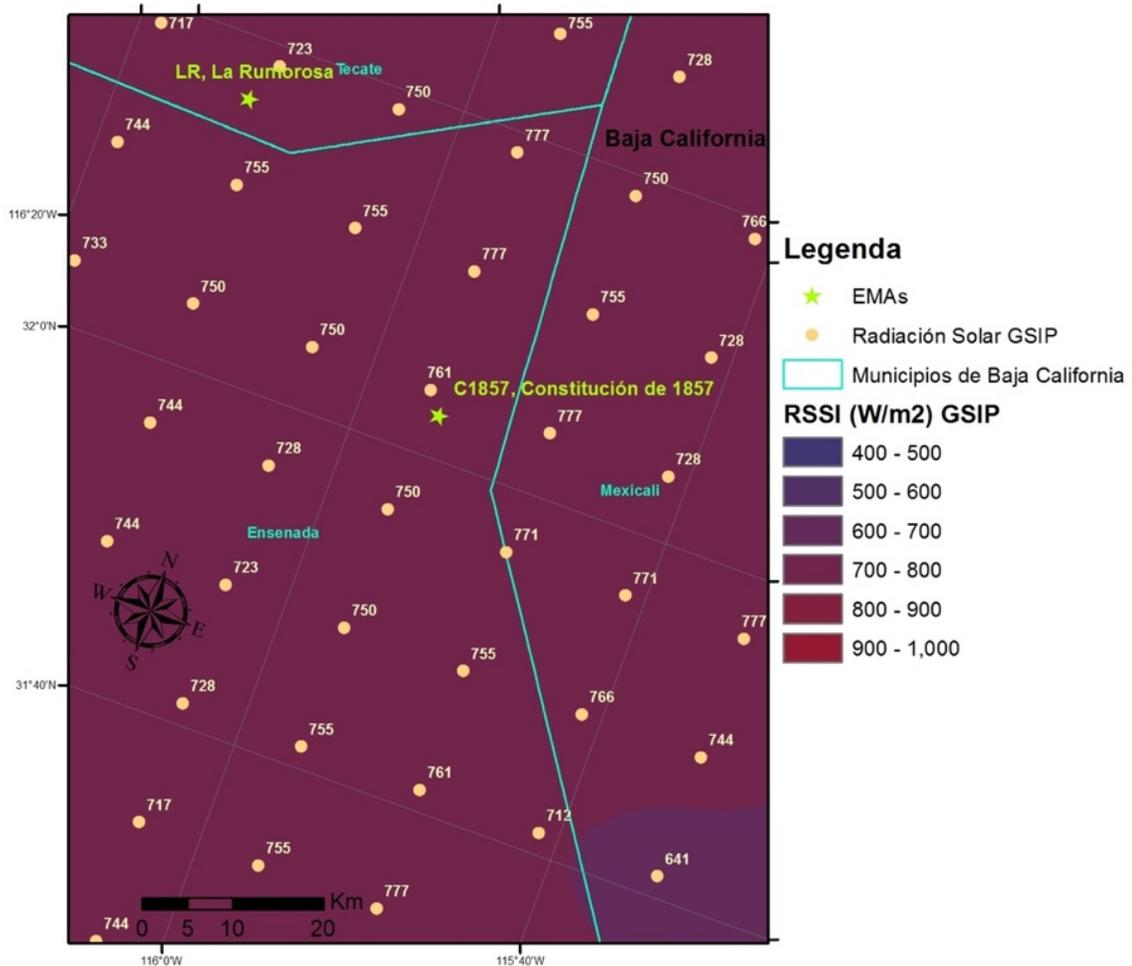


Figura 21. En el mapa se observan los datos desplegados de GSIP en conjunto con la ubicación de las EMAs (La Rumorosa y Constitución de 1857) para el día 7 de Enero del 2014 a las 10 am (18 z).

El script como resultado da un archivo por cada estación, que contiene la radiación para las horas y días establecido en la muestra (Figura 22). Además el script transforma el formato de los archivos (de netCDF a texto) para facilitar el uso de la información.

Al finalizar con el preprocesamiento de los datos del SMN y de GSIP, se había obtenido unas bases de datos homogéneas con las mismas características establecidas en la muestra de datos (Tabla 5) y con las cuales se generarían los análisis estadísticos necesarios para tratar de comprender el comportamiento de la radiación en la península de Baja California.

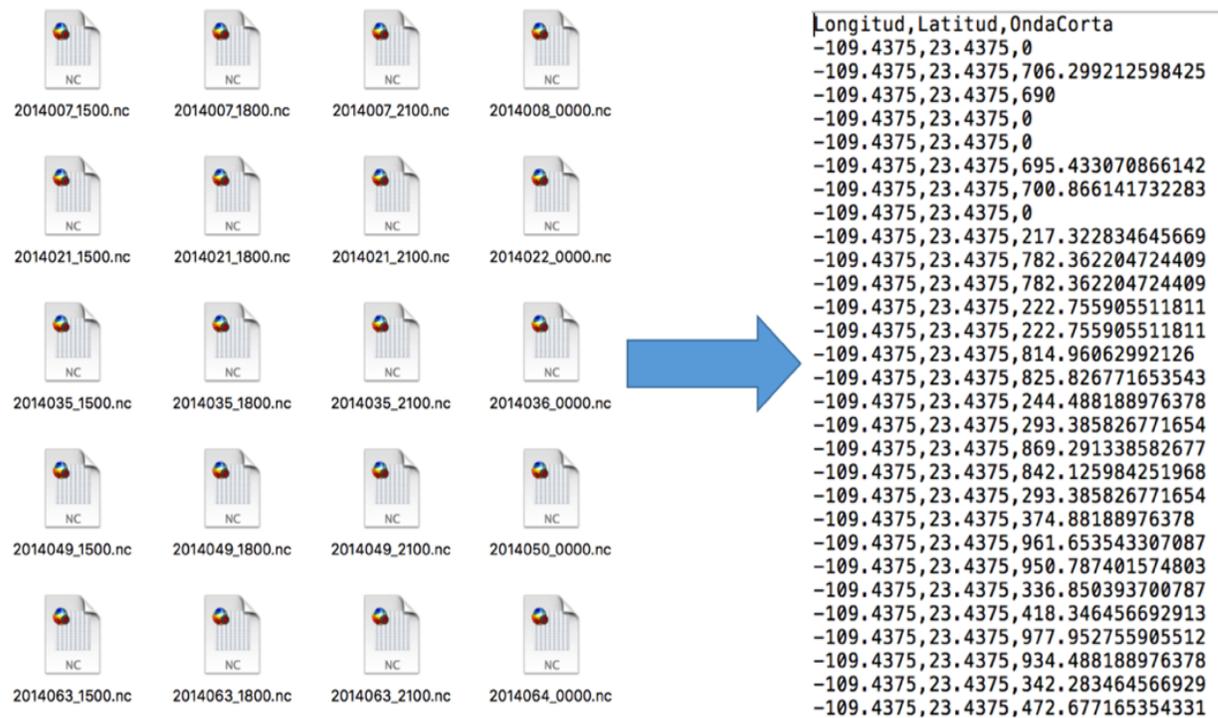


Figura 22. Resultado del preprocesamiento en los datos de GSIP, se redujo 144 archivos a 12 archivos en los cuales solo se encuentra el producto de radiación para las horas y días de la muestra de estudio.

Tabla 5. Características principales de las bases de datos, después de realizar el preprocesamiento.

Fuente de información	Variable	Resolución temporal	Resolución espacial	Formato
EMAs del SMN	Radiación superficial	3 hr	Puntual	Excel y Texto (.xls y .txt)
Producto GSIP de NOAA	Flujo superficial incidente de onda corta	3 hr	Puntual	Excel y Texto (.xls y .txt)
Modelo de radiación exoatmosférica	Radiación exoatmosférica	3 hr	Puntual	Excel y Texto (.xls y .txt)
Modelo de radiación superficial con cielo despejado	Radiación superficial incidente	3 hr	Puntual	Excel y Texto (.xls y .txt)

4.4 Análisis estadístico

El objetivo de un análisis estadístico es extraer la máxima información de el conjunto de bases de datos que se obtuvieron en el preprocesamiento, para lo cual se utilizó la estadística descriptiva e inferencial. Con la estadística descriptiva obtendremos los rasgos esenciales de todo el conjunto de datos, eliminando lo superfluo y resaltando las características fundamentales, para ello calcularemos el máximo, mínimo y promedio instantáneo anual, estacional y horario anual. Todo ello con la pretensión de obtener un reducido pero significativo conjunto de indicadores globales de las bases de datos (SMN, GSIP y de los modelos). La estadística descriptiva se realizó con el software Excel. Por otroo lados la estadística inferencial nos determinara las relaciones funcionales (exactas) o estadísticas (tendenciales) entre distintas características, para esto se utilizó la regresión lineal donde que tomó en cuenta una significancia de $p < 0.001$, se estimó el coeficiente de determinación ajustado (r^2 ajustado) y la F (prueba de Fisher) por medio del software JASP. Esta estadística inferencial tuvo como objetivo encontrar el modelo que mejor represente los datos observados por las EMAs, para ajustarlo y generar mapas de radiación superficial de toda la península de Baja California.

4.5 Mapeo de radiación superficial y transmisión atmosférica

Los mapas de radiación superficial para toda la península de Baja California se realizaron por medio de dos scripts en Matlab. El primer script (Anexo 7) nos sirvió para extraer una malla de datos del modelo GSIP ajustado que cubre la península de Baja California, para cada hora y día muestra (Figura 23).

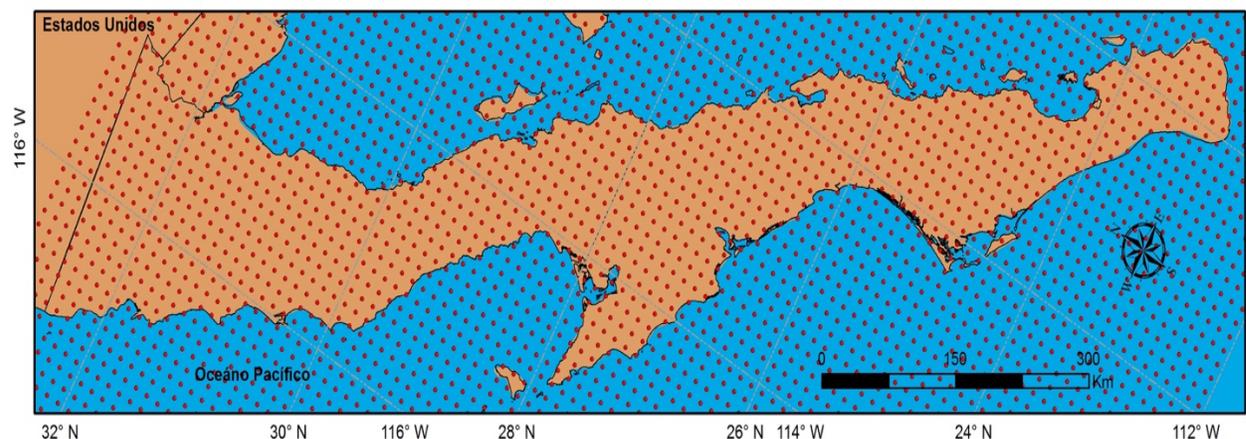


Figura 23. Malla de datos ejemplo que se generaron por medio de Matlab para estimar la radiación superficial con el modelo GSIP ajustado.

En total se obtuvieron 100 mallas (con 7040 puntos cada una), las cuales fueron procesadas con el segundo script (Anexo 8) para calcular 5 mallas de datos, una fue el promedio instantáneo anual y las otras cuatro con promedios instantáneos para cada estación del año. Al tener estas cinco mallas de datos se realizó un kriging por medio de ArcGIS para estimar la radiación superficial en los huecos espaciales que tiene la malla de GSIP.

El kriging presupone que la distancia o la dirección entre los puntos de muestra reflejan una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática (Ecuación 28) a una cantidad especificada de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y (opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos. Se utiliza a menudo en las geociencias (ESRI, 2016).

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i) \quad (28)$$

Donde: $Z(S_i)$ es el valor medido en la ubicación i , λ_i es una ponderación desconocida para el valor medido en la ubicación i , S_0 es la ubicación de la predicción y N es la cantidad de valores medidos.

Para los mapas de la transmisión atmosférica, se tuvo que el cálculo previo de la radiación exoatmosférica para toda la península de Baja California con el mismo formato de los datos del modelo GSIP. Usando Matlab se generó el script y que calculó la radiación exoatmosférica (Anexo 9), por lo que el siguiente paso era calcular las mismas 5 mallas que se realizaron para la radiación superficial ajustada, por medio de otro script (Anexo 10). Teniendo las 10 mallas de datos con los mismos formatos, se procede a realizar es el cálculo de la transmisión atmosférica por medio de la ecuación 18.

$$G_S = \tau G_0 \quad (18)$$

Donde: G_S es la radiación superficial ajustada de GSIP y G_0 es la radiación exoatmosférica

Capítulo 5. Resultados

5.1 Descripción temporal y espacial de la radiación

5.1.1 Radiación exoatmosférica

La radiación exoatmosférica (G_0) varía por la posición del Sol con respecto al observador, lo cual se observa para la península de Baja California en el máximo anual instantáneo (MAX_{AI}) de G_0 (Figura 24), que se estimó para el año 2014. El MAX_{AI} de G_0 varía desde 1245 Wm^{-2} en Mexicali al extremo norte de la península hasta a 1304 Wm^{-2} en Cabo Pulmo al sur de la península (c. 4.5%), como se observa en la Figura 24 donde vemos que G_0 decrece su magnitud cuando se acerca al Polo Norte y crece su magnitud cuando se acerca al Ecuador (la variación en radiación exoatmosférica es una consecuencia directa de la variación latitudinal). Este comportamiento no se observó en el mínimo anual instantáneo (MIN_{AI}) y ni el promedio anual instantáneo (P_{AI}) de G_0 (Tabla 6), debido a que el modelo (Capítulo 4.2.3) contempla el día solar de cada EMA pero la muestra de datos (Capítulo 4.3) que se seleccionó contempla la misma hora Z (hora UTC, Coordinated Universal Time) y no la misma hora solar, por lo que genera sesgos sistemáticos en los valores.

El P_{AI} promedio para la península de Baja California en el 2014 es de 815 Wm^{-2} , el cual se estimó a partir de los P_{AI} de cada EMA. Para este mismo año la península tiene un MAX_{AI} promedio de 1269 Wm^{-2} y un MIN_{AI} promedio de 121 Wm^{-2} .

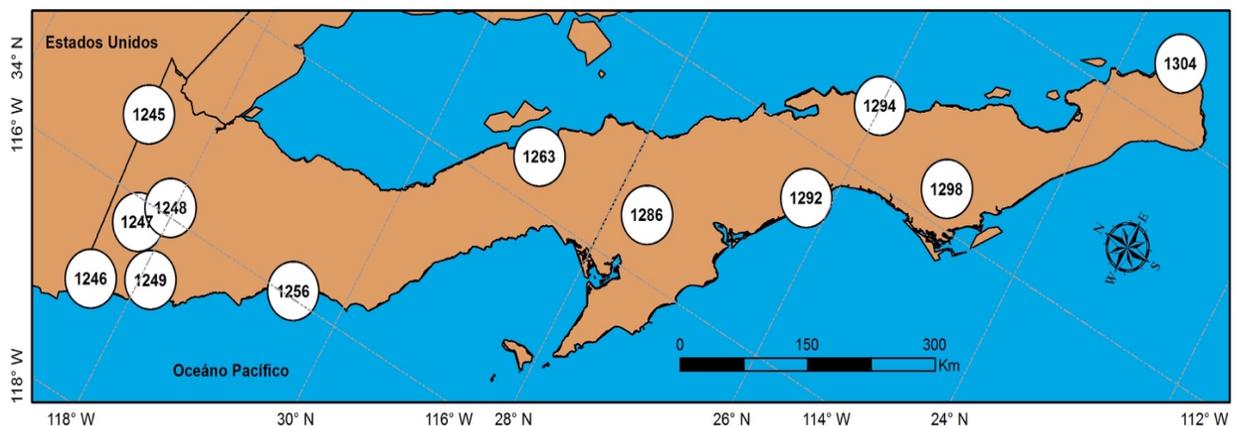


Figura 24. Máximo anual instantáneo de la radiación exoatmosférica (Wm^{-2}) estimado sobre las EMAs ubicadas en la península de Baja California en el 2014.

El comportamiento estacional de G_0 es de acuerdo a lo documentado (Capítulo 4.2.3), mayor en Primavera y Verano con un máximo promedio estacional instantáneo (MAX_{PEI}) de 1269 Wm^{-2} y de 1255 Wm^{-2} respectivamente, y menor en Otoño e Invierno con un MAX_{PEI} de 1193 Wm^{-2} y 1036 Wm^{-2} respectivamente (Figura 25), esta variación se debe al movimiento de traslación, al eje de inclinación de la Tierra y a la variación anual de la distancia entre el Sol y la Tierra (en el perihelio es de $1.46 \times 10^8 \text{ Km}$ y en el afelio es de $1.52 \times 10^8 \text{ Km}$).

Tabla 6. Estadística descriptiva de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{AI}), el máximo anual instantáneo (MAX_{AI}), el mínimo anual instantáneo (MIN_{AI}) y la desviación estándar anual (σ_A).

EMA	$P_{AI} (\text{Wm}^{-2})$	$MAX_{AI} (\text{Wm}^{-2})$	$MIN_{AI} (\text{Wm}^{-2})$	$\sigma_A (\text{Wm}^{-2})$
MEX	814	1245	198	290
PAR	810	1246	199	293
LR	812	1247	200	294
C1857	810	1248	201	291
PELZ	814	1249	202	294
SQ	824	1256	211	296
BA	820	1263	127	311
GDO	806	1286	31	367
SJ	813	1292	25	370
BL	827	1294	24	358
CdC	816	1298	20	373
CP	819	1304	13	365

Otra variación temporal se puede observar en la variación diurna de G_0 (Figura 26), mayor a medio día (considerando como mediodía las 10 am, 11 am o 12 pm y 1 pm, 2 pm ó 3 pm dependiendo del uso horario y la ubicación geográfica) en comparación a las mañanas (7 am, 8 am o 9 am) ó las tardes (5 pm, 6 pm o 7 pm). Al igual que el comportamiento espacial, el comportamiento temporal de la radiación exoatmosférica se observa mejor en los máximos que en los promedios ó en los mínimos (Anexo 11 y 12).

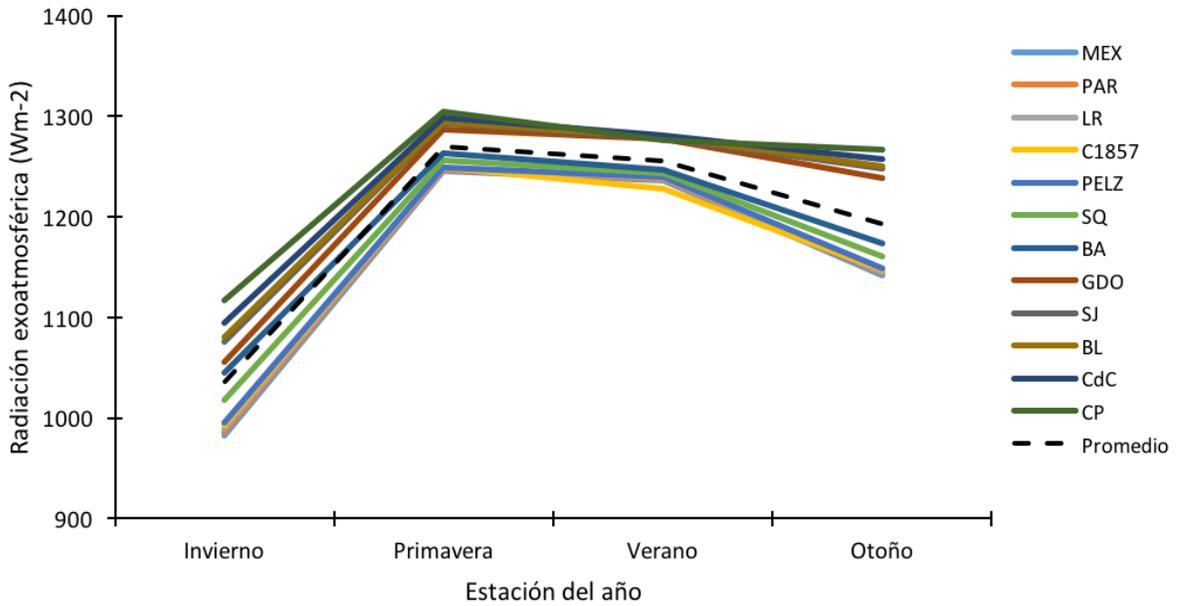


Figura 25. Máximo estacional instantáneo de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.

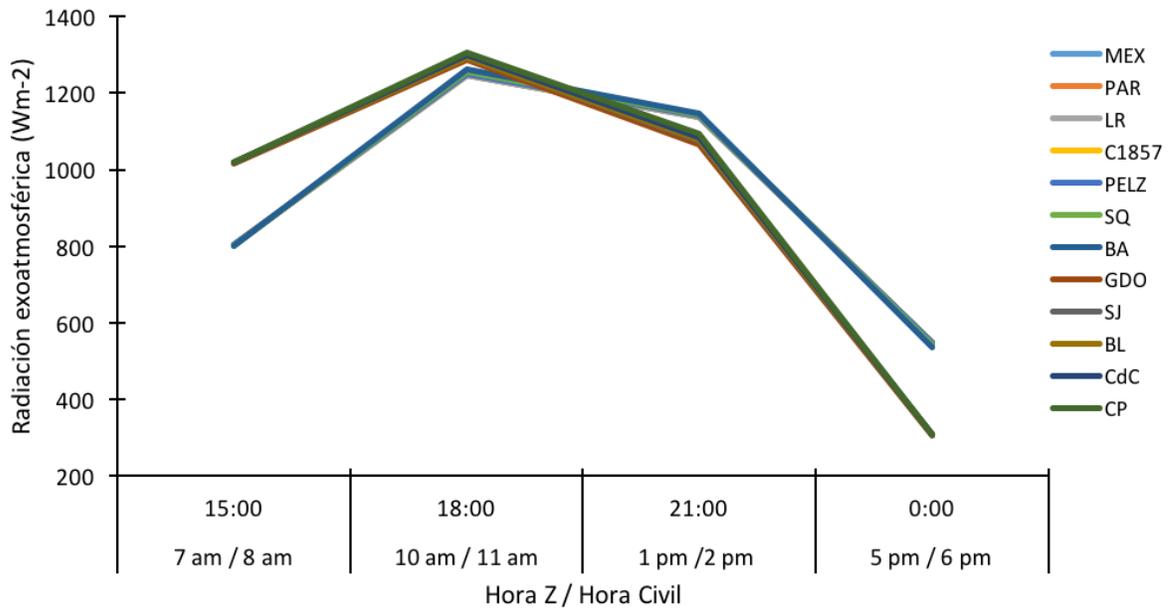


Figura 26. Máximo anual para cada hora muestra de la radiación exoatmosférica estimada sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

La Figura 26 muestra sesgos sistemáticos en los máximos anuales de cada hora (MAX_{AH}) estimados para G₀, esto se debe a que el modelo (Capítulo 4.2.3) contempla el día solar de cada EMA pero la muestra de datos (Capítulo 4.3) que se seleccionó contempló la misma hora Z (hora UTC, Coordinated Universal Time). Por ejemplo, en Baja California Sur amanece más temprano (tienen un mayor MAX_{AH}) en

comparación a Baja California Norte, mientras que en Baja California Norte atardece más tarde (tiene un mayor MAX_{HA}) en comparación con Baja California Sur. Por esto las EMAs de Baja California Norte y Baja California Sur mostraron una variación discontinua, más pronunciada en la mañana (con una diferencia aproximada de 210 Wm^{-2}) y en la tarde (con una diferencia aproximada de 250 Wm^{-2}).

5.1.2 Radiación superficial estimada por el modelo HLJ

La radiación superficial estimada por el modelo de cielo despejado (G_S) de Hottel (1976) y Liu & Jordan, (1960; HLJ) para las EMAs ubicadas en la península de Baja California, tiene un comportamiento similar al de la radiación exoatmosférica (G_0). Varía espacialmente por la posición del Sol con respecto al observador, por los valores empíricos del clima generados por Hottel y por la elevación que es un factor importante en la variación de G_S (Figura 27).

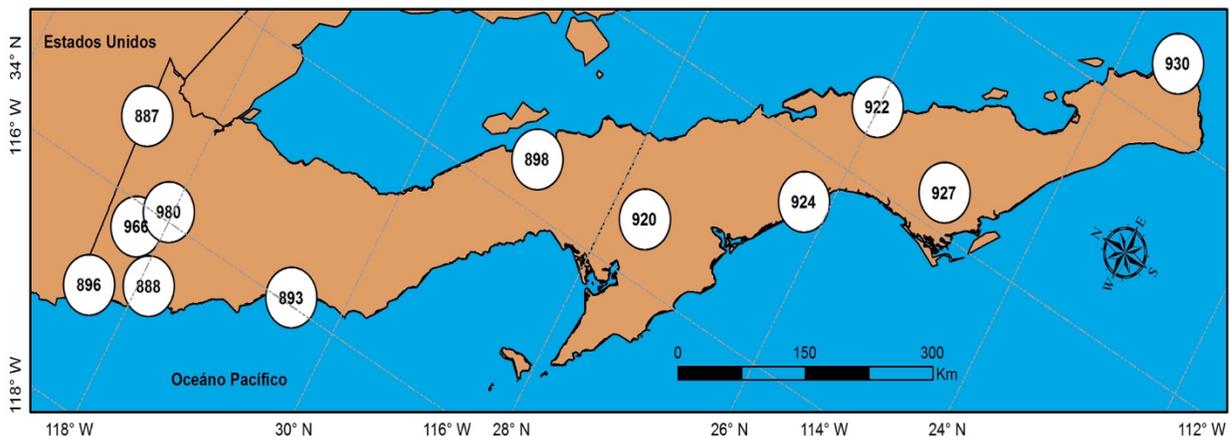


Figura 27. Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) estimado por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

Sin efectos de nubosidad o de otros gases, la radiación superficial aumenta con la elevación debido a que la radiación incidente no tiene que pasar por las capas más densas de la atmósfera. El efecto de la elevación se observa particularmente en la EMA de La Rumorosa (1262 m) la cual tiene un MAX_{AI} (máximo anual instantáneo de G_S) de 966 Wm^{-2} y en la EMA de Constitución de 1857 (1576 m) que tiene un MAX_{AI} de 980 Wm^{-2} . Estos valores de G_S son mayores en comparación con las EMAs cercanas. Además del efecto de la elevación en G_S , la diferencia en el máximo anual instantáneo entre los extremos Norte y Sur de la península es menor para G_S (43 Wm^{-2}) que para G_0 (59 Wm^{-2}) debido que la atmósfera esta

más cargada de vapor de agua al Sur. Estos efectos no se observan en el mínimo anual instantáneo (MIN_{AI}) y ni en el promedio anual instantáneo (P_{AI}) de G_S (Tabla 7).

Tabla 7. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{AI}), el máximo anual instantáneo (MAX_{AI}), el mínimo anual instantáneo (MIN_{AI}) y la desviación estándar anual (σ_A).

EMA	Altura (m)	P_{AI} (Wm^{-2})	MAX_{AI} (Wm^{-2})	MIN_{AI} (Wm^{-2})	σ_A (Wm^{-2})
MEX	50	530	887	78	233
PAR	156	533	896	81	237
LR	1262	590	966	98	249
C1857	1576	600	980	103	249
PELZ	32	529	888	80	236
SQ	32	536	893	84	238
BA	10	533	898	47	247
GDO	37	533	920	11	277
SJ	36	539	924	9	280
BL	1	546	922	9	272
CdC	28	541	927	7	282
CP	1	540	930	5	278

Como tiene que ser en este modelo teórico-ajustado, el efecto de la altura también se observa en el comportamiento temporal de G_S , tanto en la variación estacional (Figura 28) como en la variación diurna (Figura 29). Necesariamente el comportamiento estacional de G_S (Figura 28) es similar al de G_0 (Figura 25), mayor en Primavera y Verano con un máximo promedio estacional instantáneo (MAX_{PEI}) de $919 Wm^{-2}$ y de $911 Wm^{-2}$ respectivamente, y menor en Otoño e Invierno con un MAX_{PEI} de $853 Wm^{-2}$ y $722 Wm^{-2}$ respectivamente. Al igual que el comportamiento estacional, la variación diurna de G_S (Figura 29) es similar al de G_0 (Figura 26), mayor a medio día en comparación a las mañanas ó tardes.

Las EMAs de La Rumorosa y Constitución de 1857 en las Figuras 28 y 29 tiene una mayor radiación superficial debido a su altura pero siguen el comportamiento temporal de las EMAs ubicadas en Baja

California debido a la física del modelo HLJ. Al igual que el comportamiento espacial, el comportamiento temporal de la radiación superficial se observan mejor en los máximos valores estimados, que en los promedios ó en los mínimos, como se observa en el Anexo 13 y 14.

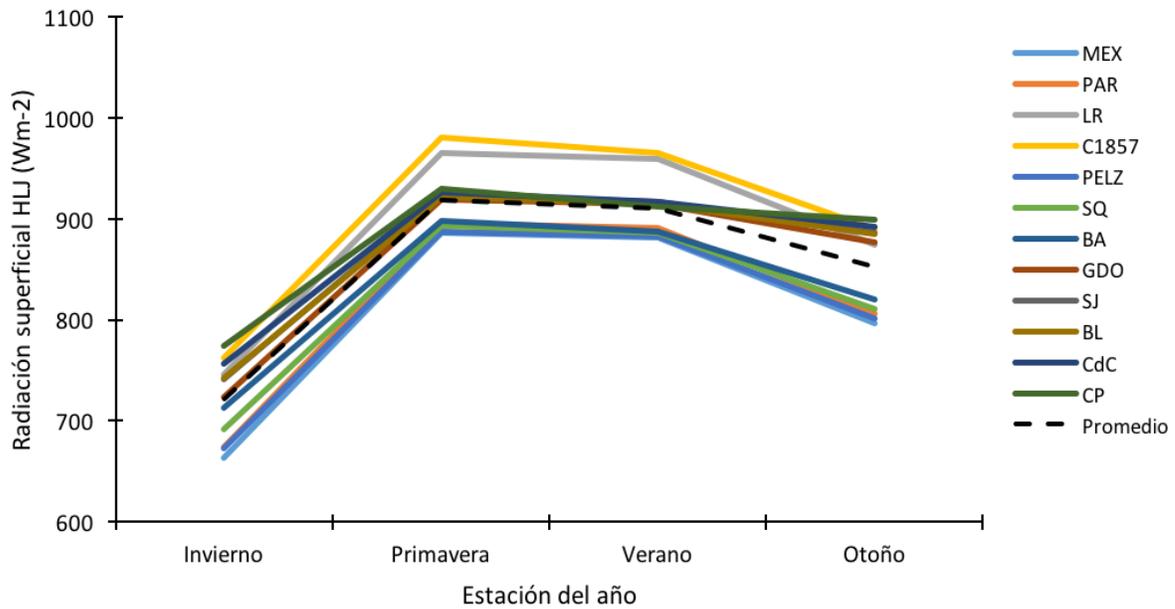


Figura 28. Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.

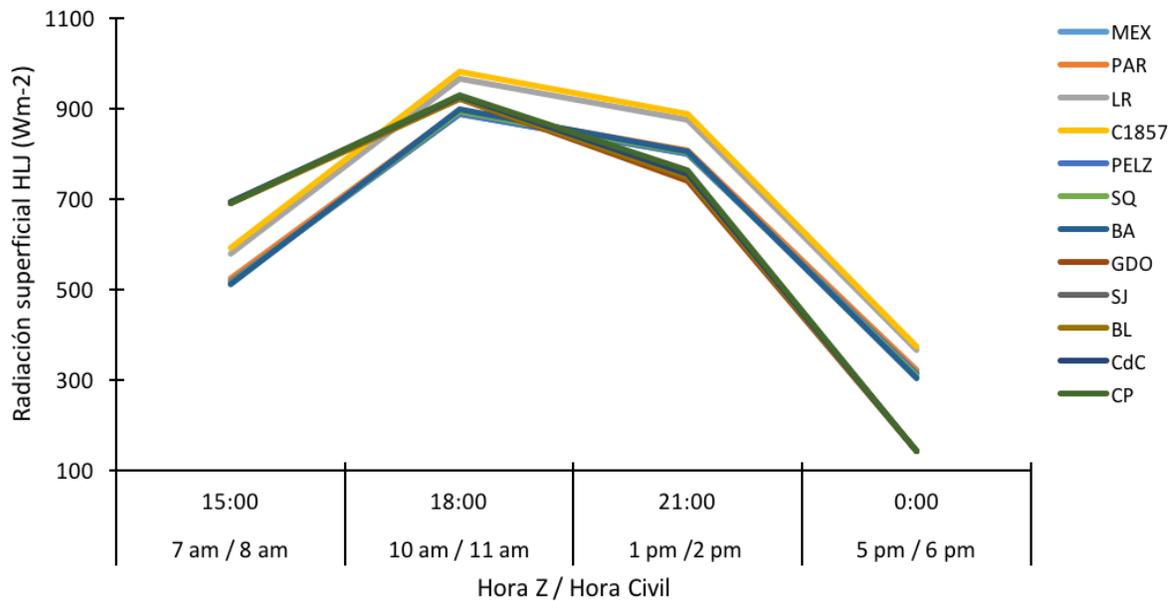


Figura 29. Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial estimada por el modelo HLJ sobre las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

5.1.3 Radiación superficial estimado por el modelo GSIP

GSIP se rige por los mismos principios físicos (posición del Sol respecto al observador, traslación, rotación, latitud, etc.) por lo que el comportamiento espacial y temporal son similares a los modelos anteriores (G_0 y G_S) pero a diferencia de estos, el modelo de GSIP detalla las procesos atmosféricos y calibra los procesos en el tiempo (por hora) y en el espacio, de acuerdo a las variaciones meteorológicas (como temperatura superficial, humedad superficial, etc.), a la presencia y características de los gases atmosféricos y a la topografía; todas estas variables pretenden mejorar la exactitud de la estimación de la radiación superficial. El modelo es tan complejo que para poder explicar el comportamiento espacial de los valores de MAX_{AI} de la radiación superficial de GSIP (Figura 30) se tendría que explicar las variaciones meteorológicas sobre la península, hacer estudios de cuatro dimensiones y de densidad de los gases (principalmente del vapor de agua) y relacionar el comportamiento de la radiación con la topografía.

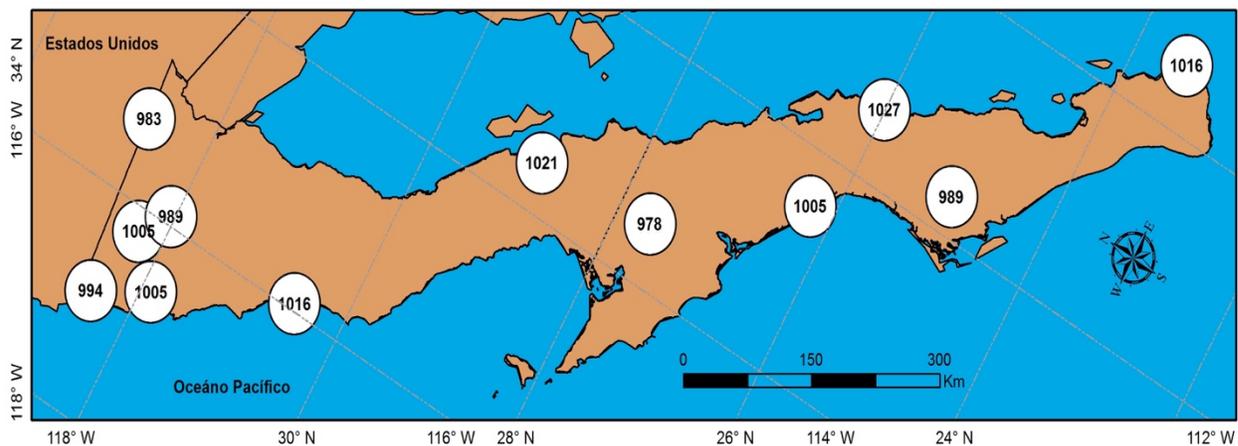


Figura 30. Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) estimado por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

El mapa de la Figura 30 muestra los valores estimados de MAX_{AI} , los cuales resultan más constantes a lo largo de la vertiente del Golfo de California con un promedio de $1021 Wm^{-2}$ (Bahía de los Ángeles, Bahía Loreto y Cabo Pulmo) que a lo largo de la vertiente del Océano Pacífico con un promedio $1002 Wm^{-2}$ (Presa Abelardo Rodríguez, Presa Emilano López Zamora, San Quintín, San Juanico y Ciudad Constitución). Una explicación posible a este patrón es que se deba a una mayor presencia de nubes en el Océano Pacífico en comparación al Golfo de California y a la dirección predominante del viento en la península del Noroeste al Sureste (del océano al continente).

La variación estacional (Figura 31) y diaria (Figura 32) de la radiación superficial de GSIP, presenta comportamientos temporales similares a los descritos en los modelos de G_0 y G_S . Al igual que el comportamiento espacial de la radiación superficial de GSIP, la variación temporal se debe a las variaciones en el clima local (EMAs) y en el regional (península), mientras que la elevación y latitud pasan a segundo término.

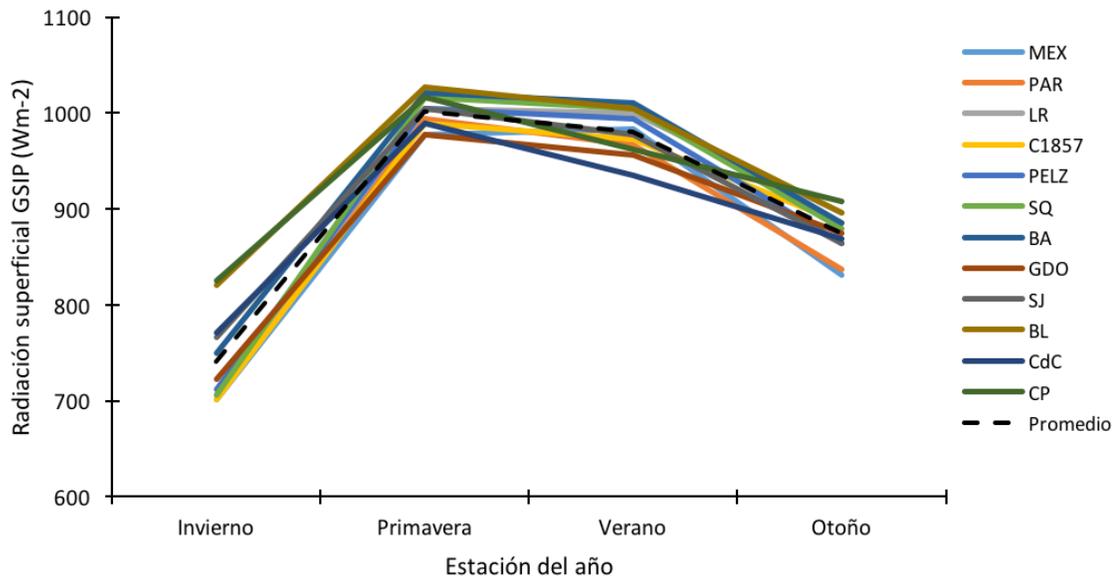


Figura 31. Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.

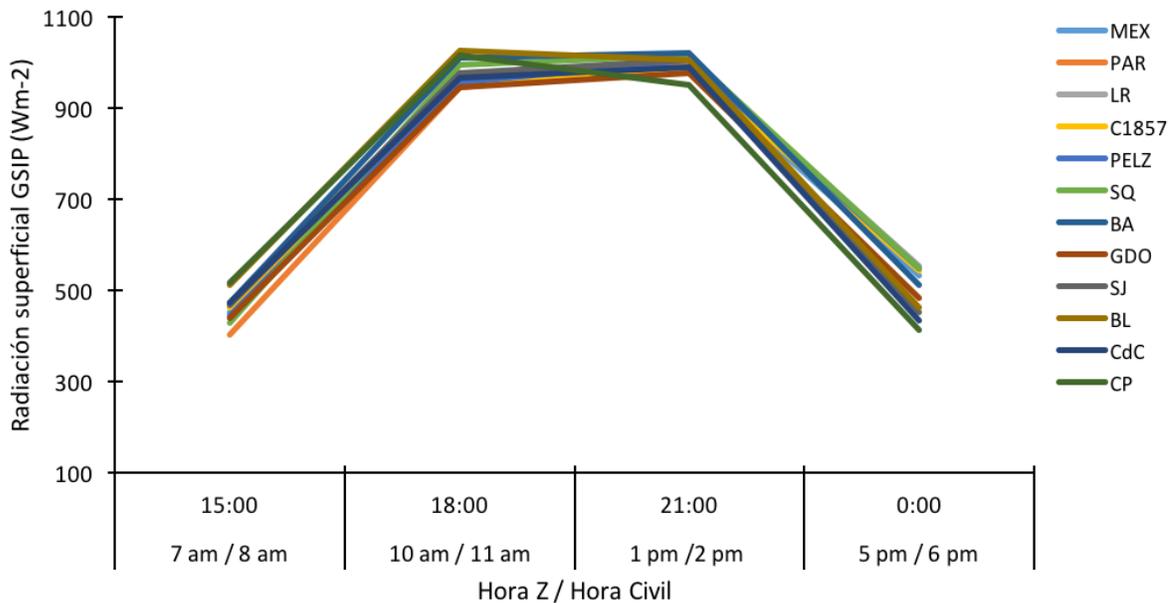


Figura 32. Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercano a las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

El promedio del MAX_{EI} de GSIP en la Figura 31, nos muestra que es mayor en Primavera (1002 Wm^{-2}) y en Verano (981 Wm^{-2}), y menor en Otoño (874 Wm^{-2}) e Invierno (741 Wm^{-2}). Mientras, la variación diurna es mayor a mediodía y menor en las mañanas o tardes (Figura 32). Al igual que con G_0 y G_S , el valor máximo de la radiación superficial de GSIP representa mejor los comportamientos espaciales y temporales, a comparación del mínimo y el promedio (Tabla 8, Anexo 15 y 16).

Tabla 8. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo GSIP, cercana a las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}), el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}) y la desviación estándar anual (σ_A).

EMA	$P_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$MAX_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$MIN_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$\sigma_A (\text{Wm}^{-2})$
MEX	598	983	174	242
PAR	577	994	103	256
LR	607	1005	136	247
C1857	598	989	141	241
PELZ	597	1005	125	244
SQ	587	1016	152	273
BA	608	1021	130	268
GDO	574	978	92	261
SJ	593	1005	120	264
BL	628	1027	163	269
CdC	577	989	103	262
CP	604	1016	158	274

5.1.4 Radiación superficial registrada por las EMAs del SMN

La radiación superficial registrada por las EMAs se muestra en la Tabla 9 y en la Figura 33, donde a simple vista no se ven patrones en el comportamiento espacial. Su comportamiento es similar al que se presente en los datos estimados por GSIP. Los datos registrados a lo largo de la vertiente del Golfo de California son más constantes, con un promedio de 1015 Wm^{-2} (Bahía de los Ángeles, Bahía Loreto y Cabo Pulmo) en comparación con los datos registrados a lo largo de la vertiente del Océano Pacífico con

un promedio de 1035 Wm^{-2} (Presa Abelardo Rodríguez, Presa Emiliano López Zamora, San Quintín, San Juanico y Ciudad Constitución).

Tabla 9. Estadística descriptiva de la radiación superficial registrada por las EMAs del SMN de la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual instantáneo (P_{Ai}), el máximo anual instantáneo (MAX_{Ai}), el mínimo anual instantáneo (MIN_{Ai}) y la desviación estándar anual (σ_A).

EMA	$P_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$MAX_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$MIN_{Ai} (\text{Wm}^{-2})$	$\sigma_A (\text{Wm}^{-2})$
MEX	593	1005	85	245
PAR	551	1014	54	289
LR	608	1071	51	286
C1857	523	1052	28	340
PELZ	581	1088	49	288
SQ	550	1002	52	306
BA	596	1032	6	301
GDO	577	1044	36	308
SJ	613	1081	81	314
BL	528	1007	57	281
CdC	531	992	45	291
CP	543	1007	45	299

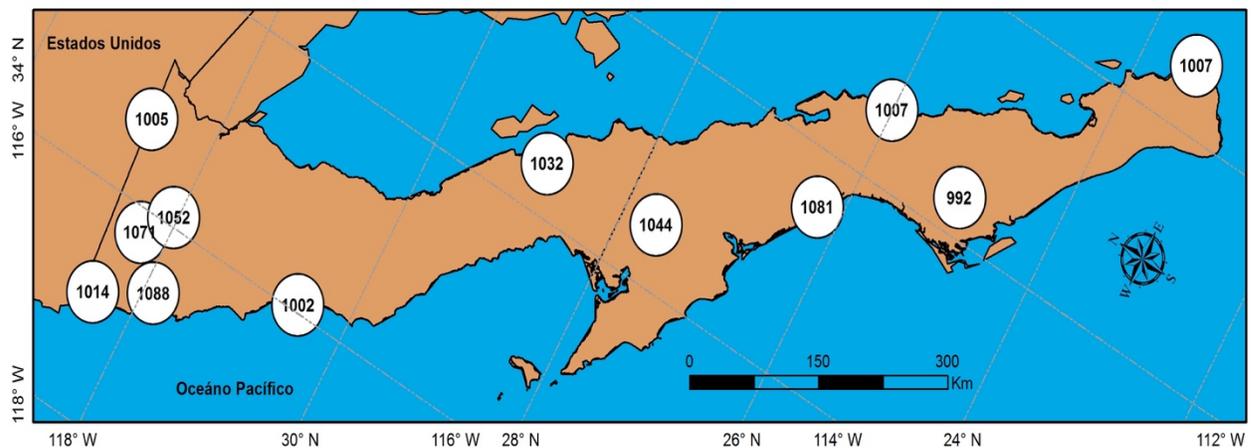


Figura 33. Máximo anual instantáneo de la radiación superficial (Wm^{-2}) registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

Los valores registrados en Baja California Sur son menores a los estimados por GSIP y HLJ, y los registrados en Baja California Norte. Esto puede deberse a la peculiaridad de la temporada ciclónica del Pacífico tropical de México en el 2014 que inició el 22 de Mayo y duró hasta el 5 de Noviembre (Berg, 2015), que coincide con las estaciones del año con mayores niveles de radiación superficial (Primavera, Verano y Otoño) como se observa en la Figura 34 (Anexo 17).

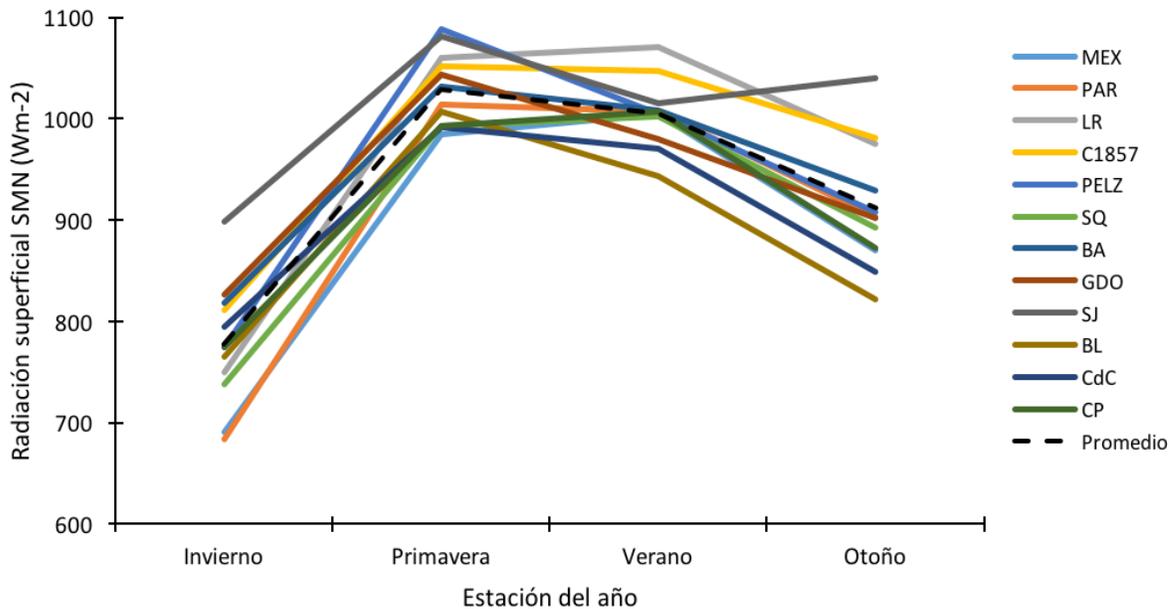


Figura 34. Máximo estacional instantáneo de la radiación superficial registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014. Los meses que se tomaron para cada estación del año fueron Diciembre, Enero y Febrero para Invierno; Marzo, Abril y Mayo para Primavera; Junio, Julio y Agosto para Verano; y Septiembre, Octubre y Noviembre para Otoño.

La variación estacional en el MAX_{IE} de las EMAs (Figura 34) es mayor en Otoño e Invierno con una desviación estandar de 61 Wm^{-2} y 59 Wm^{-2} respectivamente, mientras que en Primavera y Verano es menor con una desviación estandar de 36 Wm^{-2} y 33 Wm^{-2} respectivamente. Estas mayores variaciones en la radiación superficial de Otoño e Invierno pueden deberse a la finalización de temporada de huracanes al Sur de la península y al comienzo de temporada lluvias al Norte de la península. Mientras tanto el comportamiento temporal de la radiación superficial es según lo documentado (Capítulo 4.2.3), con un promedio de radiación superficial mayor en Primavera y Verano (1028 Wm^{-2} y 1005 Wm^{-2} , respectivamente) en comparación con Otoño e Invierno (912 Wm^{-2} y 777 Wm^{-2} , respectivamente).

Como es de esperarse, la variación diaria de la radiación superficial registrada por las EMAs (Figura 35) presenta un comportamiento similar a lo estimado por los modelos de GSIP y HLJ, con valores más altos cercanos a mediodía y con los valores más chicos en la mañana o tarde (Anexo 18). Se muestran desviaciones estandar diferentes en la mañana con una desviación estandar promedio de 34 Wm^{-2} (a las 15 z es de 33 Wm^{-2} y a las 18 z es de 35 Wm^{-2}) que en la tarde con una desviación estandar promedio de 60 Wm^{-2} (a las 21 z es de 47 Wm^{-2} y a las 00 z es de 73 Wm^{-2}), lo que nos podría indicar diferentes tendencias para los datos de la mañana y de la tarde.

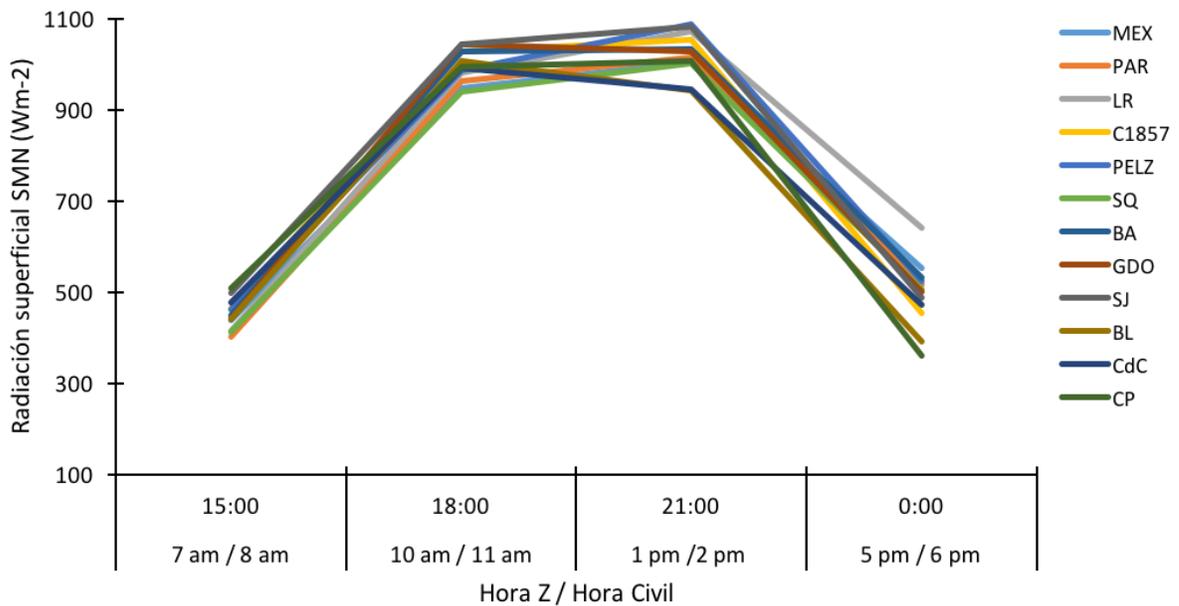


Figura 35. Máximo anual para cada hora muestra de la radiación superficial registrada por las EMAs de la península de Baja California en el 2014.

5.2 Comparación preliminar de modelos y datos

Para comparar el modelo con efectos atmosféricos estáticos y arbitrarios con el de efectos recalculados con alta frecuencia con base en variables medidas, se decidió hacer una correlación de los datos estimados por los modelos HLJ y GSIP. Estos modelos también se compararon con los datos registrados por las EMAs. La comparación de los modelos se hizo por correlación lineal. La comparación entre cada modelo y los datos de las EMAs se reporta en términos de regresión lineal por la intención de usar estas relaciones para ajustar los datos geográficamente extensivos de los modelos. En todos los casos se usó un nivel de significancia de $p < 0.001$.

5.2.1 Relación entre los resultados de los modelos HLJ y GSIP

La calidad de la relación entre los modelos de HLJ y el modelo de GSIP es de interés práctico dado que el modelo HLJ no requiere de datos de percepción remota, ni su procesamiento es demasiado elaborado. Su relación se resume en forma conjunta para todas las EMAs en la Figura 36 y para cada una de las EMAs en el Anexo 19. A valores de menos de 550 Wm^{-2} en GSIP, hubo una extrema dispersión de valores en HLJ (Figura 36). La perspectiva geográfica de la Figura 37 nos muestra la correlación lineal de cada EMA, donde se nota que tres EMAs de la vertiente del Pacífico en el medio-sur de la península (Gustavo Díaz Ordaz, San Juanico y Ciudad Constitución) se destacan por tener una débil relación, en contraste con las estaciones más despejadas del lado del Golfo y Norte de la península.

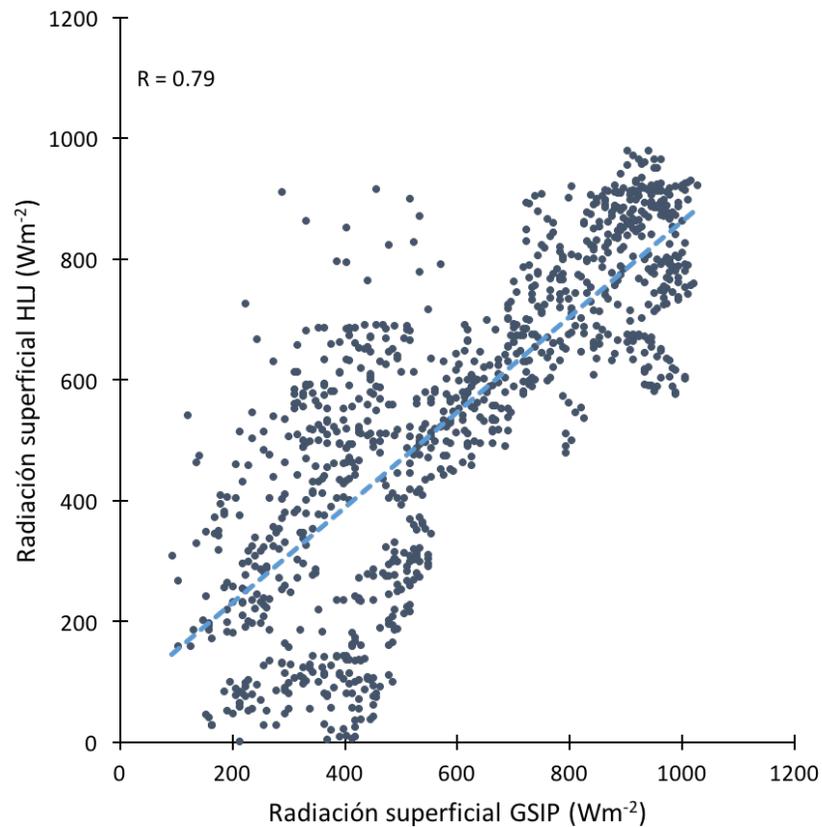


Figura 36. Dispersión de los resultados de HLJ y GSIP (todas las EMAs y días y horas de muestreo) y su relación lineal (analizado en el software JASP).

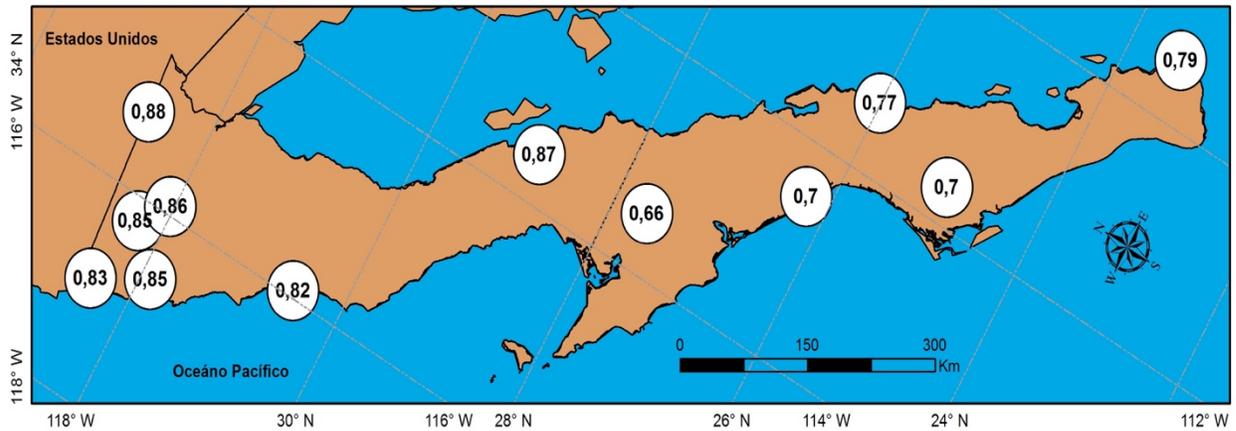


Figura 37. Relación lineal entre los modelo HLJ y GSIP.

5.2.2 Relación entre los resultados del modelo HLJ y los datos de las EMAs

El modelo HLJ es un modelo global en su concepto, con factores de adaptación a enormes zonas geográficas y largos periodos en el año, su uso es atractivo por su relativa simplicidad y no dependencia a datos meteorológicos actualizados o regionalizados. Por estas razones es importante conocer que tanto de la variación en los resultados del modelo HLJ corresponden a la variación registrada en campo (datos EMAs). Para esta pregunta se usó la regresión lineal y en particular el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), a pesar de que el modelo no “depende” de datos registrados. Los datos de todas las EMAs se demuestran en la Figura 38 con la línea de regresión y sus parámetros (para observar la relación de cada EMA, ver el Anexo 20). La dispersión de puntos y línea de regresión de cada EMA se pueden ver el Anexo 21.

La relación general del modelo HLJ y de las EMAs no es muy fuerte (0.74) en comparación con la relación de GSIP-EMAs (0.94), probablemente debido a que el modelo no contempla variaciones meteorológicas ni la anisotropía que genera la atmósfera en la radiación incidente. También podrían haber errores del lado instrumental por falta de calibración, sombra de vegetación cercana, animales que llegan a pasar, suciedad del sensor u otros factores que puedan afectar al sensor. Con la finalidad de visualizar la geografía de la relación lineal entre el modelo HLJ y los datos de las EMAs, se generó la Figura 39 en donde se observa el R^2 ajustado para cada EMA, las cuales muestran mejor relación en Baja California respecto a Baja California Sur y en particular las mismas tres estaciones donde difieren más los modelos HLJ y GSIP, debido probablemente a una mayor presencia de nubosidad a lo largo del año.

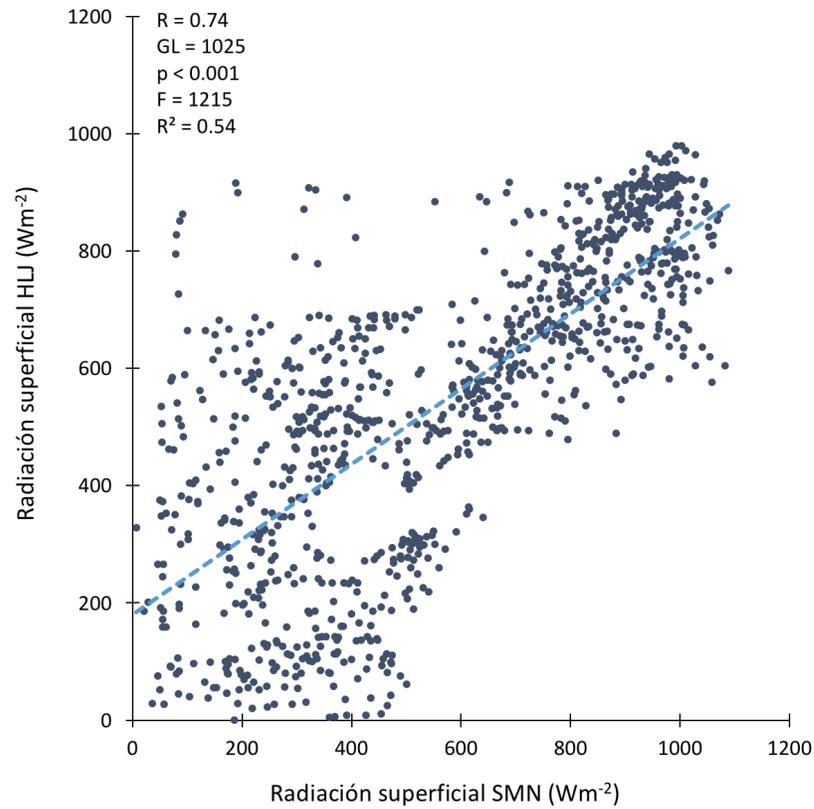


Figura 38. Dispersión de los resultados de HLJ y SMN (todas las EMAs y días y horas de muestreo) y su relación lineal (analizado en el software JASP).

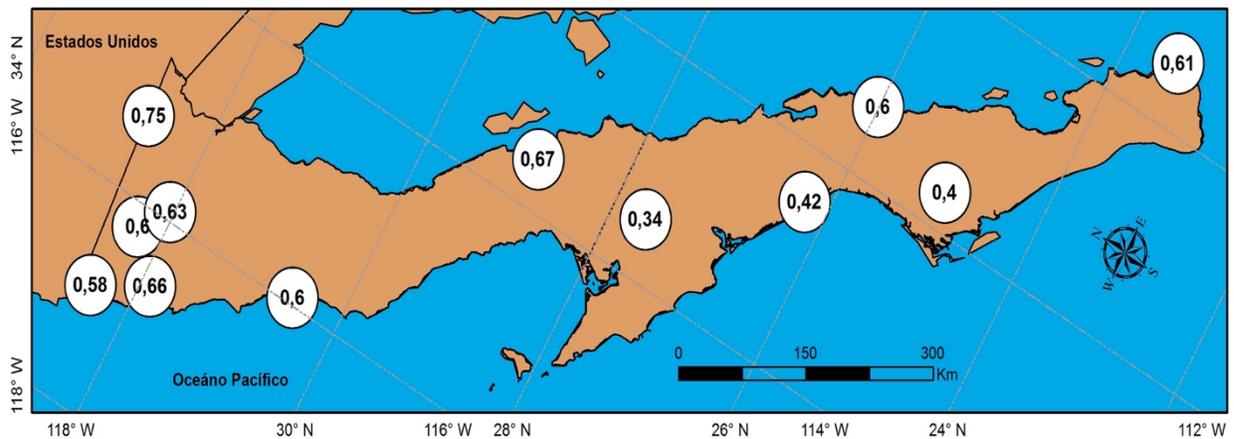


Figura 39. Coeficiente de determinación ajustado de la regresión lineal entre el modelo HLJ y los datos de las EMAs.

5.2.3 Relación entre los resultados del modelo GSIP y los datos de las EMAs

De igual manera que con el modelo HLJ, se buscó cuanto de la variación en los resultados del modelo GSIP corresponde a la variación conocida en las EMAs. Los parámetros anuales de la regresión lineal

GSIP-SMN se presentan en el Anexo 22; donde ocho EMAs mostraron $r^2 > 0.91$. La dispersión de puntos y la línea de regresión de todos los datos de las EMAs se demuestran en la Figura 40 y de cada EMA se pueden ver el Anexo 23. No sorprende que presente una mejor relación ($r^2 = 0.88$ en general) con los datos de las EMAs en comparación con el modelo HLJ, ya que GSIP es un modelo muy complejo, con frecuentes ajustes por condiciones meteorológicas regionales. Es notable que la regresión con todos los datos (haciendo recordar que son de las 4 horas y 25 fechas de seleccionadas) separa regiones de relativamente baja y alta dispersión de puntos. La pendiente es cercana pero menor a uno ($m=0.8173$), aparentemente por mayor frecuencia de sobreestimación por GSIP a valores instrumentales bajos.

La representación geográfica de la relaciones de GSIP-SMN (Figura 41), no demuestra el mismo patrón que HLJ y las peores relaciones con las EMAs se presentaron en extremos opuestos de la península y a altitud.

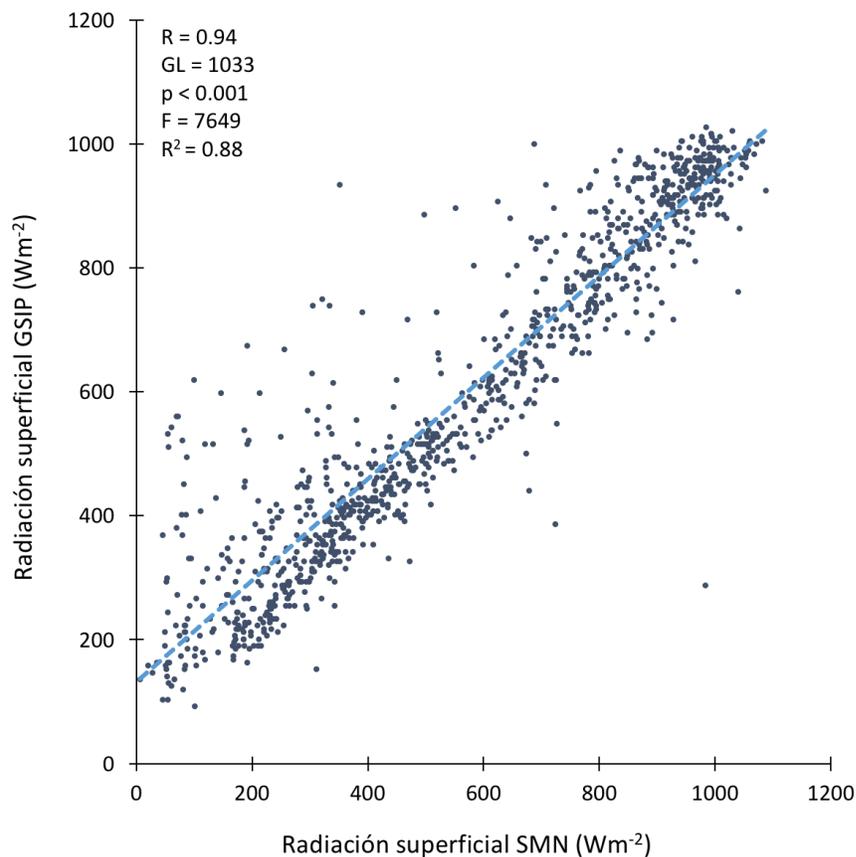


Figura 40. Dispersión de los resultados de GSIP y los datos de las EMAs para los días y horas de muestreo y su relación por regresión lineal (analizado en el software JASP).

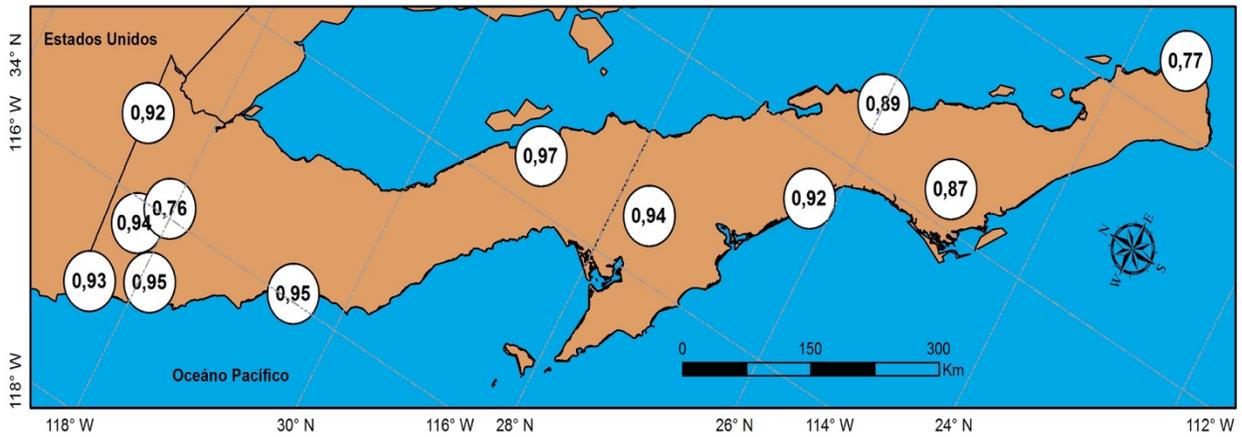


Figura 41. Coeficiente de determinación ajustado de la regresión lineal entre el modelo GSIP y los datos de las EMAs.

5.2.4 Ajuste al modelo GSIP

El ajuste se realizó con el modelo GSIP, el cual es el modelo que mejor representa la naturaleza de la radiación superficial registrada por las EMAs, con un R^2 ajustado de 0.88 (Figura 40). Este ajuste nos otorgara estimaciones con un nivel de confianza alto en regiones donde no existe información registrada por las EMAs. El ajuste se realizó con la ecuación 29 que representa la mejor relación de todos los datos de GSIP y SMN.

$$Dato_GSIP = 0.8173(Dato_EMA) + 132.55 \quad (29)$$

Para realizar el ajuste necesitamos despejarse $Dato_EMA$ (el cual pasa a hacer nuestro $Dato_GSIP_Ajustado$), quedando como la ecuación 30 como resultado.

$$Dato_GSIP_Ajustado = \frac{Dato_GSIP - 132.55}{0.8173} \quad (30)$$

Para comprobar cómo el GSIP ajustado varía respecto al modelo no ajustado se presentan sus diferencias en forma de histograma (Figura 42). Esto recalca los dos grupos de datos señalados arriba y particularmente la dispersión de sobre estimaciones por GSIP.

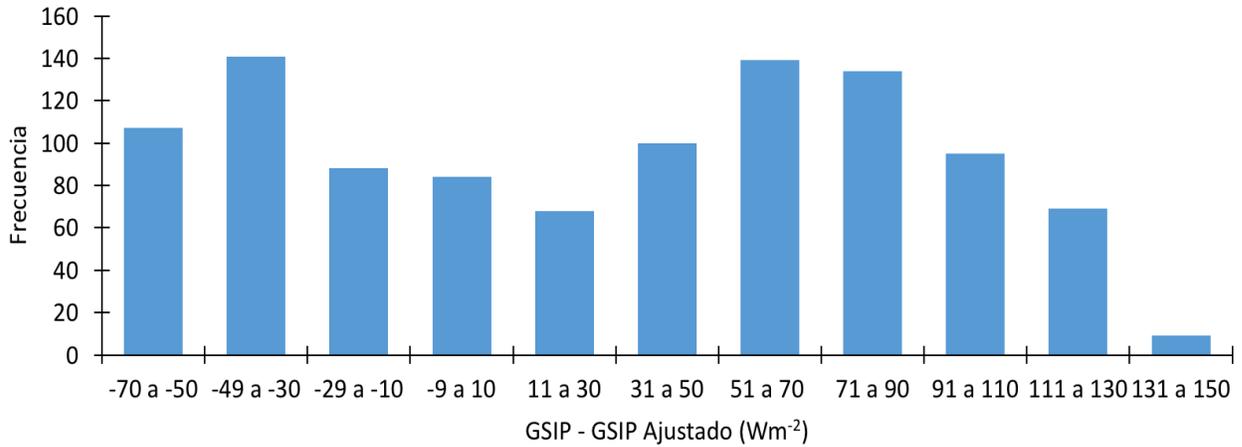


Figura 42. Histograma de la diferencia en los valores del modelo GSIP ajustado y no ajustado.

5.2.5 Mapas de radiación superficial con datos ajustados

Una vez que los resultados del modelo de GSIP fueron ajustados según los datos de las EMAs, se generaron mapas de radiación superficial para toda la península de Baja California. En estos mapas podemos observar los promedios instantáneos ajustados anual (Figura 43) y por estación del año (Figura 44). Algunas anomalías geográficas son aparentes, como en el Llano del Vizcaíno, al noroeste y noreste de la península. En algunas regiones y tiempo, particularmente para la perspectiva anual, el contraste entre mar y la tierra es notorio, y se aprecian patrones menos marcados y más complejos sobre la tierra que podrían tener relación con la topografía y albedo de la superficie.

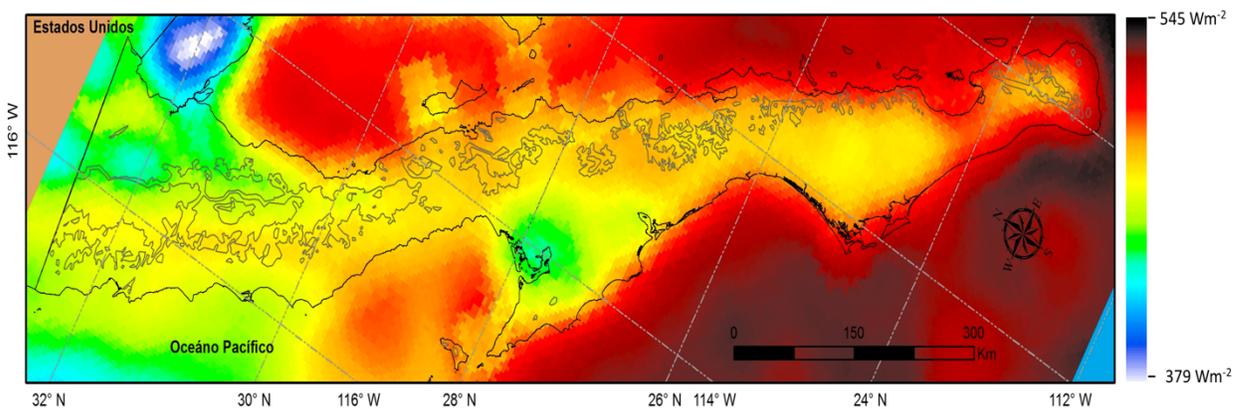


Figura 43. Promedio instantáneo anual de la radiación superficial del modelo GSIP ajustado en la península de Baja California en el 2014.

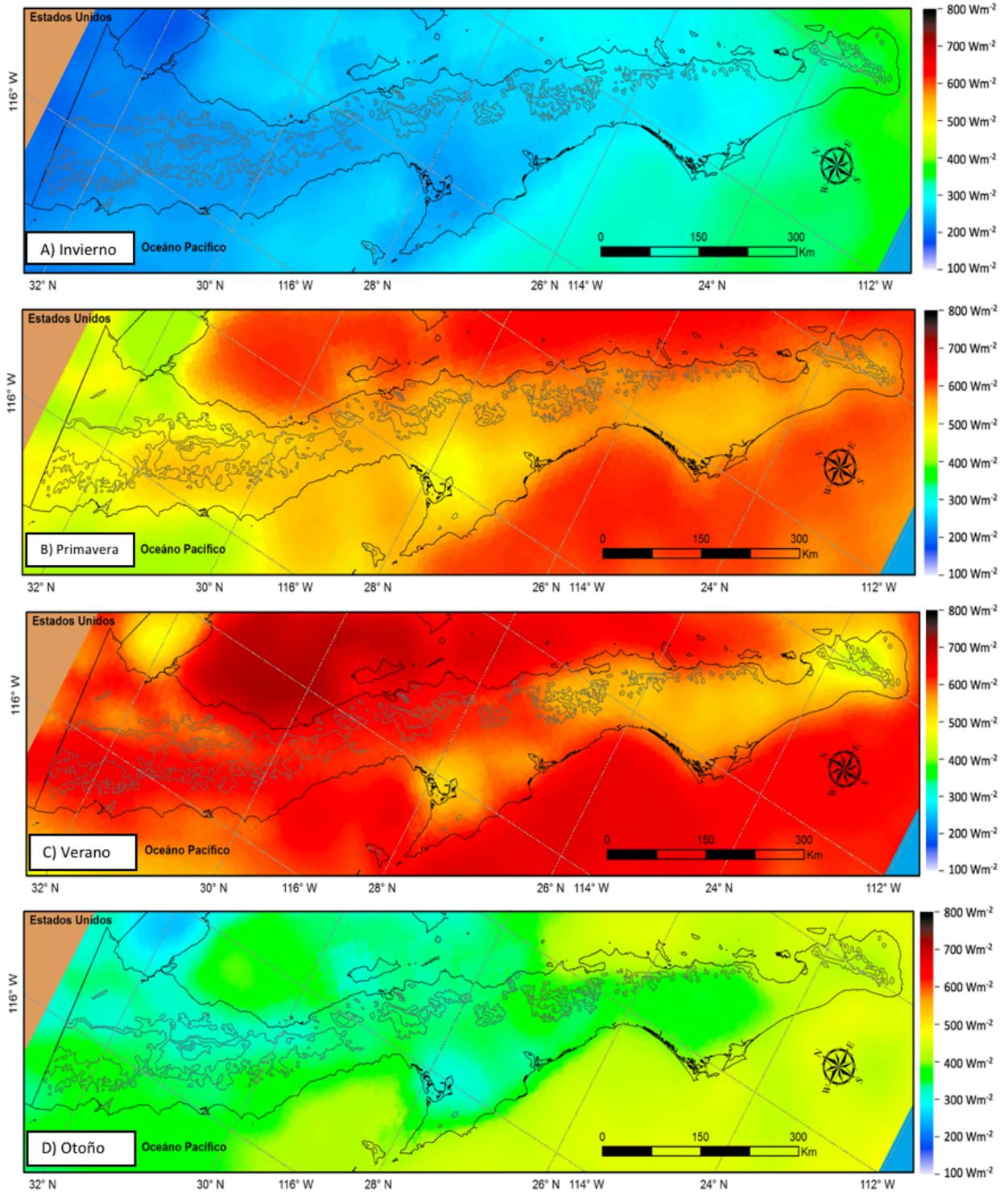


Figura 44. Promedio instantáneo de la radiación superficial del modelo GSIIP ajustado para las cuatro estaciones del año en la península de Baja California en el 2014.

5.3 Transmisión atmosférica

5.3.1 Mapas de transmisión atmosférica estimada

El resultado de la estimación de la transmisión atmosférica anual se presenta en la Figura 45, donde se observa al igual que en el mapa de radiación superficial ajustado (Figura 43) algunas anomalías geográficas aparentes como en las llanuras presentes en la península (Figura 8) como el Llano del Vizcaíno. En algunas regiones y tiempo, particularmente para la perspectiva anual, el contraste entre mar y la tierra es notorio, y se aprecian patrones menos marcados y más complejos sobre la tierra que podrían tener relación con la topografía y albedo de la superficie. Como era de esperarse hay una relación directa del mapa de radiación superficial con el mapa de transmisión atmosférica, los cuales son inversamente proporcionales. El promedio anual instantáneo de la transmisión atmosférica para toda la península es de 0.64.

El comportamiento de la transmisión atmosférica de cada estación del año en la península de Baja California lo podemos ver en la Figura 46, el cual presenta un comportamiento espacio-temporal similar al de la radiación superficial ajustada. En Invierno el promedio de transmisión fue de 0.45, para Primavera fue de 0.73, Verano de 0.71 y Otoño de 0.57.

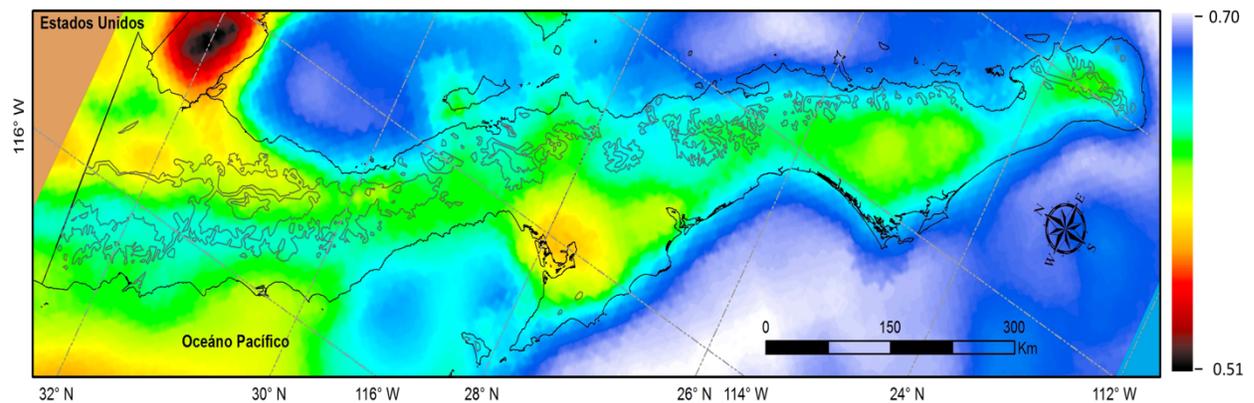


Figura 45. Promedio instantáneo anual de la transmisión atmosférica en la península de Baja California en el 2014.

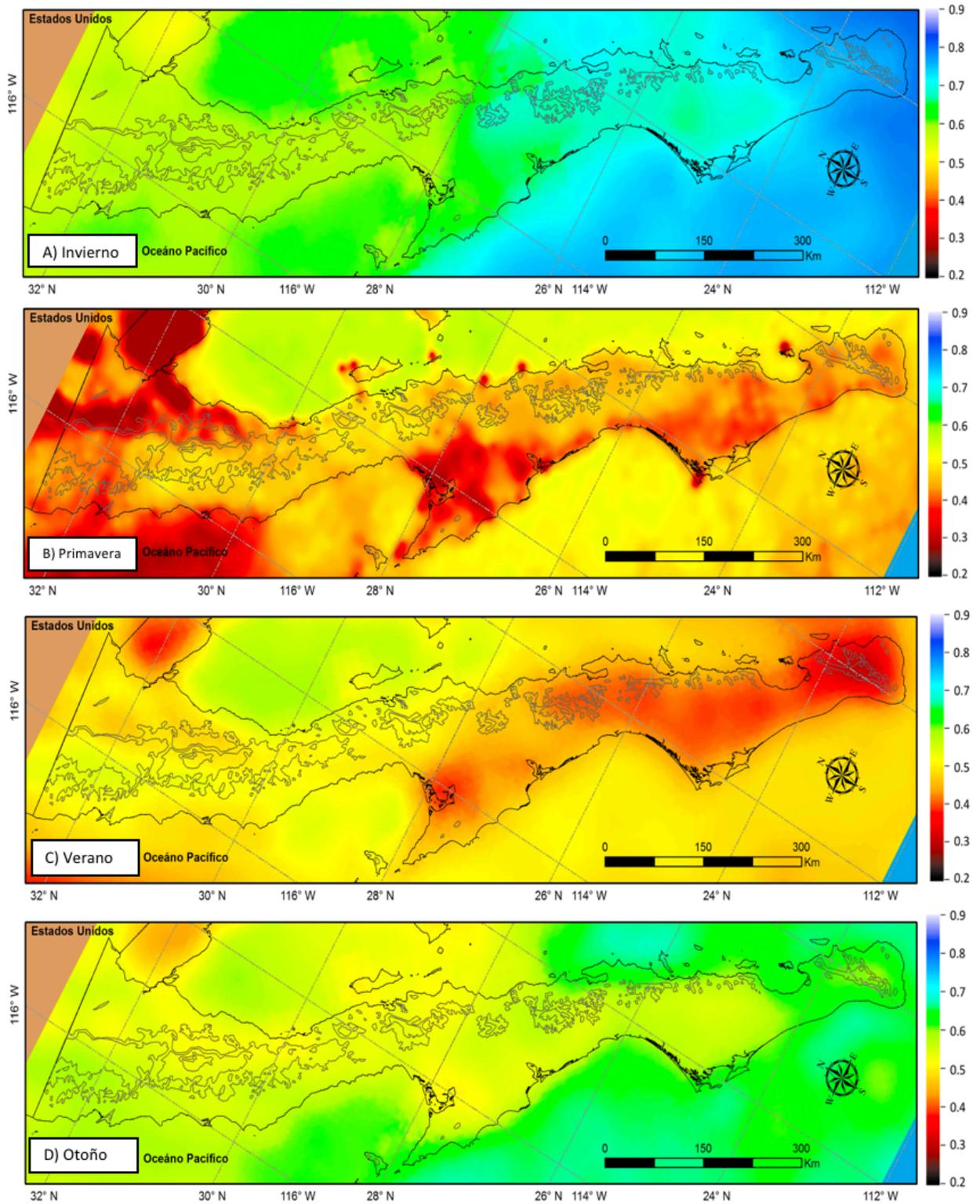


Figura 46. Promedio instantáneo de la transmisión atmosférica para las estaciones del año en la península de Baja California en el 2014.

Capítulo 6. Discusión

6.1 Modelos de radiación solar

Los modelos numéricos teóricos de radiación solar superficial (como el modelo HLJ) en la actualidad solo representan una estimación burda comparada con los modelos más complejos como el modelo GSIP, que se complementan con gran cantidad de insumos como datos registrados por imágenes satelitales y estaciones meteorológicas en la superficie. Estos modelos teóricos no se deben descartar, ya que tienen utilidad didáctica y son accesibles a un público que no cuenta con más datos que su localización y fecha.

Los resultados de este trabajo demostraron que tanto modelos y datos de las EMAs registraban patrones similares en el comportamiento espacio-temporal, los cuales solo variaban por las condiciones bajo las que se establecieron los diferentes modelos y/o características de los sensores con los que eran registrados la radiación solar. Para saber que modelo estimaba mejor la naturaleza de la radiación superficial en la península, se tuvo que realizar una comparación, aquí restringida a un año, de los modelos con respecto a los datos registrados en campo. Como se esperaba el modelo GSIP, fue el que mejor representaba la naturaleza de la radiación superficial por lo que solo se tenía que hacer un ajuste a los datos que estimaba GSIP con los datos registrados por las EMAs, esto con el fin de mejorar la estimación.

Los modelos con insumos dinámicos y ligados a cobertura espacial continua y extensa representan la mejor opción para consultar o generar información de radiación solar en regiones donde no se cuentan con estaciones meteorológicas y en particular cuando no se tiene verificación o calibración regional. Actualmente el nivel de resolución espacial y la frecuencia de los datos son grandes, pero se espera que las nuevas generaciones de satélites (por ejemplo GOES R) tengan productos más finos. En la península de Baja California como en México, los modelos satelitales pueden ser la mejor opción para evaluar el recurso de la radiación solar, ya que las estaciones radiométricas son pocas, con problemas de mantenimiento, comunicación y disposición de datos. Todo esto llega a causar huecos espacio-temporales en la información. Para el año 2014 en la península de Baja California se contaba con 12 EMAs que tenían piranómetro y donde la distribución de las EMAs no era la óptima para estudiar la radiación solar. Por otro lado, los satélites barren constantemente la península y contribuyen a sistemas automáticos para estimar la radiación solar. Los únicos problemas al respecto con las mediciones y modelación de GSIP en la península de Baja California, es que no se sustenta con datos superficiales

porque el modelo oficial solamente contempla una EMA para la península. Como sabemos la superficie constantemente puede verse afectada por condiciones locales o condiciones no aparentes, como el polvo, la nubosidad, aerosoles y otros gases. El ajuste del modelo GSIP con datos terrestres de las 12 EMAs es un importante producto de este trabajo. Faltaría mayor prueba con datos terrestres de sitios de montaña y estudio de los sensores y el modelo para entender los patrones de desviación de la relación lineal, pero la calibración presente puede representar las zonas de potencial uso de esta información, para energía solar, desarrollo agrícola (y transpiración elevada), urbanización.

6.2 GSIP ajustado y trabajos previos

Los resultados del modelo GSIP ajustado, nos entrega estimaciones de radiación superficial para la península de Baja California con una resolución espacial y temporal igual a la del modelo original (Capítulo 4.2.2). Esto nos genera un salto grande en la resolución espacial al comparar con trabajos previos como los de Hernández (1991) o Almanza & Muñoz (1994), como podemos ver en la Figura 47.

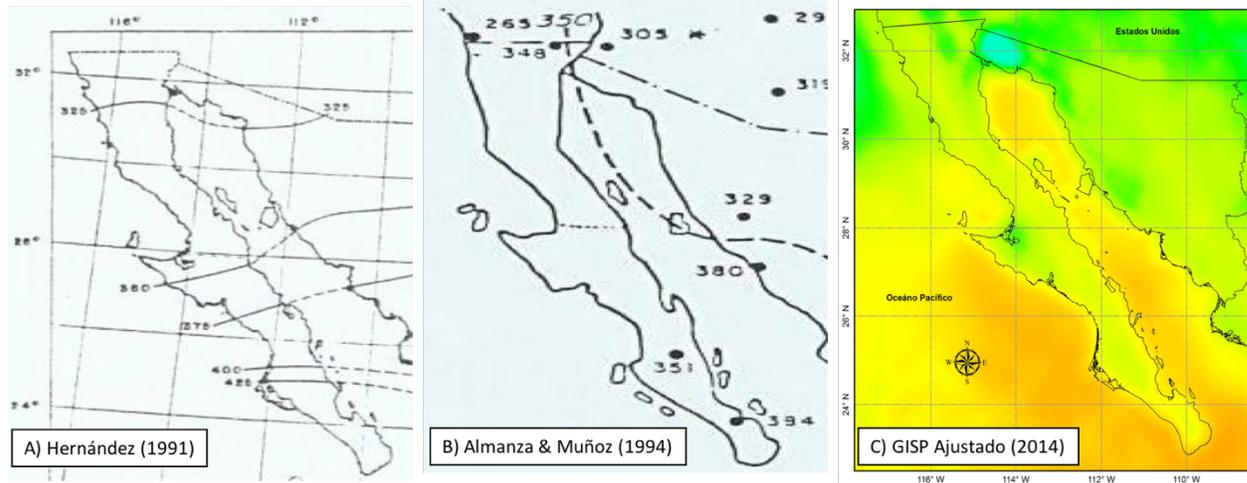


Figura 47. Comparación de resolución espacial de la estimación de la radiación solar superficial para la península de Baja California.

Este aumento en la resolución espacial, como también en el número de puntos de control, nos permite tener una mayor cantidad y calidad de información, observar fenómenos locales y en un futuros trabajos puede ayudar a deducir como la radiación solar interactua con otras variables meteorológicas, en los ecosistemas a nivel regional o inversamente.

Temporalmente, el producto GSIP ajustado solo se basó en la radiación superficial para 4 horas al día, cual muestreo pareciera ser escaso comparado con la frecuencia de datos que entrega una EMA (cada 10 min). A pesar de la bondad del ajuste, podría haber aplicaciones que aprovecharía de mayor resolución, aunque la frecuencia del mismo GSIP no aproxima la de “nube por nube” que ofrecen las EMAs.

6.3 Transmisión atmosférica

La isotropía en la radiación del modelo de radiación exoatmosférica y la anisotropía del modelo GSIP, deriva en que algunas horas del día exista una mayor radiación superficial en comparación con la radiación exoatmosférica que en teoría debería ser mayor a la estimada o registrada en la superficie (Figura 48). Recordemos que la atmósfera no solo absorbe la radiación solar, sino que también la refleja o dispersa (como lo estima GSIP). Por otro lado es aparente que hay efectos fuertes de reducción de la radiación a la mañana (Figura 48), que probablemente se deben a nubosidad y humedad marina. Se sugiere que variaciones intrarregionales en este patrón diario podría influir en la dispersión de puntos en la relación GSIP – EMA (Figura 40).

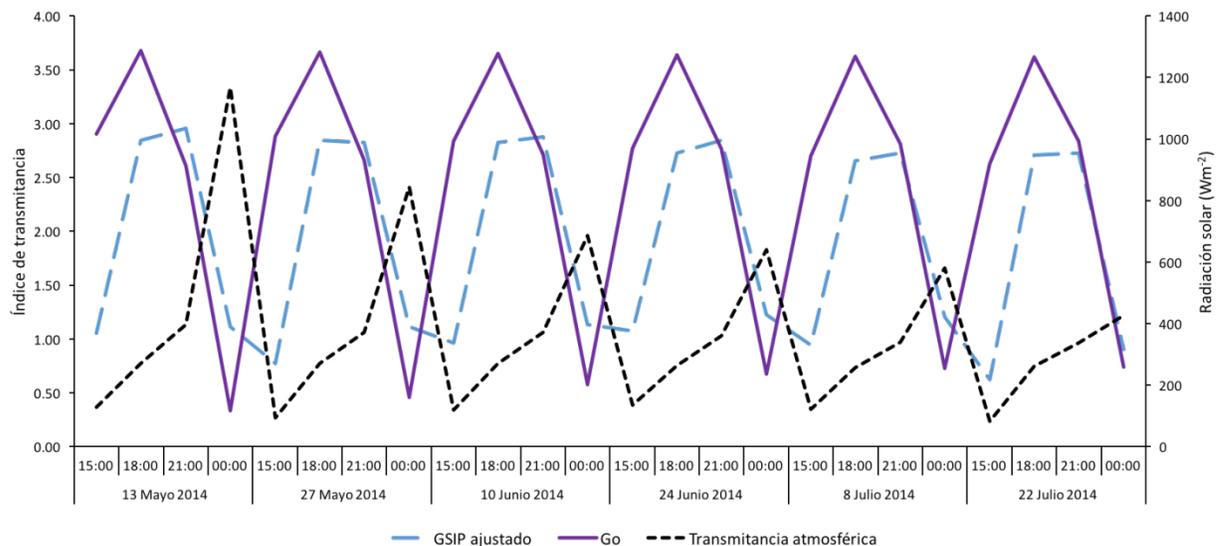


Figura 48. Muestra del comportamiento diario de la radiación exoatmosférica (G_0), radiación superficial ajustado y la transmisión atmosférica en la EMA Gustavo Díaz Ordaz.

La transmisión atmosférica se estimó para poder observar el efecto atmosférico sobre la radiación solar y donde su inverso nos indicara en que regiones donde se pierde más o menos radiación solar. Al comparar los mapas de radiación superficial y de transmisión atmosférica podemos observar la relación directa que tienen (Figura 49).

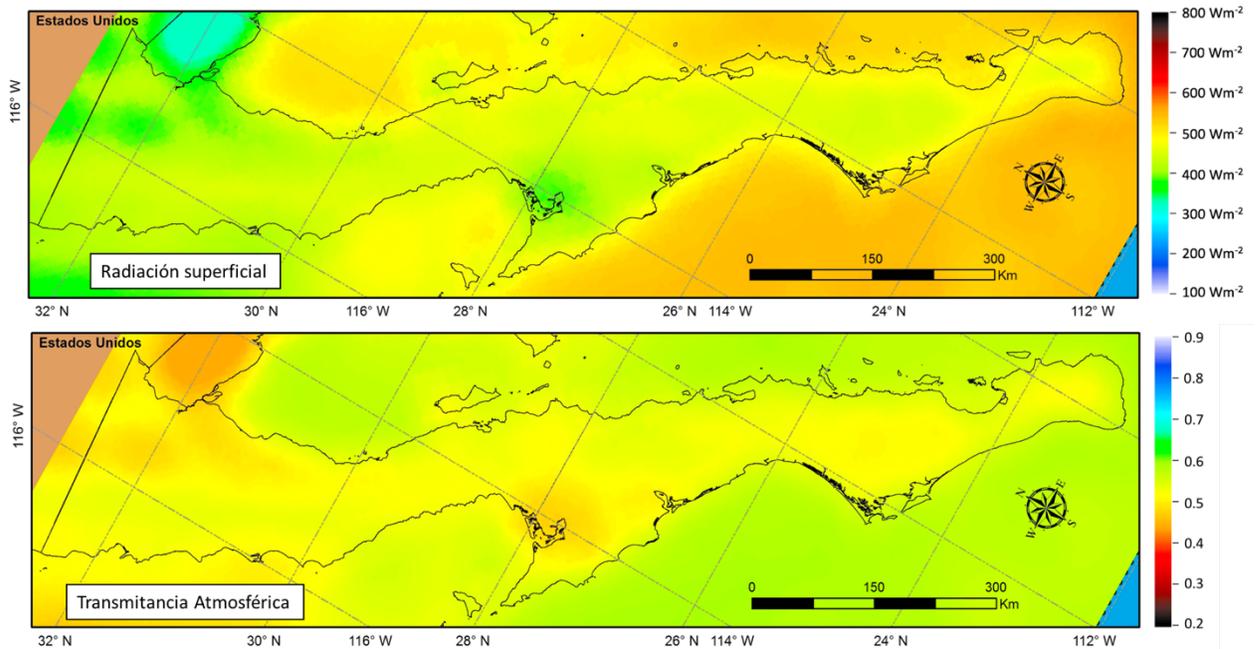


Figura 49. Comparación de resultados de la radiación superficial ajustada y de la transmisión atmosférica para la península de Baja California en el 2014.

Wild et al. estimaron que solamente el 54% de la radiación solar llega a la superficie de la Tierra, mientras que a nivel peninsular-anual en Baja California llega hacer el 64%. Sin embargo las comparaciones más apropiadas serían con regiones latitudinales y con condiciones meteorológicas similares, ya que la península es una zona subtropical con subsidencia atmosférica y con un clima típicamente seco, el cual se ve reflejado en sus suelos y vegetación. Pero a diferencia áreas extensas en esta zona latitudinal, como Sonora, Coahuila, Argelia o el interior de Australia, Baja California tiene mucha afluencia de humedad y nubosidad del mar, semejante a otras costas occidentales en semejantes latitudes de otros continentes, que afectan a su clima radiativa y térmica.

Capítulo 7. Conclusiones

Es necesario usar el modelo de radiación exoatmosférica de Spencer y no las mediciones satelitales de TSI para estudiar la transmisión atmosférica, porque la radiación exoatmosférica varía entre 1367 Wm^{-2} y 0 Wm^{-2} a nivel diario como también en menor rango para cada hora del día a través del año y por las coordenadas terrestres a estudiar..

El modelo de radiación superficial de cielo despejado de Hottel Liu y Jordan, tendría un uso más didáctico que práctico, menos de investigación. El modelo no contempla la variación meteorológica con suficiente detalle y verisimilitud, ni contempla albedos de diferentes superficies (nubes, polvos, aerosoles, cuerpos de agua, vegetación, superficie) y además trata a la radiación solar como isotrópica. Todo esto concluye en que la relación del modelo y los datos registrados por las EMAs sea relativamente débil. Por supuesto, se originó para uso para días despejados.

El modelo GSIP, es un modelo que tiene una relación alta con los datos registrados por las EMAs, gracias a la física del modelo que contempla variables meteorológicas, albedos de diferentes superficies y además trata a la radiación solar como anisotrópica, haciendo que el modelo entienda muy bien la naturaleza de la radiación solar y que tenga una mejor relación con el modelo HLJ. El ajuste a datos regionales, si menor, sugiere la necesidad de mayor estudio sobre los procesos y sus posibles variantes regionales, o bien que la actualización con datos regionales requiere de más detalle en nuestra región.

Aun que la relación de GSIP con los datos registrados sea alta, no significa que no tenga problemas el modelo. De forma general, los mayores problemas se observan en la mañana y en la tarde. Donde en las mañanas el modelo subestima la radiación superficial, mientras que por las tardes el modelo sobreestima la radiación superficial. Esto se puede deber a condiciones locales que el modelo no puede observar por su resolución espacial de un $1/8$ de grado (13.875 Km). A pesar de que GSIP tenga pequeñas fallas es la mejor opción que se encontró en el presente trabajo para estimar la radiación superficial regional.

Estas variaciones locales que no se pueden observar por el modelo GSIP podrían verse reducidas con una cantidad mayor de piranómetros que nos ayudaría a cuantificar y entender como la radiación solar se ve afectada por fenómenos cercanos a la superficie, como la humedad en forma de neblina que viene del Pacífico hacia la península. Además se podría descartar registros erróneos de las EMAs con mayor facilidad, por ejemplo, en la zona montañosa donde se encuentran solamente las EMAs de La Rumorosa

y Constitución de 1857, se necesita una mayor cantidad de piranómetros que validen información que generan, ya que tiene relaciones ($R^2 = 0.94$ y $R^2 = 0.76$, respectivamente) muy diferentes con el modelo GSIP a pesar de su cercanía. También hay que reconocer que no solo las condiciones locales puedan afectar la mediciones del piranómetro, sino que estos pueden estar fallando por falta de calibración o mantenimiento.

A partir de las estimaciones de la radiación superficial ajustada y de la transmisión atmosférica sobre la península pudimos observar que tres casos espacio-temporal que resaltan por su reducida transmisión. El primero se encuentra al Norte de la península en la zona de Mexicali, el segundo al centro de la península en el Vizcaíno y el tercero en el Sur de la península por los Cabos San Lucas. Los dos casos sureños pueden tener explicación por su patrones de nubosidad, mientras el de Mexicali y la zona de cercana de Pinacate, requieren mayor estudio, probablemente en cuanto a partículas sólidas.

Literatura citada

- Abal, G. (2012). Fundamentos de energía solar: Radiación solar. Instituto de Física, Universidad de la Republica, Uruguay.
- Almanza, R., & Lopez, S. (1975). Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación (No. Folleto 6104).
- Almanza, R., & Muñoz, F. (1994). Radiación solar en la Republica Mexicana. Ingeniería de la Energía Solar, México (No. 621.47 A5).
- Angström, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. Report to the international comission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 50(210): 121-126.
- Arking, A., & J. D., Childs. (1985). Retrieval of cloud cover parameters from multispectral satellite images. Journal Climate Applied Meteorology 24(4): 322-333.
- Bakker, W. H., Gorte G. H., Horn, J. A., Janssen, L. F., Pohl, C., Prakash, A., Reeves, C. V., Weir J. C., & Woldai, T. (2001). Principles of remote sensing. ITC, Enschede, The Netherlands. 2nd ed.
- Bechini, L., Ducco, G., Donatelli, M., & Stein, A. (2000). Modelling, interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation. Agriculture, Ecosystems and Environment 81(1): 29-42.
- Berg, R. (2015). 2014 Eastern Pacific hurricane Season. National Hurricane Center Annual Summary.
- Bond, G., Kromer, B., Beer, J., Muscheler, R., Evans, M. N., Showers, W., Hoffmann, S., Lotti-Bond, R., Hajdas I., & Bonani, G. (2001). Persistent solar influence on north Atlantic climate during the Holocene. Science 294, 2130-2136.
- Brichambaut, C., & Lamboley, G. (1974). Solar radiation and its measurement. Volume Cahiers A.F.E.D.E.S. Editions Européennes Thermique et Industrie, París.
- Brisson, A., Borgne, P. L., & Marsouin, A. (1999). Development of algorithms for Surface solar irradiance retrieval at O&SI SAF low mid latitudes. Météo-France/SCM/CMS O & SI SAF low and mid latitudes.
- Budyko, M. I. (1969). The effect of solar radiation variations on the climate of the earth. Tellus 21: 611-619.
- CONAGUA (2016). Mapa de Estaciones Meteorológicas Automáticas. Smn.cna.gob.mx. Recuperado el 30 de Agosto del 2016, desde <http://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/mapa-de-estaciones-meteorologicas-automaticas>.
- DOF (2015). Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética. Diario Oficial de la Federación 24 de diciembre del 2015. Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. México. Recuperado el 28 de Agosto del 2016, desde http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/laerfte/LAERFTE_abro.pdf.

- Douglas, M. W. (1995). The summertime low-level jet over the Gulf of California. *Monthly Weather Review* 123: 2334-2347.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. John Wiley & Sons, Inc. 4th ed.
- Ellrod, G. (2016). Satellite Fog and Low Cloud Images (NOAA/NESDIS). star.nesdis.noaa.gov. Recuperado el 28 de Agosto del 2016, desde <http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/opdb/aviation/fog.html>.
- Ertekin, C., & Evrendilek, F. (2007). Spatio-temporal modeling of global solar radiation dynamics as a function of sunshine duration of Turkey. *Agricultural and Forest Meteorology* 145: 36-47.
- ESRI (2016). Cómo funciona Kriging—Ayuda | ArcGIS for Desktop. [Desktop.arcgis.com](http://desktop.arcgis.com). Recuperado el 26 de Octubre del 2016, desde <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>.
- Fischer, D. T., Still, C. J., & Williams, A. P. (2008). Significance of summer fog and overcast for drought stress and ecological functioning of coastal California endemic plant species. *Journal of Biogeography* 36, 783-700.
- Fröhlich, C. (2000). Observations of irradiance variations. *Space Science Reviews* 94 (1/2): 15-24.
- Galindo, I., & Chávez, A. (1977). *Estudio del clima solar en la República Mexicana*. México, D.F. Instituto de Geofísica, UNAM.
- García, E., & Mosiño, P. A. (1968). Los climas de Baja California. Comité Nacional Mexicano para el Decenio Hidrológico Internacional. Memoria 1966-1967. Instituto de Geofísica, UNAM, México. 29-57.
- García, O., Schneider, M., Blumenstock, T., Sepúlveda, E., & González, Y. (2012). Monitorización de gases atmosféricos mediante espectrometría de infrarrojo por transformada de Fourier. *AME Boletín* 37: 34-35.
- Geiger, B., Meurey, C., Lajas, D., Franchisteguy, L., Carrer, D., & Roujean, J. L. (2008). Near real-time provision of downwelling shortwave radiation estimates derived from satellite observations. *Meteorological Applications* 15(3): 411-420.
- Gil, M., Yela, M., Rodríguez, S., & Puentedura, O. (1996). Contribución de la espectroscopia de absorción diferencial al estudio de la estratosfera terrestre. *Física de la Tierra* 9: 123-149.
- Glover, J., & McCulloch J. S. G. (1958). The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Q. J. Roy Met. Soc.* 84: 172-175.
- Gómez, G., Tejeda, A., Méndez, I., & García, I. (2011). Software de aplicación: Solex. Prontuario Solar de México. Investigación inédita. Universidad Veracruzana y Universidad de Colima, México. [Uco.mx](http://www.uco.mx). Recuperado el 28 Agosto del 2016, desde <http://www.uco.mx/publicacionesenlinea/recursos.php?docto=6&r=software>.
- Hall, A. E. (2001). *Crop responses to environment*. CRC Press, Toledo, OH, USA. 1st ed.

- Haurwitz, B. (1945). Insolation in relation to cloudiness and cloud density. *Journal Meteorology* 2: 154–164.
- Hernández, E. (1976). La distribución de la radiación global en México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites meteorológicos. México, D.F. Centro de Investigación de Materiales, UNAM.
- Hernández, E., & Geffroy, E. (1980). Evaluación del clima solar en regiones carentes de datos solarimétricos mediante imágenes de satélite geoestacionarios GOES. *Memorias de la Reunión ANES, S. L. P.*
- Hernández, E., Mayer, E., & Best, G. (1978). On the determination of the optimum site in Mexico for an international solar energy experimental center. *Sun: Mankind's Future Source of Energy* 1: 128-134.
- Hernández, E., & Regalado, E. (1975). Distribución regional de la nubosidad en México. Centro de Investigaciones en Materiales, UNAM, México. Citado por Hernández et al. (1991).
- Hernández, E., Tejada, A., & Reyes, S. (1991). Atlas solar de la Republica Mexicana. 1ra ed., Universidad Veracruzana y Universidad de Colima, Xalapa, Veracruz, 155.
- Hottel, H. C. (1976). A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres. *Solar Energy* 18 (2): 129-134.
- Hoyt, D.V., & Schatten, K. (1998). Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction. *Solar Physics* 179: 189–219.
- Iacobellis, S. F., & Cayan, D. R. (2013). The variability of California summertime marine stratus: Impacts on surface air temperatures. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118, 9105-9122.
- INEGI (2016a). Síntesis de información geográfica del estado de Baja California. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (2016b). Síntesis de información geográfica del estado de Baja California Sur. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática, Aguascalientes, México.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), Lugo-Hupb J., Vidal Zepeda, R., Fernández-Equiarte, A., Gallegos-García, A., Zavala-H, J., et al. (1990). 'Hipsometría'. Extraído de Hipsometría y Batimetría, I.1.1. Atlas Nacional de México. Vol. I. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. Conabio.gob.mx. Recuperado el 28 de Agosto del 2016, desde <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Iqbal, M. (1983). An introduction to solar radiation. Academic, Toronto, Canada.
- Joseph, J. H., & Wiscombe, J. (1976). The Delta-Eddington approximation for radiative flux transfer. *Journal of the Atmospheric Sciences* 33: 2452-2459.
- Justus, C. G., Paris, M. V. & Tarpley, J. D. (1986). Satellite – measured insolation in the United States, Mexico and South America. *Remote Sensing of Environment* 20: 57-83.

- Kipp & Zonen. (2010). Manual del usuario: CMA serie (albedómetro) y CMP serie (piranómetro). Kippzonen.es. Recuperado el 30 de Agosto del 2016, desde <http://www.kippzonen.es/Product/210/CMP11-Piranometro#.V8W8kJPBPM>.
- Kondratovich, V. (2013). GOES Surface and Insolation Product (GSIP), version 3.3. System Description Document. Natural Environmental Satellite, Data, and Information Service, Natural Oceanographic and Atmospheric Administration. College Park.
- Kopp, G., & Lean, J. L. (2011). A new, lower value of total solar irradiance: Evidence and climate significance. *Geophysical Research Letters* 38, L01706, doi:10.1029/2010GL045777.
- Laszlo, I., Ciren, P., Liu, H., Kondragunta, S., Tarpley, J. D., & Goldberg, M. D. (2008). Remote sensing of aerosol and radiation from geostationary satellites. *Advances in Space Research* 41: 1882-1893.
- Lefèvre, M., Wald, L., & Diabaté, L. (2007). Using reduced data sets ISCCP-B2 from the Meteosat satellites to assess Surface solar irradiance. *Solar Energy* 81: 240-253.
- Linacre, E., & Geerts, B. (1997). *Climates and weather explained*. Routledge, London, UK, 1st ed.
- Liou, K. N. (2002). *An introduction to atmospheric radiation*. Academic Press, San Diego, USA, 2nd ed.
- Liu, B.Y. H., & Jordan, R. C. (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy* 4(3): 1-19.
- López, J. E. (2013). Modelos empíricos para la estimación de la radiación solar difusa en Xalapa, Veracruz. Tesina de Licenciatura, Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Mavi, H. S. & Tupper, G. J. (2004) *Agrometeorology. Principle and applications of climate studies in agricultura*. Haworth Press, Binghamton, NY, USA.
- Michalsky, J. J. (1988). The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950-2050). *Solar Energy* 40 (3): 227-235.
- Miller, M. A., Ghate, V. P., & Zahn, R. (2012). The radiation budget of West African Sahel and its controls: a perspective from observations and global climate models. *Journal Climate* 25: 5976-5996.
- Mitchell, D. L., & Ivanova, D. (2002). Gulf of California sea surface temperatures and the North American monsoon: Mechanistic implications from observations. *Journal of Climate* 15 (17): 2261-2281.
- North, G. R., Biondi, F., Bloomfield, P., Christy, J. R., Cuffey, K. M., Dickinson, R. E., Druffel E. R. M., & Nychka D. (2006). *Surface Temperature Reconstruction for the Last 2000 Years*. National Academies Press.
- Page, J. K. (1986). *Prediction of solar radiation on inclined surfaces*, Riedel (for the commission of the european communities). Dordrecht, Holland.
- Pälike, H. (2002). *Extending the geological calibration of the geological time scale*. Tesis de Ph.D., University of Cambridge.

- Peters, W., Jacobson, A. R., Sweeney, C., Andrews, A. E., Conway, T. J. , Masarie, K., Miller, J. B., Bruhwiler, L. M. P., Petron, G., et al. (2007). An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: Carbon tracker. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*,104(48), 18925-18930.
- Petit, J. R. , Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., & Stievenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.
- Pinker, R. T. & Ewing, J. A. (1985). Modeling Surface solar radiation: Model formulation and validation. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 24 (5): 389-401.
- Pinker, R. T., Frouin, R., & Li, Z. (1995). A review of satellite methods to derive Surface shortwave irradiance. *Remote Sensing of Environment* 51: 108-124.
- Pinker, R. T., & Laszlo, I. (1992). Modeling surface solar irradiance for satellite applications on a global scale. *Journal of Applied Meteorology* 31: 194-211.
- Pinker, R. T., Laszlo, I., Tarpley, J.D., & Mitchell, K. (2002). Geostationary Satellite Parameters for Surface Energy Balance. *Advances in Space Research* 30: 2427–2432.
- Plasencia, E., Matos, L., Posadas, A., & Cabrera, C. (2007). Estimación horaria de la irradiación solar total extraterrestre. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG* 10 (19): 72-77.
- Platt, U., & D. Perner (1983). Measurements of atmospheric trace gases by long path differential UV/visible absorption spectroscopy. *Optical and Laser Remote Sensing*, 39: 97-105.
- Posselt, R., Müller, R., Stöckli, R., & Trentmann, J. (2012). Remote sensing of solar Surface radiation for climate monitoring – the CM-SAF retrieval in international comparison. *Remote Sensing of Environment* 118: 186-198.
- Powell, J. L. (1984). Least absolute deviations estimation for the censored regression model. *Journal of Econometrics* 25(3): 303-325.
- PMODWRC (Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos World Radiation Center). (2016). Solar Constant: Construction of a composite Total Solar Irradiance (TSI) time series from 1978 to present. [Pmodwrc.ch](https://www.pmodwrc.ch). Recuperado el 23 Agosto 2016, desde <https://www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant>
- Reddy, S. J. (1971). An empirical method for the estimation of total solar radiation. *Solar Energy* 13 (2): 289-290.
- Reindl, D. T., Beckman W. A., & Duffie, J. A. (1990). Diffuse fraction correlations. *Solar Energy* 45 (1).
- Rincón E. A. (1999). Estado del arte de la investigación en energía solar en México. Edición especial. Cuadernos FICA, México.
- Rodríguez, L. A., Orozco, V., Velasco, E., Medina, R., Verdecia, J., & Fonseca, I. (1999). Optimum levels of solar radiation and their relation to vegetative growth, leaf development and yield of coffee (*Coffea arabica* L.). *Cultivos Tropicales* 20: 45-49.

- Salinas-Zavala, C.A., Leyva-Contreras, A., Lluch-Belda, D. & Díaz-Rivera, E. (1990). Distribución geográfica y variabilidad climática de los regímenes pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmósfera* 3: 217–237.
- Schwartz, R. E., Gershunov, A., Iacobellis, S. F., & Cayan, D. R. (2014). North American west coast summer low cloudiness: Broad-scale variability associated with sea surface temperature. *Geophysical Research Letters* 41(9): 3307-3314.
- Sengupta, M., Heidinger, A., & Miller, S. (2010). Validation an operational physical method to compute Surface radiation from geostationary satellite. SPIE- The International Society for Optical Engineering 77730T, doi:10.1117/12.861766.
- Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the Sun. *Search* 2 (5): 172.
- Spencer J.W. (1982). A comparison of methods for estimating hourly diffuse solar radiation from global solar radiation. *Solar Energy* 29: 19-32.
- Tarpley, J. D. (1979). Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. *Journal of Applied Meteorology* 18: 1172-1183.
- Tejeda, A., Méndez, I., & López, V. (2006). Propuesta de los métodos para estimar la radiación global en México. Trabajo de investigación inédito.
- Ujaen (Universidad de Jaen). (2016). Curso de energía solar fotovoltaica. Posición del Sol: Coordenadas polares. Ujaen.es. Recuperado el 25 Agosto 2016, desde https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_07.htm
- Usoskin I. G. (2013). A history of solar activity over millennia. *Living Reviews Solar Physics* 10, 1, doi:10.12942/lrsp-2013-1.
- Vilaplana, J. M. (2004). Medida y análisis del ozono y de la radiación solar ultravioleta en el Arenosillo-INTA, Huelva. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- Whiteman, C.D., & Allwine J. (1986). Extraterrestrial solar radiation on inclined surfaces. *Environmental Software* 1 (3): 164-169.
- Wild, M. (2009). Global dimming and brightening: a review. *Journal of Geophysical Research* 114, D00D16, doi:10.1029/2008jd011470.
- Wild, M., Folini, D., Schär, C., Loeb, N., Dutton, E., & König-Langlo, G. (2013). The global energy balance from a Surface perspective. *Climate Dynamics*, 40: 3017-3134.
- Willson, R.C., & Hudson, H. S. (1991). The Sun's luminosity over a complete solar cycle. *Nature* 351: 42-44.
- Willson, R. C., Gulkis, S., Janssen, M., Hudson, H. S., & Chapman, G. A. (1981). Observations of solar irradiance variability. *Science* 211: 700-702.

Anexos

Anexo 1. Especificaciones técnicas del piranómetro CMP11 de la empresa Kipp & Zonen (Kipp & Zonen, 2010), utilizado en las estaciones meteorológicas automáticas del SMN.

Especificaciones	Modelo CMP11
Clasificación ISO 9060:1990	Patrón secundario (Alta Calidad)
Rango espectral (50% punto)	285 a 2800 nm
Sensibilidad	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$
Impedancia	10 a 100 Ω
Rango de salida prevista (0 a 1500 Wm^{-2})	0 a 20 mV
Radiación máxima	4000 Wm^{-2}
Tiempo de respuesta (63%) Tiempo de respuesta (95%)	< 1.7 s < 5 s
Offset cero (a) Radiación térmica (200 Wm^{-2}) (b) Cambio de temperatura (5 Kh^{-1})	< 7 Wm^{-2} < 2 Wm^{-2}
No estabilidad (cambio año ⁻¹)	< 0.5 %
No linealidad (100 a 1000 Wm^{-2})	< 0.2 %
Respuesta direccional (a 80° a la rayo de 1000 Wm^{-2})	< 10 Wm^{-2}
Selectividad espectral de (350 a 1500 nm)	< 3 %
Respuesta temperatura	< 1% (-20 °C a +50 °C)
Respuesta de inclinación (0° a 90° a 1000 Wm^{-2})	< 0.2 %
Campo de visión	180°
Precisión de nivel de burbuja	< 0.1°
Salida del sensor de temperatura	Termistor 10 K (opcional Pt-100)
Tipo de detector	Termopila
Temperatura de funcionamiento	-40 °C a + 80 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a + 80 °C
Rango de humedad	0 a 100 % sin condensación
Grado de protección IP	67
Aplicaciones recomendadas	Redes meteorológicas

Anexo 2. Productos más importantes que contiene GSIP, algunos no están disponibles en algunos dominios (Kondratovich, 2013).

Índice	Descripción	Unidades
Real Time Satellite Images		
1	Mean Channel 1 (Visible) Reflectance	%
2	Std Dev Channel 1 (Visible) Reflectance	%
3	Mean Cloudy-Sky Channel 1 (Visible) Reflectance	%
4	Mean Clear Composite Channel 1 (Visible) Reflectance	%
5	Std Dev Clear Composite Channel 1 (Visible) Reflectance	%
6	Mean Channel 3 (Infrared/Water Vapor) Radiance	$m Wm^{-2}/cm^{-1}/sr$
7	Mean Channel 4 (Infrared) Radiance	$m Wm^{-2}/cm^{-1}/sr$
8	Std Dev Channel 4 (Infrared) Radiance	$m Wm^{-2}/cm^{-1}/sr$
9	Mean Clear Channel 4 (Infrared) Radiance	$m Wm^{-2}/cm^{-1}/sr^3$
Global Forecast and Snow Inputs		
10	Total Precipitable Water	cm
11	Total Column Ozone	atm-cm
12	Snow Fraction	
Cloud Properties		
13	Total Cloud Fraction	
14	Ice Cloud Fraction	
15	Water Cloud Fraction	
16	Cloud Ice Water Path (IWP)	Kgm^{-2}
17	Cloud Liquid Water Path (LWP)	Kgm^{-2}
18	Cloud Type	
19	Cloud Top Temperature (CTT)	K
20	Cloud Top Pressure (CTP)	HPa
21	Cloud Optical Depth	%
Radiative Properties		
22	Shortwave Downward Surface (Insolation)	Wm^{-2}
23	Shortwave Downward Surface Clear	Wm^{-2}
24	Shortwave Upward Surface	Wm^{-2}
25	Shortwave Upward Surface Clear	Wm^{-2}

26	Shortwave Downward Top-of-Atmosphere	Wm^{-2}
27	Shortwave Upward Top-of-Atmosphere	Wm^{-2}
28	Shortwave Upward Top-of-Atmosphere Clear	Wm^{-2}
29	Longwave Downward Surface	Wm^{-2}
30	Longwave Upward Surface	Wm^{-2}
31	Longwave Upward Top-of-Atmosphere (OLR)	Wm^{-2}
32	Visible Downward Surface (PAR)	Wm^{-2}
33	Surface Temperature	K
34	Radiative Temperature	K

Anexo 3. Script en Matlab que estima la radiación exoatmosférica y la radiación superficial incidente para una de las estaciones presente en Baja California. En este ejemplo tenemos la estación de Bahía de los Ángeles. Los comentarios se encuentra indicados en cursiva.

%Genera la radiación exoatmosférica teórica y la radiación superficial de cielo despejado.

clear all; clc;

Io= 1367; %Constante solar en W/m2

%Días del estudio, días julianos

d1=[7;21;35;49;63;77;91;105;119;133;147;161;175;189;203;217;231;245;259;273;287;301;315;329;343;357];

d= repmat(d1,1,4); %4 es la cantidad de horas en el día

%Datos Estación. Los datos de Latitud, Longitud y Altura se modifican dependiendo de la estación.

Lat1= 28.896162; %Latitud grados decimal

*Lat=Lat1*0.0174533;*

Lon1= -113.560278; %Longitud grados decimal

*Lon=Lon1*0.0174533;*

A= 0.01; %Altura de la estación en km

%Hora Local Baja California. La hora local es la misma hora UTM, pero se ve modificada por el cambio de horario local

HL_1=7:3:16; %Hora de invierno

HL1=repmat(HL_1,5,1);

HL_2=8:3:17; %Hora de verano

HL2=repmat(HL_2,16,1);

HL3=repmat(HL_1,5,1);

HL= vertcat(HL1,HL2,HL3);

%% Calculo de Radiación Exoatmosférica

%Angulo del Día

B= (d-1)((2*pi)/365.24);*

% Factor de Corrección

*E=(1.000110+0.034221*cos(B)+0.001280*sin(B)+0.000719*cos(2.*B)+0.000077*sin(2.*B)).^-1;*

%Declinación Solar de Spencer

*Ds= 0.006918-0.399912*cos(B)+0.070257*sin(B)-0.006758*cos(2.*B)+0.000907*sin(2.*B)-
0.002697*cos(3.*B)+0.00148*sin(3.*B);*

% Ecuación de Tiempo de Spencer, el número 229.18 es el factor de conversión de radianes a minutos.

*EcT= (0.000075+0.001868*cos(B)+0.032077*sin(B)-0.014615*cos(2.*B)-0.04089*sin(2.*B))*229.18; %*

% Corrección por uso horario (Hora Solar)

Ch= HL+(EcT/60);

% Angulo Solar

*As= pi-((pi/12)*Ch);*

```

% Angulo cenital
Ac=(sin(Ds).*sin(Lat))+((cos(Lat)*cos(Ds).*((24/pi).*cos(As).*sin(pi/24))));

% Radiación Exoatmosférica
Go= (Io./((E).^2)).*Ac;

for f=1:1:26; %25 es la cantidad de días muestra en el año
for c=1:1:4; %4 es la cantidad de horas muestras en el día

if Go(f,c)>0
else
    Go(f,c)=0;
end
end
end

clearvars Lat1 Lat Lon1 Lon Io d1 HL1 HL2 HL3 HL_1 HL_2

%% Calculo de Radiación Superficial, usando modelos de Hottel, Liu y Jordan.

%Factores de Corrección para Baja California

r0_1=1.03; %Valor de Invierno en Latitud Media
r01= repmat(r0_1,5,4);
r0_2=0.97; %Valor de Verano en Latitud Media
r02= repmat(r0_2,16,4);
r03= repmat(r0_1,5,4);
r0= vertcat(r01,r02,r03);

r1_1=1.01; %Valor de Invierno en Latitud Media
r11= repmat(r1_1,5,4);
r1_2=0.99; %Valor de Verano en Latitud Media
r12= repmat(r1_2,16,4);
r13= repmat(r1_1,5,4);
r1= vertcat(r11,r12,r13);

rk_1=1; %Valor de Invierno en Latitud Media
rk1= repmat(rk_1,5,4);
rk_2=1.02; %Valor de Verano en Latitud Media
rk2= repmat(rk_2,16,4);
rk3= repmat(rk_1,5,4);
rk= vertcat(rk1,rk2,rk3);

%Parámetros del modelo de Hottel
a0= 2*r0.*(0.4237-(0.00821*((6-A).^2)));
a1= 2*r1.*(0.5055+(0.00595*((6.5-A).^2)));
k= 2*rk.*(0.2711+(0.01858*((2.5-A).^2)));

%Transmitancia directa
Tb= a0+a1.*exp(-k./Ac);

%Radiación Directa Superficial
Gb= Go.*Tb;

```

```

%Transmitancia difusa
Td= 0.2710-0.2939.*Tb;

%Radiación Difusa Superficial
Gd=Go.*Td;

%Radiación Superficial Total
Gs=Gb+Gd;

for fy=1:1:26;
for cx=1:1:4;

if Gs(fy,cx)>0
else
    Gs(fy,cx)=0;
end
end
end

clearvars A r0 r1 rk r0_1 r01 r0_2 r02 r03 r1_1 r11 r1_2 r12 r13 rk_1 rk1 rk_2 rk2 rk3 B Ch Ds E EcT HL As a0 a1 k

%% Generación de Base de datos anual para cada una de las variables calculadas

%Anual Radiación Exoatmosférica
AnualGo1=horzcat(Go(1,:),Go(2,:),Go(3,:),Go(4,:),Go(5,:),Go(6,:),Go(7,:),Go(8,:),Go(9,:),Go(10,:),Go(11,:),Go(12,:),Go(13,:),Go(14,:),Go(15,:),Go(16,:),Go(17,:),Go(18,:),Go(19,:),Go(20,:),Go(21,:),Go(22,:),Go(23,:),Go(24,:),Go(25,:),Go(26,:));
AnualGo=AnualGo1';
TGo= table(AnualGo);
writetable(TGo,'Users/Desktop/DatosFinalFinal/Modelos/Go_BahiaAngeles.txt') %Se guarda la variable en un archivo tipo texto bajo una ruta indicada. La ruta indicada aquí, es un ejemplo.

%Anual Radiación Superficial
AnualGs1=horzcat(Gs(1,:),Gs(2,:),Gs(3,:),Gs(4,:),Gs(5,:),Gs(6,:),Gs(7,:),Gs(8,:),Gs(9,:),Gs(10,:),Gs(11,:),Gs(12,:),Gs(13,:),Gs(14,:),Gs(15,:),Gs(16,:),Gs(17,:),Gs(18,:),Gs(19,:),Gs(20,:),Gs(21,:),Gs(22,:),Gs(23,:),Gs(24,:),Gs(25,:),Gs(26,:));
AnualGs=AnualGs1';
TGs=table(AnualGs);
writetable(TGs, 'Users/Desktop/DatosFinalFinal/Modelos/Gs_BahiaAngeles.txt' ) %Se guarda la variable en un archivo tipo texto bajo una ruta indicada. La ruta indicada aquí, es un ejemplo.

clearvars AnualGo1 AnuaGol AnualGs1 AnualGs TGo TGs f c d fy cx AnualGo R1Hr RGo RGs Tb Td Ac

```

Anexo 4. Script en Matlab que estima la radiación exoatmosférica y la radiación superficial incidente para una de las estaciones presente en Baja California Sur, en este ejemplo tenemos la estación de Ciudad Constitución. Los comentarios se encuentra indicados en cursiva.

%Genera la radiación exoatmosférica teórica y la radiación superficial de cielo despejado.

clear all; clc;

Io= 1367; %Constante solar en W/m2

%Días del estudio, días julianos

d1=[7;21;35;49;63;77;91;105;119;133;147;161;175;189;203;217;231;245;259;273;287;301;315;329;343;357];

d= repmat(d1,1,4); %4 es la cantidad de horas en el día

%Datos Estación. Los datos de Latitud, Longitud y Altura se modifican dependiendo de la estación.

Lat1= 25.009722; %Latitud grados decimal

*Lat=Lat1*0.0174533;*

Lon1= -111.663333; %Longitud grados decimal

*Lon=Lon1*0.0174533;*

A= 0.028; %Altura de la estación en km

%Hora Local Baja California. La hora local es la misma hora UTM, pero se ve modificada por el cambio de horario local.

HL_1=8:3:17; %Hora de invierno

HL1=repmat(HL_1,7,1);

HL_2=9:3:18; %Hora de verano

HL2=repmat(HL_2,14,1);

HL3=repmat(HL_1,5,1);

HL= vertcat(HL1,HL2,HL3);

%% Calculo de Radiación Exoatmosférica

%Angulo del Día

B= (d-1)((2*pi)/365.24);*

% Factor de Corrección

*E=(1.000110+0.034221*cos(B)+0.001280*sin(B)+0.000719*cos(2.*B)+0.000077*sin(2.*B)).^-1;*

%Declinación Solar de Spencer

*Ds= 0.006918-0.399912*cos(B)+0.070257*sin(B)-0.006758*cos(2.*B)+0.000907*sin(2.*B)-
0.002697*cos(3.*B)+0.00148*sin(3.*B);*

% Ecuación de Tiempo de Spencer, el número 229.18 es el factor de conversión de radianes a minutos.

*EcT= (0.000075+0.001868*cos(B)+0.032077*sin(B)-0.014615*cos(2.*B)-0.04089*sin(2.*B))*229.18; %*

% Corrección por uso horario (Hora Solar)

Ch= HL+(EcT/60);

% Angulo Solar

*As= pi-((pi/12)*Ch);*

```

% Angulo cenital
Ac=(sin(Ds).*sin(Lat))+((cos(Lat)*cos(Ds).*((24/pi).*cos(As).*sin(pi/24))));

% Radiación Exoatmosférica
Go= (Io./((E).^2)).*Ac;

for f=1:1:26; %25 es la cantidad de días muestra en el año
for c=1:1:4; %4 es la cantidad de horas muestras en el día

if Go(f,c)>0
else
    Go(f,c)=0;
end
end
end

clearvars Lat1 Lat Lon1 Lon Io d1 HL1 HL2 HL3 HL_1 HL_2

%% Calculo de Radiación Superficial, usando modelos de Hottel, Liu y Jordan.

%Factores de Corrección para Baja California

r0_1=1.03; %Valor de Invierno en Latitud Media
r01= repmat(r0_1,7,4);
r0_2=0.97; %Valor de Verano en Latitud Media
r02= repmat(r0_2,14,4);
r03= repmat(r0_1,5,4);
r0= vertcat(r01,r02,r03);

r1_1=1.01; %Valor de Invierno en Latitud Media
r11= repmat(r1_1,7,4);
r1_2=0.99; %Valor de Verano en Latitud Media
r12= repmat(r1_2,14,4);
r13= repmat(r1_1,5,4);
r1= vertcat(r11,r12,r13);

rk_1=1; %Valor de Invierno en Latitud Media
rk1= repmat(rk_1,7,4);
rk_2=1.02; %Valor de Verano en Latitud Media
rk2= repmat(rk_2,14,4);
rk3= repmat(rk_1,5,4);
rk= vertcat(rk1,rk2,rk3);

%Parámetros del modelo de Hottel
a0= 2*r0.*(0.4237-(0.00821*((6-A).^2)));
a1= 2*r1.*(0.5055+(0.00595*((6.5-A).^2)));
k= 2*rk.*(0.2711+(0.01858*((2.5-A).^2)));

%Transmitancia directa
Tb= a0+a1.*exp(-k./Ac);

%Radiación Directa Superficial
Gb= Go.*Tb;

```

```
%Transmitancia difusa
Td= 0.2710-0.2939.*Tb;
```

```
%Radiación Difusa Superficial
Gd=Go.*Td;
```

```
%Radiación Superficial Total
Gs=Gb+Gd;
```

```
for fy=1:1:26;
for cx=1:1:4;
```

```
if Gs(fy,cx)>0
else
Gs(fy,cx)=0;
end
end
end
```

```
clearvars A r0 r1 rk r0_1 r01 r0_2 r02 r03 r1_1 r11 r1_2 r12 r13 rk_1 rk1 rk_2 rk2 rk3 B Ch Ds E EcT HL As a0 a1 k
```

```
%% Generación de Base de datos anual para cada una de las variables calculadas
```

```
%Anual Radiación Exoatmosférica
```

```
AnualGo1=horzcat(Go(1,:),Go(2,:),Go(3,:),Go(4,:),Go(5,:),Go(6,:),Go(7,:),Go(8,:),Go(9,:),Go(10,:),Go(11,:),Go(12,:),Go(13,:),Go(14,:),Go(15,:),Go(16,:),Go(17,:),Go(18,:),Go(19,:),Go(20,:),Go(21,:),Go(22,:),Go(23,:),Go(24,:),Go(25,:),Go(26,:));
```

```
AnualGo=AnualGo1';
```

```
TGo= table(AnualGo);
```

```
writetable(TGo,'Users/Desktop/DatosFinalFinal/Modelos/Go_CdConstitucion.txt') %Se guarda la variable en un archivo tipo texto bajo una ruta indicada. La ruta indicada aquí, es un ejemplo.
```

```
%Anual Radiación Superficial
```

```
AnualGs1=horzcat(Gs(2,:),Gs(3,:),Gs(4,:),Gs(5,:),Gs(6,:),Gs(7,:),Gs(8,:),Gs(9,:),Gs(10,:),Gs(11,:),Gs(12,:),Gs(13,:),Gs(14,:),Gs(15,:),Gs(16,:),Gs(17,:),Gs(18,:),Gs(19,:),Gs(20,:),Gs(21,:),Gs(22,:),Gs(23,:),Gs(24,:),Gs(25,:),Gs(26,:));
```

```
AnualGs=AnualGs1';
```

```
TGs=table(AnualGs);
```

```
writetable(TGs, 'Users/Desktop/DatosFinalFinal/Modelos/Gs_CdConstitucion.txt' ) %Se guarda la variable en un archivo tipo texto bajo una ruta indicada. La ruta indicada aquí, es un ejemplo.
```

```
clearvars AnualGo1 AnuaGol AnualGs1 AnualGs TGo TGs f c d fy cx AnualGo R1Hr RGo RGs Tb Td Ac
```

Anexo 5. Script en Matlab que reduce, integra y limpia datos adquiridos del SMN, en este ejemplo tenemos la estación de San Quintin. Los comentarios se encuentra indicados en cursiva.

%Reducción, integración y limpieza de datos del SMN

clear all

%Lista de archivos

```
p= '/Users/Desktop/Datos/2014/SanQuintin/'; %Direccion de carpeta de archivos
type= '*.xls';
pa= strcat(p,type);
lista_archivos= dir(pa);
```

%Extraer Información

```
contador=1;
for k= 1:12; %Los 12 meses del año (12 archivos por Estación) enumerados del 1 al 12.
    archs{contador,1}= strcat(p,lista_archivos(k).name);
    Archivos{contador,1}= xlsread(archs{contador,1});
    Radiacion{k,1} = Archivos{contador,:}(2:end,10);
    Fe{k,1}= Archivos{contador,:}(2:end,1);
    contador=contador+1;
end
```

%Extraer radiación por mes de cada archivo e integración anual

```
Enero= Radiacion{1,1};
Febrero= Radiacion{2,1};
Marzo= Radiacion{3,1};
Abril= Radiacion{4,1};
Mayo= Radiacion{5,1};
Junio= Radiacion{6,1};
Julio= Radiacion{7,1};
Agosto= Radiacion{8,1};
Septiembre= Radiacion{9,1};
Octubre= Radiacion{10,1};
Noviembre= Radiacion{11,1};
Diciembre= Radiacion{12,1};
```

```
RADIACION= [Enero; Febrero; Marzo; Abril; Mayo; Junio; Julio; Agosto; Septiembre; Octubre; Noviembre;
Diciembre];
```

%Añade fecha y hora z (UTC)

```
FNeZ= datestr( (Fe{1,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FFebZ= datestr( (Fe{2,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FMarZ= datestr( (Fe{3,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FAbrZ= datestr( (Fe{4,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FMayZ= datestr( (Fe{5,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FJunZ= datestr( (Fe{6,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FJulZ= datestr( (Fe{7,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FAgoZ= datestr( (Fe{8,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FSepZ= datestr( (Fe{9,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FOctZ= datestr( (Fe{10,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FNovZ= datestr( (Fe{11,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
```

```
FDicZ= datestr( (Fe{12,1} + datenum( 1899, 12, 30 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FECHA_Z= [FEneZ;FFebZ;FMarZ;FAbrZ;FMayZ;FJunZ;FJulZ;FAgoZ;FSepZ;FOctZ;FNovZ;FDicZ];
%Añade fecha y hora local
```

```
FEnel= datestr( (Fe{1,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FFebL= datestr( (Fe{2,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FMarL= datestr( (Fe{3,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FAbrL= datestr( (Fe{4,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FMayL= datestr( (Fe{5,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FJunL= datestr( (Fe{6,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FJulL= datestr( (Fe{7,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FAgoL= datestr( (Fe{8,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FSepL= datestr( (Fe{9,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FOctL= datestr( (Fe{10,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FNovL= datestr( (Fe{11,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
FDicL= datestr( (Fe{12,1} + datenum( 1899, 12, 29, 16, 0, 0 )), 'yyyy-mm-dd HH:MM:SS' );
```

```
FECHA_LOCAL= [FEnel;FFebL;FMarL;FAbrL;FMayL;FJunL;FJulL;FAgoL;FSepL;FOctL;FNovL;FDicL];
```

```
%Guardar archivo
```

```
T= table(FECHA_Z,FECHA_LOCAL,RADIACION);
writetable(T,'0_Anuar/2014_SanQuintin.txt'); %Se guarda la variable en un archivo tipo texto bajo una ruta
indicada. La ruta indicada aquí, es un ejemplo.
```

Anexo 6. Script en Matlab que reduce, integra y limpia datos adquiridos de GSIP, en este ejemplo tenemos la estación de Cabo Pulmo. Los comentarios se encuentra indicados en cursiva.

%Reducción, integración y limpieza de datos de GSIP

clear all

%Lista de archivos

p='/Users/Downloads/NC/'; *%Dirección de carpeta de archivos*
 type='*.nc';
 pa= strcat(p,type);
 archivos= dir(pa);

%Extraer Información

c=1;
 for k= 1:size(archivos); *%Cantidad de archivos*
 archs{c,1}= strcat(p,archivos(k).name);
 lat{k,1}=ncread(archs{c,1},'lat_cell'); *%Carga la variable de latitud*
 lon{k,1}=ncread(archs{c,1},'lon_cell'); *%Carga la variable de longitud*
 var1{k,1}=ncread(archs{c,1},'swd_sfc'); *%Carga variable de insolación*
 c=c+1;
 end

Lati=cell2mat(lat);
 Long=cell2mat(lon);
 OC=cell2mat(var1);

T=table(Long,Lati,OC); *Genera la tabla de los archivos*

clearvars archs lat lon var1 c k archivos p pa type Long Lati OC

%% Coordenadas de la Estación

c=1;
 for r=1:1:size(T(:,1)); *%Tamaño del archivo*
 if((T{r,2}==23.4375 && (T{r,1}==-109.4375))); *%Se pone las coordenadas cercanas a la Estación*
 Latitud(c,1) = T{r,2};
 Longitud(c,1) = T{r,1};
 RSS(c,1) = T{r,3};
 c=c+1;
 end
 end

TF=table(Longitud,Latitud,RSS);
 writetable(TF,'/Users/Downloads/NC/Borra.txt'); *%Se escribe un archivo con datos de la estación*

clearvars Latitud c r Longitud RSS T

%% Importación de datos y cambio de escala

```

filename = '/Users/Downloads/NC/Borra.txt';
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'HeaderLines', startRow-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
Borra = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

Longitud=Borra(:,1);
Latitud=Borra(:,2);
RSS=Borra(:,3);
OndaCorta=(RSS+127)*(1380/254);

for f=1:1:size(OndaCorta);

if OndaCorta(f,1) >= 0
else
    OndaCorta(f,1) = 0;
end
end

TFF=table(Longitud,Latitud,OndaCorta);
writetable(TFF,'/Users/Downloads/NC/CaboPulmo_Prueba.txt') %Archivo final con el respectivo nombre de la
estación

clearvars Latitud c r Longitud RSS TF OndaCorta f Borra

%% Borrar archivos no útiles

delete('/Users/Downloads/NC/Borra.txt');
```

Anexo 7. Extraer la información de radiación superficial de los archivos de GSIP, necesaria para generar los mapas de radiación superficial ajustada de la península de Baja California.

%Extraccion de datos de los NETcdf para mapas de radiación supeficial para las 4 horas del día

```
clear all; clc;
```

%Abrir archivo NetCdf y cargar variables

```
p='/Users /Desktop/NC/';
year='2014';
day1='357_';
day2='358_';
h1='1500';
h2='1800';
h3='2100';
h4='0000';
type='.nc';
File1=strcat(p,year,day1,h1,type);
File2=strcat(p,year,day1,h2,type);
File3=strcat(p,year,day1,h3,type);
File4=strcat(p,year,day2,h4,type);
```

% Cargar Variables

```
lat=ncread(File1,'lat_cell'); %Latitud
lon=ncread(File1,'lon_cell'); %Longitud
var1=ncread(File1,'swd_sfc'); %Insolación
var2=ncread(File2,'swd_sfc');
var3=ncread(File3,'swd_sfc');
var4=ncread(File4,'swd_sfc');
```

%Selección de región

```
contador=1;
for r=1:size(lon); %Size lon, es el tamaño del archivo.

    if((lat(r)>=22 && lat(r)<=33) && (lon(r)>=-118 && lon(r)<=-108));

        latitud(contador,1) = lat(r);
        longitud(contador,1) = lon(r);
        RS1(contador,1) = var1(r);
        RS2(contador,1) = var2(r);
        RS3(contador,1) = var3(r);
        RS4(contador,1) = var4(r);

        contador=contador+1;
    end
end
```

%Escala de los datos

```
IS1=double(RS1(:,1));
IS2=double(RS2(:,1));
```

```

IS3=double(RS3(:,1));
IS4=double(RS4(:,1));

I1=(IS1+127)*(1380/254); %Dato escalado
I2=(IS2+127)*(1380/254);
I3=(IS3+127)*(1380/254);
I4=(IS4+127)*(1380/254);

%Convertir datos menores de cero a cero

for f=1:1:7040; %7040 cantidad de filas
if I1(f,1)>=0;
else
    I1(f,1)=0;
end
end

for g=1:1:7040;
if I2(g,1)>=0;
else
    I2(g,1)=0;
end
end

for h=1:1:7040;
if I3(h,1)>=0;
else
    I3(h,1)=0;
end
end

for k=1:1:7040;
if I4(k,1)>=0;
else
    I4(k,1)=0;
end
end

clearvars f g h k

%Suma y Promedio por dia

Sum=I1+I2+I3+I4;
Prom=Sum/4;

% Guarda variables en una tabla

T1=table(longitud,latitud,I1);
T2=table(longitud,latitud,I2);
T3=table(longitud,latitud,I3);
T4=table(longitud,latitud,I4);
T5=table(longitud,latitud,Sum);
T6=table(longitud,latitud,Prom);

type2='.txt';

```

```
Oper1='Sum_';  
Oper2='Prom_';
```

```
Filet1=strcat(p,year,day1,h1,type2);  
Filet2=strcat(p,year,day1,h2,type2);  
Filet3=strcat(p,year,day1,h3,type2);  
Filet4=strcat(p,year,day2,h4,type2);  
Filet5=strcat(p,Oper1,year,day1,type2);  
Filet6=strcat(p,Oper2,year,day1,type2);
```

```
writetable(T1,Filet1);  
writetable(T2,Filet2);  
writetable(T3,Filet3);  
writetable(T4,Filet4);  
writetable(T5,Filet5);  
writetable(T6,Filet6);
```

```
clearvars contador day1 day2 h1 h2 h3 h4 lat latitud lon longitud p r type type2 year IS1 IS2 IS3 IS4 File1 File2 File3  
File4 Filet1 Filet2 Filet3 Filet4 RS1 RS2 RS3 RS4 var1 var2 var3 var4 I1 I2 I3 I4 T1 T2 T3 T4 T5 T6 Oper1 Oper2 Sum  
Prom Filet5 Filet6
```

Anexo 8. Genera las sumas y promedios estacionales para toda la península de Baja California, extrayendo la información de los datos generados en el Anexo 7.

%% Promedio de Invierno

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/NC/';
oper='Sum_';
year='2014';
day1='007_';
day2='021_';
day3='035_';
day4='049_';
day5='343_';
day6='357_';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,oper,year,day1,type);
File2=strcat(p,oper,year,day2,type);
File3=strcat(p,oper,year,day3,type);
File4=strcat(p,oper,year,day4,type);
File5=strcat(p,oper,year,day5,type);
File6=strcat(p,oper,year,day6,type);
```

% Importación de datos

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
```

```

dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

```

Sum=S1(:,3)+S2(:,3)+S3(:,3)+S4(:,3)+S5(:,3)+S6(:,3); PEI=Sum/24;
longitud=S1(:,1); latitud=S1(:,2);

```

```

oper1='Prom_'; est='Invierno';

```

```

T1=table(longitud,latitud,Sum);
FileT1=strcat(p,oper,est,year,type);
writetable(T1,FileT1);

```

```

T2=table(longitud,latitud,PEI);
FileT2=strcat(p,oper1,est,year,type);
writetable(T2,FileT2);
clearvars

```

%% Promedio de Primavera

clear all; clc;

```
p='/Users /Desktop/NC/';
oper='Sum_';
year='2014';
day1='063_';
day2='077_';
day3='091_';
day4='105_';
day5='119_';
day6='133_';
day7='147_';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,oper,year,day1,type);
File2=strcat(p,oper,year,day2,type);
File3=strcat(p,oper,year,day3,type);
File4=strcat(p,oper,year,day4,type);
File5=strcat(p,oper,year,day5,type);
File6=strcat(p,oper,year,day6,type);
File7=strcat(p,oper,year,day7,type);
```

% Importación de datos

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
```

```

fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File7;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S7 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

Sum=S1(:,3)+S2(:,3)+S3(:,3)+S4(:,3)+S5(:,3)+S6(:,3)+S7(:,3); PEI=Sum/28;
longitud=S1(:,1); latitud=S1(:,2);

oper1='Prom_'; est='Primavera';

```

```
T1=table(longitud,latitud,Sum);
FileT1=strcat(p,oper,est,year,type);
writetable(T1,FileT1);
```

```
T2=table(longitud,latitud,PEI);
FileT2=strcat(p,oper1,est,year,type);
writetable(T2,FileT2);
clearvars
```

```
%% Promedio de Verano
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/NC/';
oper='Sum_';
year='2014';
day1='161_';
day2='175_';
day3='189_';
day4='203_';
day5='217_';
day6='231_';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,oper,year,day1,type);
File2=strcat(p,oper,year,day2,type);
File3=strcat(p,oper,year,day3,type);
File4=strcat(p,oper,year,day4,type);
File5=strcat(p,oper,year,day5,type);
File6=strcat(p,oper,year,day6,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
filename = File3;
```

```

delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[^\\n\\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[^\\n\\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[^\\n\\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[^\\n\\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

```

Sum=S1(:,3)+S2(:,3)+S3(:,3)+S4(:,3)+S5(:,3)+S6(:,3); PEI=Sum/24;
longitud=S1(:,1); latitud=S1(:,2);

```

```

oper1='Prom_'; est='Verano';

```

```

T1=table(longitud,latitud,Sum);
FileT1=strcat(p,oper,est,year,type);
writetable(T1,FileT1);

```

```

T2=table(longitud,latitud,PEI);

```

```
FileT2=strcat(p,oper1,est,year,type);
writetable(T2,FileT2);
clearvars
```

```
%% Promedio de Otoño
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/NC/';
oper='Sum_';
year='2014';
day1='245_';
day2='259_';
day3='273_';
day4='287_';
day5='315_';
day6='329_';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,oper,year,day1,type);
File2=strcat(p,oper,year,day2,type);
File3=strcat(p,oper,year,day3,type);
File4=strcat(p,oper,year,day4,type);
File5=strcat(p,oper,year,day5,type);
File6=strcat(p,oper,year,day6,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
```

```

dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

```

Sum=S1(:,3)+S2(:,3)+S3(:,3)+S4(:,3)+S5(:,3)+S6(:,3); PEI=Sum/24;
longitud=S1(:,1); latitud=S1(:,2);

```

```

oper1='Prom_'; est='Otono';

```

```

T1=table(longitud,latitud,Sum);
FileT1=strcat(p,oper,est,year,type);
writetable(T1,FileT1);

```

```

T2=table(longitud,latitud,PEI);
FileT2=strcat(p,oper1,est,year,type);
writetable(T2,FileT2);
clearvars

```

Anexo 9. Genera la radiación exoatmosférica teórica para toda la península de Baja California para las 4 horas de un día muestra con el mismo formato de GSIP.

%Genera la radiación exoatmosférica teórica para toda la península con la resolución espacial de GSIP por un día

clear all; clc;

lo= 1367; *%Constante solar en W/m2*
d=007; *%Día del calculo, escribir como día juliano*
day='007';

%Angulo del Día

B=(d-1)*((2*pi)/365.24);

% Factor de Corrección

E=(1.000110+0.034221*cos(B)+0.001280*sin(B)+0.000719*cos(2*B)+0.000077*sin(2*B)).^-1;

%Declinación Solar de Spencer

Ds= 0.006918-0.399912*cos(B)+0.070257*sin(B)-0.006758*cos(2*B)+0.000907*sin(2*B)-0.002697*cos(3*B)+0.00148*sin(3*B);

% Ecuación de Tiempo de Spencer, el número 229.18 es el factor de conversión de radianes a minutos

EcT= (0.000075+0.001868*cos(B)+0.032077*sin(B)-0.014615*cos(2*B)-0.04089*sin(2*B))*229.18;

%Coordenadas de la Península de Baja California

Lat1= 22.0625:0.125:32.9375; *%Latitud grados decimal*
Lat=(Lat1*0.0174533)';
Lon1= -117.9375:0.125:-108.0625; *%Longitud grados decimal*
Lon=(Lon1*0.0174533)';

%Hora local de PBC cambia si es BC o BCS y si es horario de Verano o Invierno

HLBC=7:3:16; *%Horario de Invierno BC*
if (d>=77 && d<=301); *%Dias con horario de invierno*
HLBC=8:3:17; *%Horario de Verano BC*
end

HLBCS=8:3:17; *%Horario de Invierno BCS*
if (d>=77 && d<=301); *%Dias con horario de invierno*
HLBCS=9:3:18; *%Horario de Verano BCS*
end

%Corrección por uso Horario, Angulo Solar y Angulo Cenital

Longi=(-117.9375*0.0174533)-Lon)/(15*0.0174533);
HLEcT_BC=HLBC+(EcT/60);
HLEcT_BCS=HLBCS+(EcT/60);

con=1;
for w=1:1:4;

```

Ch_BC{1,w}=HLEcT_BC(1,w)+Longi(:,1); %Corrección por uso horario para BC
Ch_BCS{1,w}=HLEcT_BCS(1,w)+Longi(:,1); %Corrección por uso horario para BCS

As_BC{1,w}=pi-((pi/12)*Ch_BC{1,w}); %Angulo Solar para BC
As_BCS{1,w}=pi-((pi/12)*Ch_BCS{1,w}); %Angulo Solar para BCS

CosAs_BC{1,w}=cos(As_BC{1,w});
CosAs_BCS{1,w}=cos(As_BCS{1,w});

Rest_BC{1,w}=(24/pi)*sin(pi/24)*CosAs_BC{1,w};
Rest_BCS{1,w}=(24/pi)*sin(pi/24)*CosAs_BCS{1,w};

RBC=cell2mat(Rest_BC);
RBCS=cell2mat(Rest_BCS);

con=con+1;
end

clearvars w con Longi HLEcT_BCS HLEcT_BC B d EcT

SDSLat=sin(Ds)*sin(Lat);
CDSLat=cos(Ds)*cos(Lat);

%Hora 15z
con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:48;
        AcBC1{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBC(z,1));
        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:40;
        AcBCS1{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBCS(z,1));
        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

AcBC1=cell2mat(AcBC1); AcBCS1=cell2mat(AcBCS1);
Ac1=vertcat(AcBC1,AcBCS1);

clearvars AcBCS1 AcBC1

%Hora 18 z
con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:48;
        AcBC2{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBC(z,2));

```

```

        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:40;
        AcBCS2{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBCS(z,2));
        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

AcBC2=cell2mat(AcBC2); AcBCS2=cell2mat(AcBCS2);
Ac2=vertcat(AcBC2,AcBCS2);

clearvars AcBCS2 AcBC2

%Hora 21 z
con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:48;
        AcBC3{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBC(z,3));
        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:40;
        AcBCS3{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBCS(z,3));
        con=con+1;
    end
end

clearvars con z w x

AcBC3=cell2mat(AcBC3); AcBCS3=cell2mat(AcBCS3);
Ac3=vertcat(AcBC3,AcBCS3);

clearvars AcBCS3 AcBC3

%Hora 00 z
con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:48;
        AcBC4{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBC(z,4));
        con=con+1;
    end
end
end

```

```
clearvars con z w x
```

```
con=1;
for z=1:1:80;
    for x=1:1:40;
        AcBCS4{x,z}=SDSLat(x,1)+(CDSLat(x,1)*RBCS(z,4));
        con=con+1;
    end
end
```

```
clearvars con z w x
```

```
AcBC4=cell2mat(AcBC4); AcBCS4=cell2mat(AcBCS4);
Ac4=vertcat(AcBC4,AcBCS4);
```

```
clearvars AcBCS4 AcBC4
```

```
%Radiación Exoatmosférica
```

```
Go1= (I0./(E^2))*Ac1;
Go2= (I0./(E^2))*Ac2;
Go3= (I0./(E^2))*Ac3;
Go4= (I0./(E^2))*Ac4;
```

```
for f=1:1:88; %Latitudes
for c=1:1:80; %Longitudes
```

```
if Go1(f,c)>0
else
    Go1(f,c)=0;
end
end
end
```

```
clearvars f c
```

```
for f=1:1:88; %Latitudes
for c=1:1:80; %Longitudes
```

```
if Go2(f,c)>0
else
    Go2(f,c)=0;
end
end
end
```

```
clearvars f c
```

```
for f=1:1:88; %Latitudes
for c=1:1:80; %Longitudes
```

```
if Go3(f,c)>0
else
    Go3(f,c)=0;
```

```
end
end
end
```

```
clearvars f c
```

```
for f=1:1:88; %Latitudes
for c=1:1:80; %Longitudes
```

```
if Go4(f,c)>0
else
    Go4(f,c)=0;
end
end
end
```

```
clearvars f c E lo Lat Lon RBC RBCS Rest_BC Rest_BCS SDSLat CDSLat Ds As_BC As_BCS CosAs_BC CosAs_BCS Ch_BC
Ch_BCS Ac1 Ac2 Ac3 Ac4
```

```
% Latitudes, Longitudes y Go para el mapa
```

```
Lat3=Lat1';
Lon3=Lon1';
Longitud= repmat(Lon3,88,1); %80 cantidad de Longitudes
```

```
conta=1;
for n=1:1:88;
```

```
    Latitud1{conta,1}=repmat(Lat3(n,1),80,1); %88 cantidad de Latitudes
    conta=conta+1;
end
```

```
Latitud=cell2mat(Latitud1);
```

```
clearvars conta n
```

```
conta=1;
for n=1:1:88; %88 cantidad de Latitudes
    Radiacion1{conta,1}=(Go1(n,1:80))'; %80 cantidad de Longitudes
    conta=conta+1;
end
```

```
Go_15z=cell2mat(Radiacion1);
```

```
clearvars conta n
```

```
conta=1;
for n=1:1:88;
    Radiacion2{conta,1}=(Go2(n,1:80))';
    conta=conta+1;
end
```

```
Go_18z=cell2mat(Radiacion2);
```

```
clearvars conta n
```

```

conta=1;
for n=1:1:88;
    Radiacion3{conta,1}=(Go3(n,1:80));
    conta=conta+1;
end

Go_21z=cell2mat(Radiacion3);

clearvars conta n

conta=1;
for n=1:1:88;
    Radiacion4{conta,1}=(Go4(n,1:80)); %88 cantidad de Latitudes
    conta=conta+1;
end

Go_00z=cell2mat(Radiacion4);

clearvars conta n

%Suma y Promedio por dia

SumGo=Go_15z+Go_18z+Go_21z+Go_00z;
PromGo=SumGo/4;

TF=table(Longitud,Latitud,Go_15z,Go_18z,Go_21z,Go_00z,SumGo,PromGo);

p='/Users /Desktop/';
variable='Go_';
type='.txt';
File=strcat(p,variable,day,type);
writetable(TF,File); %Guardar Archivo

clearvars day File p variable type Lon1 lo d1 HL1 HL2 HL3 HL_1 HL_2 Lon Lon3 n Lat1 Lat Lat3 Longitud1 c f conta
Radiacion1 Radiacion2 Radiacion3 Radiacion4 Go1 Go2 Go3 Go4

```

Anexo 10. Genera las sumas y promedios estacionales para toda la península de Baja California, extrayendo la información de los datos generados en el Anexo 9.

```
%% Promedio de Invierno
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/';
variable='Go_';
day1='007';
day2='021';
day3='035';
day4='049';
day5='343';
day6='357';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,variable,day1,type);
File2=strcat(p,variable,day2,type);
File3=strcat(p,variable,day3,type);
File4=strcat(p,variable,day4,type);
File5=strcat(p,variable,day5,type);
File6=strcat(p,variable,day6,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
```

```

fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

Sum=S1(:,7)+S2(:,7)+S3(:,7)+S4(:,7)+S5(:,7)+S6(:,7);
PEI=Sum/24;
longitud=S1(:,1);
latitud=S1(:,2);

est='Invierno';

T1=table(longitud,latitud,Sum,PEI);
FileT1=strcat(p,variable,est,type);
writetable(T1,FileT1);

clearvars

```

```
%% Promedio de Primavera
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/';
variable='Go_';
day1='063';
day2='077';
day3='091';
day4='105';
day5='119';
day6='133';
day7='147';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,variable,day1,type);
File2=strcat(p,variable,day2,type);
File3=strcat(p,variable,day3,type);
File4=strcat(p,variable,day4,type);
File5=strcat(p,variable,day5,type);
File6=strcat(p,variable,day6,type);
File7=strcat(p,variable,day7,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
```

```

S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

filename = File7;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S7 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

Sum=S1(:,7)+S2(:,7)+S3(:,7)+S4(:,7)+S5(:,7)+S6(:,7)+S7(:,7);
PEI=Sum/28;
longitud=S1(:,1);
latitud=S1(:,2);

est='Primavera';

```

```
T1=table(longitud,latitud,Sum,PEI);
FileT1=strcat(p,variable,est,type);
writetable(T1,FileT1);
```

```
clearvars
```

```
%% Promedio de Verano
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/';
variable='Go_';
day1='161';
day2='175';
day3='189';
day4='203';
day5='217';
day6='231';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,variable,day1,type);
File2=strcat(p,variable,day2,type);
File3=strcat(p,variable,day3,type);
File4=strcat(p,variable,day4,type);
File5=strcat(p,variable,day5,type);
File6=strcat(p,variable,day6,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
```



```
clearvars
```

```
%% Promedio de Otoño
```

```
clear all; clc;
```

```
p='/Users /Desktop/';
variable='Go_';
day1='245';
day2='259';
day3='273';
day4='287';
day5='315';
day6='329';
type='.txt';
```

```
File1=strcat(p,variable,day1,type);
File2=strcat(p,variable,day2,type);
File3=strcat(p,variable,day3,type);
File4=strcat(p,variable,day4,type);
File5=strcat(p,variable,day5,type);
File6=strcat(p,variable,day6,type);
```

```
% Importación de datos
```

```
filename = File1;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S1 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File2;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S2 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;
```

```
filename = File3;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
```

```

dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S3 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File4;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S4 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File5;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S5 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

```

filename = File6;
delimiter = ',';
startRow = 2;
formatSpec = '%f%f%f%f%f%f%f%f%[\n\r]';
fileID = fopen(filename,'r');
dataArray = textscan(fileID, formatSpec, 'Delimiter', delimiter, 'EmptyValue' ,NaN,'HeaderLines' ,startRow-1,
'ReturnOnError', false);
fclose(fileID);
S6 = [dataArray{1:end-1}];
clearvars filename delimiter startRow formatSpec fileID dataArray ans;

```

% Promedio Estacional Instantaneo de Datos

```

Sum=S1(:,7)+S2(:,7)+S3(:,7)+S4(:,7)+S5(:,7)+S6(:,7);
PEI=Sum/24;
longitud=S1(:,1);
latitud=S1(:,2);

```

```
est='Otono';
```

```

T1=table(longitud,latitud,Sum,PEI);
FileT1=strcat(p,variable,est,type);
writetable(T1,FileT1);

```

```
clearvars
```

Anexo 11. Estadística descriptiva de la radiación exoatmosférica estimada para la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio estacional instantáneo (P_{EI}), el máximo estacional instantáneo (MAX_{EI}), el mínimo estacional instantáneo (MIN_{EI}) y la desviación estandar estacional (σ_E). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Estación del año	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
	P_{EI}	MAX_{EI}	MIN_{EI}	σ_E	P_{EI}	MAX_{EI}	MIN_{EI}	σ_E	P_{EI}	MAX_{EI}	MIN_{EI}	σ_E	P_{EI}	MAX_{EI}	MIN_{EI}	σ_E
MEX	734	982	386	164	837	1245	259	327	893	1236	893	1236	893	1236	259	327
PAR	711	986	332	190	838	1246	260	327	894	1237	894	1237	894	1237	260	327
LR	714	989	335	190	839	1247	261	328	894	1238	894	1238	894	1238	261	328
C1857	718	993	338	191	857	1248	261	322	884	1228	884	1228	884	1228	261	322
PELZ	721	995	340	191	841	1249	262	329	894	1239	894	1239	894	1239	262	329
SQ	744	1018	359	193	847	1256	267	333	895	1243	895	1243	895	1243	267	333
BA	772	1045	381	196	832	1263	240	351	895	1247	895	1247	895	1247	240	351
GDO	737	1055	109	312	791	1286	31	419	853	1277	853	1277	853	1277	31	419
SJ	759	1076	125	316	807	1292	25	421	852	1279	852	1279	852	1279	25	421
BL	787	1080	171	277	836	1294	24	403	851	1279	851	1279	851	1279	24	403
CdC	760	1095	138	317	811	1298	20	425	850	1280	850	1280	850	1280	20	425
CP	756	1117	195	304	844	1304	13	410	820	1276	820	1276	820	1276	13	410

Anexo 12. Estadística descriptiva de la radiación exoatmosférica estimada para la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual por hora (P_{AH}), el máximo anual por hora (MAX_{AH}), el mínimo anual por hora (MIN_{AH}) y la desviación estandar por hora (σ_{AH}). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

	P_{AH}				MAX_{AH}				MIN_{AH}				σ_{AH}			
Hora Z EMA	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00
MEX	677	1022	995	419	804	1245	1138	550	473	659	776	198	106	220	123	105
PAR	677	1025	998	415	804	1246	1138	549	475	664	780	199	105	219	122	103
LR	678	1027	1000	415	804	1247	1139	549	476	667	784	200	105	218	121	103
C1857	668	1013	997	413	804	1248	1140	548	478	671	788	201	107	218	119	106
PELZ	678	1031	1004	416	803	1249	1140	547	480	674	792	202	104	216	118	102
SQ	681	1046	1018	418	802	1256	1144	543	492	700	819	211	100	209	110	99
BA	628	1063	1035	420	802	1263	1148	537	127	731	852	220	186	199	99	96
GDO	843	1142	905	184	1016	1286	1065	307	426	874	759	31	172	155	90	78
SJ	824	1155	916	182	1018	1292	1075	308	398	901	784	25	192	143	84	79
BL	808	1157	918	192	1018	1294	1077	308	401	905	786	24	202	142	83	76
CdC	812	1167	926	179	1019	1298	1084	308	414	924	796	20	197	136	79	80
CP	747	1173	937	187	1019	1304	1094	309	378	953	812	13	230	128	76	83

Anexo 13. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo HJL para la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio estacional instantáneo (P_{Ei}), el máximo estacional instantáneo (MAX_{Ei}), el mínimo estacional instantáneo (MIN_{Ei}) y la desviación estandar estacional (σ_E). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Estación del año	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E
EMA																
MEX	458	663	191	129	548	887	111	260	597	882	276	238	474	797	78	231
PAR	447	674	159	149	556	896	114	263	604	891	281	240	482	807	81	234
LR	506	746	192	160	612	966	137	277	661	960	322	251	537	875	98	249
C1857	521	763	202	163	640	980	143	275	664	965	331	257	549	890	103	252
PELZ	447	673	160	149	551	888	112	262	596	882	274	240	479	801	80	233
SQ	466	692	172	152	556	893	114	265	597	886	269	243	490	811	84	237
BA	487	713	186	155	544	898	101	278	596	887	261	247	480	820	47	255
GDO	473	724	41	224	527	920	11	315	573	915	82	301	539	877	29	233
SJ	490	742	46	230	541	924	9	316	572	917	76	304	532	886	29	243
BL	505	742	66	206	558	922	9	305	570	914	75	304	532	885	28	243
CdC	490	757	52	234	544	927	7	319	571	917	71	306	541	893	28	245
CP	481	774	77	233	566	930	5	310	546	912	76	313	551	899	28	248

Anexo 14. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por el modelo HJL para la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio anual por hora (P_{AH}), el máximo anual por hora (MAX_{AH}), el mínimo anual por hora (MIN_{AH}) y la desviación estandar por hora (σ_{AH}). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Hora Z EMA	P_{AH}				MAX_{AH}				MIN_{AH}				σ_{AH}			
	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00
MEX	413	697	673	220	517	887	798	316	251	887	488	78	86	185	105	73
PAR	419	707	683	221	523	896	807	320	257	896	499	81	86	185	104	73
LR	470	773	749	257	579	966	873	364	299	966	563	98	90	189	105	81
C1857	472	774	760	263	590	980	887	373	309	980	579	103	92	189	104	84
PELZ	413	703	679	216	515	888	799	313	255	888	499	80	84	182	101	71
SQ	415	715	691	218	514	893	802	309	264	893	522	84	81	176	94	69
BA	378	727	703	218	511	898	804	304	47	898	548	89	132	168	85	67
GDO	548	797	598	76	691	920	740	142	220	920	474	11	139	133	78	37
SJ	534	808	607	75	692	924	749	143	199	924	490	9	154	123	73	37
BL	518	807	606	79	689	922	747	142	200	922	490	9	161	122	72	36
CdC	523	818	614	74	692	927	755	143	210	927	500	7	159	116	69	37
CP	470	820	621	77	690	930	762	143	183	930	511	5	183	110	67	39

Anexo 15. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por GSIP para la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio estacional instantáneo (P_{Ei}), el máximo estacional instantáneo (MAX_{Ei}), el mínimo estacional instantáneo (MIN_{Ei}) y la desviación estandar estacional (σ_E). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Estación del año	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E
EMA	503	701	223	129	637	978	239	256	669	983	353	253	526	831	174	244
MEX	461	706	103	152	612	994	168	276	662	967	185	270	514	837	185	242
PAR	484	706	158	164	621	1005	136	268	707	1000	353	246	561	896	223	233
LR	499	701	147	160	625	989	141	266	697	973	364	242	546	886	228	228
C1857	478	712	125	153	617	1005	174	254	683	994	212	266	556	864	217	232
PELZ	498	706	163	162	622	1016	152	293	653	1005	185	311	526	880	174	250
SQ	533	750	130	187	650	1021	196	286	698	1011	364	258	502	886	136	269
BA	508	723	158	180	597	978	92	284	642	956	185	271	513	875	163	257
GDO	548	766	152	197	645	1005	228	280	663	978	310	268	478	864	120	248
SJ	572	820	201	206	677	1027	250	288	682	1005	299	265	547	896	163	274
BL	515	771	103	210	629	989	234	293	623	934	272	260	505	869	152	247
CdC	547	826	158	253	671	1016	293	292	578	962	223	270	590	907	212	273

Anexo 16. Estadística descriptiva de la radiación superficial estimada por GSIP cercana a las EMAs de la península de Baja California en el 2014, donde se observa el promedio anual por hora (P_{AH}), el máximo anual por hora (MAX_{AH}), el mínimo anual por hora (MIN_{AH}) y la desviación estandar por hora (σ_{AH}). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Hora Z EMA	P_{AH}				MAX_{AH}				MIN_{AH}				σ_{AH}			
	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00
MEX	347	755	759	391	451	978	983	532	174	467	386	201	87	167	185	114
PAR	286	697	780	404	402	945	994	549	168	326	380	103	80	196	192	130
LR	350	750	783	415	462	962	1005	554	136	516	310	158	103	168	201	126
C1857	343	735	767	395	462	951	989	543	141	456	446	147	101	167	177	128
PELZ	324	730	787	412	446	956	1005	549	174	451	478	125	82	172	178	123
SQ	238	743	801	402	429	994	1016	549	152	424	375	163	68	179	188	117
BA	351	791	801	370	473	1011	1021	511	136	402	223	130	100	176	200	119
GDO	314	753	774	341	440	945	978	484	92	315	331	158	90	172	174	109
SJ	338	783	800	337	467	978	1005	451	120	331	369	152	94	159	163	102
BL	368	854	811	346	511	1027	1005	462	201	554	397	163	101	133	158	98
CdC	314	775	783	335	473	967	989	435	103	424	494	190	100	160	159	79
CP	352	834	800	310	516	1016	951	413	158	288	375	212	105	164	145	71

Anexo 17. Estadística descriptiva de la radiación superficial registrada por el SMN en la península de Baja California en el 2014. Se observa el promedio estacional instantáneo (P_{Ei}), el máximo estacional instantáneo (MAX_{Ei}), el mínimo estacional instantáneo (MIN_{Ei}) y la desviación estandar estacional (σ_E). . Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Estación del año	Invierno				Primavera				Verano				Otoño			
	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E	P_{Ei}	MAX_{Ei}	MIN_{Ei}	σ_E
EMA	505	691	85	165	626	984	184	253	678	1005	312	244	509	870	101	254
MEX	423	684	54	179	579	1014	79	309	654	1007	88	319	484	903	172	250
PAR	460	750	51	200	609	1060	66	315	733	1071	292	282	567	975	159	257
LR	379	811	28	262	569	1052	53	352	610	1047	54	383	493	981	100	321
C1857	460	775	61	201	603	1088	104	313	657	1005	49	316	549	908	174	258
PELZ	461	738	54	215	566	993	52	314	615	1002	88	350	516	893	71	296
SQ	525	818	56	224	647	1032	169	311	696	1008	290	274	463	929	6	321
BA	550	826	103	229	609	1044	101	335	647	980	195	301	475	902	36	320
GDO	591	899	83	261	654	1081	219	338	660	1015	205	300	526	1040	81	328
SJ	469	765	131	215	582	1007	138	288	571	943	82	313	456	822	57	269
BL	463	795	45	255	596	992	159	316	580	971	79	308	445	849	123	247
CdC	502	774	85	264	615	993	172	306	464	1007	45	342	553	872	185	275

Anexo 18. Estadística descriptiva de la radiación superficial registrada por las EMAs del SMN de la península de Baja California en el 2014, donde se observa el promedio anual por hora (P_{AH}), el máximo anual por hora (MAX_{AH}), el mínimo anual por hora (MIN_{AH}) y la desviación estandar por hora (σ_{AH}). Todos los valores estan en Wm^{-2} .

Hora Z EMA	P_{AH}				MAX_{AH}				MIN_{AH}				σ_{AH}			
	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00	15:00	18:00	21:00	0:00
MEX	316	755	752	404	439	947	1005	552	101	388	437	85	99	168	168	144
PAR	251	672	759	379	401	962	1014	515	88	79	186	54	99	269	240	133
LR	286	727	831	438	415	980	1071	640	66	192	219	51	104	232	218	167
C1857	325	773	653	184	464	1027	1052	453	53	188	70	28	119	220	363	135
PELZ	241	730	808	382	461	987	1088	524	49	285	327	61	125	216	188	136
SQ	157	696	805	363	413	938	1002	506	52	287	215	54	110	224	194	130
BA	308	784	809	351	447	1027	1032	531	6	78	84	20	113	223	234	148
GDO	251	797	791	340	441	1044	1027	500	52	86	95	36	114	225	208	142
SJ	316	808	884	314	497	1042	1081	488	81	91	277	83	108	216	187	110
BL	310	751	707	214	441	1007	942	390	87	303	192	57	98	178	206	93
CdC	276	743	711	295	478	992	945	472	45	302	132	49	127	236	233	114
CP	303	815	709	217	509	993	1007	360	85	321	213	45	115	159	222	107

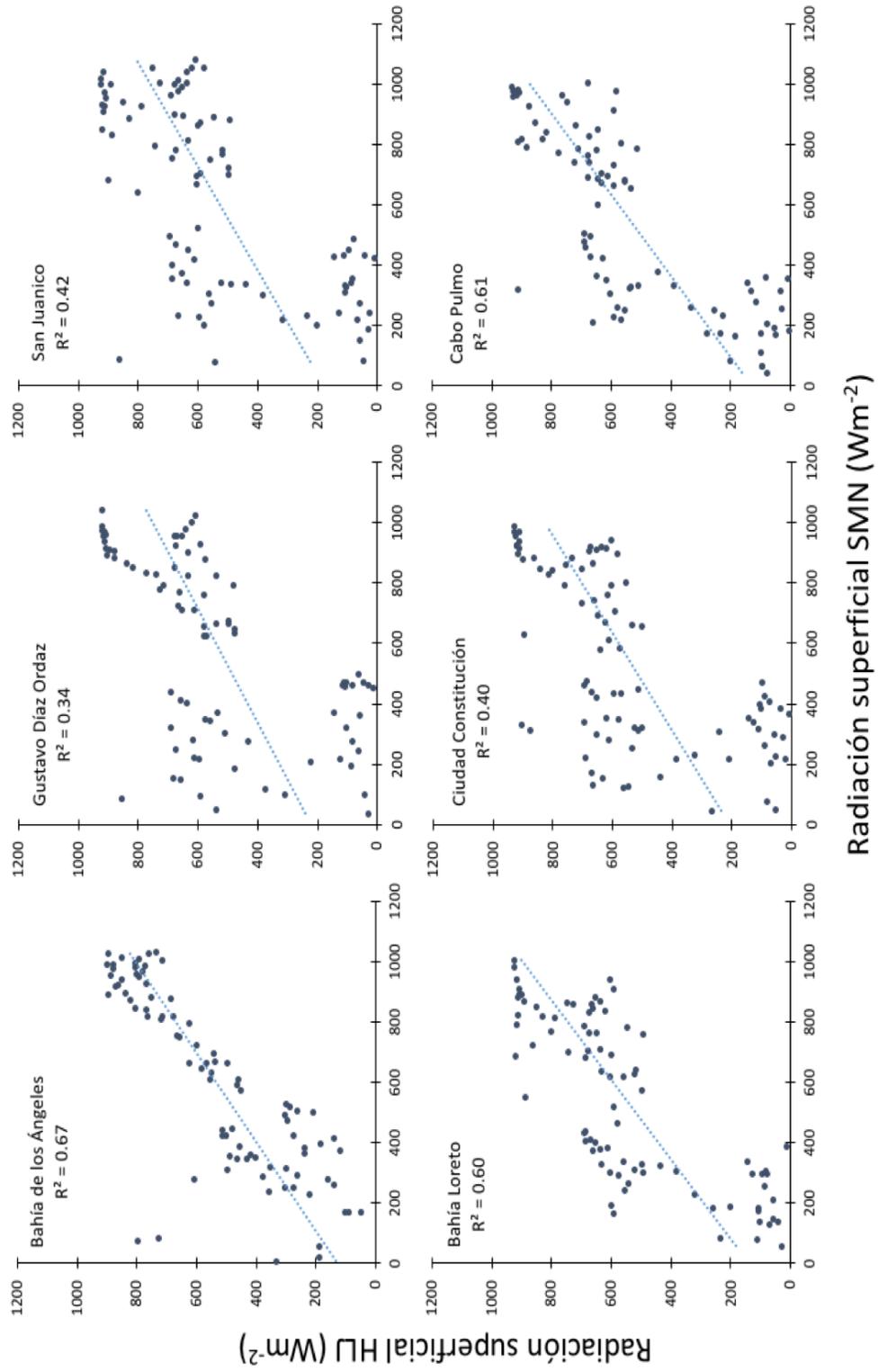
Anexo 19. Parámetros de la regresión lineal entre los modelos HJL y GSIP para cada EMA. Todas las EMAs alcanzaron el nivel de significancia de < 0.001 .

EMA	Grados de libertad	F	R ² ajustada
MEX	84	290	0.78
PAR	85	180	0.68
LR	85	217	0.72
C1857	78	214	0.73
PELZ	85	217	0.72
SQ	85	177	0.67
BA	87	273	0.76
GDO	84	65	0.43
SJ	86	82	0.49
BL	85	67	0.60
CdC	87	83	0.49
CP	83	136	0.62

Anexo 20. Parámetros de la regresión lineal entre el modelo HLJ y los datos del SMN para cada EMA. Todas las EMAs alcanzaron el nivel de significancia de < 0.001 .

EMA	Grados de libertad	F	R ² ajustada
MEX	84	249	0.75
PAR	85	118	0.58
LR	85	128	0.60
C1857	78	134	0.63
PELZ	85	165	0.66
SQ	85	128	0.60
BA	87	178	0.67
GDO	84	44	0.34
SJ	86	62	0.42
BL	85	127	0.60
CdC	87	59	0.40
CP	83	133	0.61

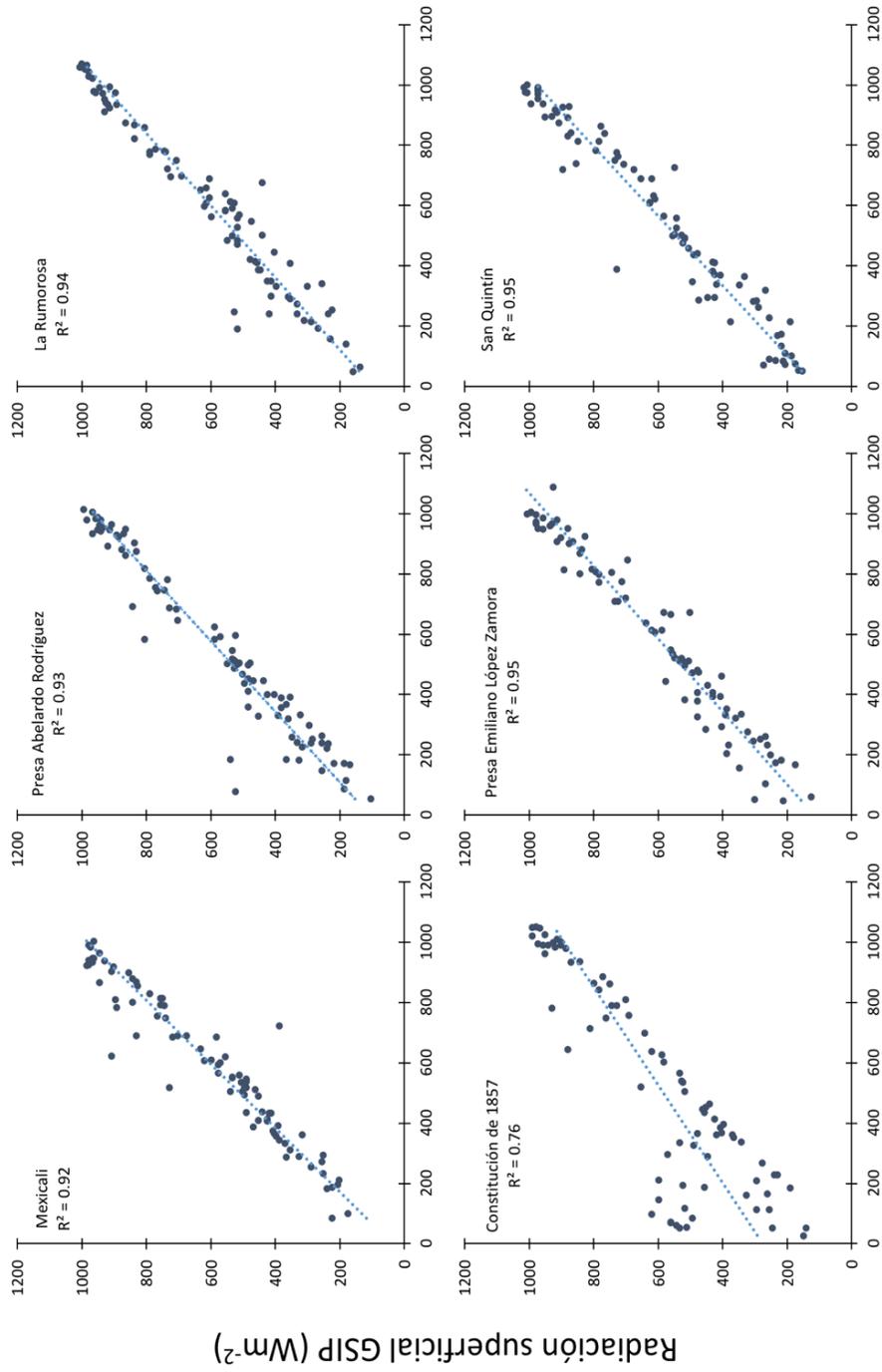
Anexo 21. Dispersión de resultados del modelo HLU en relación a datos del tiempo correspondiente de la EMAs, y la línea de regresión entre los dos.



Anexo 22. Parametros de la regresión lineal entre el modelo GSIP y los datos del SMN para cada EMA. Todas las EMAs alcanzaron el nivel de significancia de < 0.001 .

EMA	Grados de libertad	F	R ² ajustada
MEX	84	938	0.92
PAR	85	1094	0.93
LR	85	1242	0.94
C1857	78	243	0.76
PELZ	85	1556	0.95
SQ	85	1484	0.95
BA	87	2598	0.97
GDO	86	1427	0.94
SJ	88	1042	0.92
BL	87	695	0.89
CdC	89	570	0.87
CP	83	281	0.77

Anexo 23. Dispersión de resultados del modelo GSIP en relación a datos del tiempo correspondiente de la EMAs, y la línea de regresión entre los dos.



Radiación superficial SMN (Wm⁻²)