



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

**VALIDACIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN
GLOBAL REGISTRADOS EN UNA ESTACIÓN
DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN
CONCEPCIÓN**

Proyecto de título en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniero Civil

Evelyn Andrea Bustamante Aguilera

Concepción, Marzo de 2018

DEDICATORIA

A mi padre, gracias por tu entrega y amor incondicional, te amo...

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres y hermanos por estar siempre y sin condiciones. A mi compañero de vida, por el apoyo durante mis años académicos. Al motor de mi vida, mi hijo, quien con su llegada motivó a que terminara esta hermosa etapa de mi vida. A mis profesores de comisión, profesora Gilda Espinoza V. y al profesor Sergio Quijada V. por su atención prestada. Finalmente y de manera muy especial a mi profesor guía, Dr. Alvaro Suazo Schwencke, por su gran disposición, dedicación y ayuda sin la cual este trabajo no hubiese sido posible realizar.

Índice

Resumen	1
Abstract	2
1 Introducción	3
1.1. Objetivos	4
1.1.1.Objetivo general	4
1.1.2.Objetivos específicos	4
2 Metodología	5
2.1. Información General	5
2.2. Parámetros metereológicos	5
2.3. Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas	7
2.4. Metodología estadística para validar los datos de radiación global	7
2.4.1.Depuración de datos	8
2.4.2.Correlación estadística entre radiación global y temperatura	9
2.4.2.1. Correlación Global entre radiación global y temperatura	10
2.4.2.2. Correlación horaria entre valores máximos y mínimos de radiación global y temperatura	10

3	Análisis de resultados	11
3.1.	Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas	11
3.2.	Metodología estadística para validar los datos de radiación global . .	14
3.2.1.	Resultados de la depuración de datos	14
3.2.2.	Correlación global entre radiación global y temperatura	14
3.2.3.	Correlación horaria entre valores máximos y mínimos de radiación global y temperatura	16
3.3.	Análisis comparativo de ambos métodos de validación	19
4	Conclusiones	20
	Referencias	21
	Anexos	22
A1.	Resultados 2012	22
A2.	Resultados 2015	23
A3.	Datos registrados en la estación de monitoreo	24
A4.	Correlación con 2013	25

VALIDACIÓN DE DATOS DE RADIACIÓN GLOBAL REGISTRADOS EN UNA ESTACIÓN DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN CONCEPCIÓN

Autora: Evelyn Bustamante Aguilera

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
evbustam@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
asuazo@ubiobio.cl

RESUMEN

A través del monitoreo atmosférico automático se genera una gran cantidad de información sobre la calidad del aire de zonas urbanas. En Chile, el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINCA) reúne y difunde los datos que son generados por las principales redes automáticas de monitoreo atmosférico. Estos datos son revisados, validados y emitidos de acuerdo con los criterios propios de cada una de las redes en donde se generan; sin embargo, para tener la posibilidad al integrar las diferentes bases de datos, es necesario validarlos antes de su emisión. En el presente trabajo, se realiza la validación de los registros de radiación global obtenidos en la estación de monitoreo de la calidad del aire Kingston College en Concepción. Esta validación se realiza mediante la comparación con la radiación global teórico y una metodología basada en herramientas estadísticas. En la validación de forma teórica se usa un software, obteniendo con esto los valores de radiación solar extraterrestre, consiguiendo con esto determinar como cambia la radiación instantánea a lo largo del día. Para la validación se considera aspectos de los datos tales como cantidad bruta y real, correlación general entre radiación global y temperatura, correlación horaria de valores máximos y mínimos entre radiación global y temperatura haciendo uso de gráficos de dispersión para mostrar su relación. Finalmente de los dos métodos utilizados para la validación, se consiguió verificar la existencia de comportamientos típicos, valores no válidos, datos faltantes y datos considerados correctos.

Palabras claves: Validación de datos; Radiación global; Correlación.

4963 palabras, 6 figuras, 10 tablas, $4953 + 6 \times 250 + 10 \times 250 = 8963$ palabras.

**VALIDATION OF GLOBAL RADIATION DATA REGISTERED AT
A MONITORING STATION OF THE AIR QUALITY IN
CONCEPCIÓN**

Author: Evelyn Bustamante Aguilera

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bío
evbustam@alumnos.ubiobio.cl

Adviser: Dr. Álvaro Suazo Schwencke

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bío
asuazo@ubiobio.cl

ABSTRACT

Automatic atmospheric monitoring generates a large amount of information on air quality in urban areas. In Chile, the National Air Quality Information System (SINCA) collects and disseminates data generated by the main automatic atmospheric monitoring networks distributed. These data are reviewed, validated and issued in accordance with the criteria of each network where they are generated; however, in order to have the possibility that when integrating the different databases they have a degree of confidence, it is necessary to validate them before they are issued. In the present work, the global radiation records obtained at the Kingston College air quality monitoring station in Concepción are validated. This validation is performed by comparing with theoretical global radiation and a methodology based on statistical tools. In the theoretical validation a software is used, obtaining with this the values of extraterrestrial solar radiation, thus determining how the instantaneous radiation changes throughout the day. Validation considers aspects of the data such as brute and actual quantity, general correlation between global radiation and temperature, hourly correlation of maximum and minimum values between global radiation and temperature using scatter plots to show their relationship graphically. Finally, of the two methods used for validation, it was possible to verify the existence of typical behaviours, invalid values, missing data and data considered correct.

Keywords: Data validation; Global radiation; Correlation.

1. Introducción

La radiación solar total, a menudo llamada como radiación global, es la suma de radiación directa, difusa y reflejada. La radiación solar disponible para nosotros es siempre una mezcla de los tres componentes antes mencionados. El porcentaje real de cada uno de estos componentes varía según los diferentes parámetros, como el clima, la ubicación, etc (Aeron Systems, 2017).

Los datos sobre la radiación solar son relevantes para la investigación agrícola y aplicaciones tales como la estimación de la evapotranspiración de referencia y los requerimientos de agua para el cultivo. También es importante para la planificación energética, ya que los datos sobre la radiación solar permiten una evaluación correcta de los sistemas térmicos y fotovoltaicos cuyos factores de dichas plantas están linealmente correlacionados con la irradiación solar (Colle et al., 2001; Meza y Yebra, 2017).

En Chile el organismo encargado de monitorear la calidad del aire es el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire del Ministerio del Medio Ambiente (SINCA). Pone a disposición información de calidad del aire de todo el país para los agentes que cuenten con norma primaria y otros contaminantes o variables meteorológicas registradas a través de estaciones de monitoreo a través de todo Chile desde Arica a Magallanes. Tiene como objetivo entregar información oportuna y confiable respecto a la calidad del aire de todo el país, buscando mejorar gradualmente el conocimiento, la vigilancia y la gestión de la calidad del aire que se respira para contribuir a la protección de la salud de la población (SINCA, 2017).

El SINCA integra en un solo portal de Internet las bases de datos generadas por cada una de las estaciones de monitoreo que tiene asociados, siendo estos datos de monitoreo enviados en línea de forma automática. Enviados por los operadores de las redes a SINCA, pueden presentar una serie de inexactitudes inherentes al proceso: valores erráticos o inexistentes por cortes de energía, valores correspondientes a calibraciones y no a mediciones, valores no representativos debido a la presencia de fuentes ocasionales, etc. A estos datos se les denomina Registros no validados, ya que no han pasado por una validación por parte del operador de la red.

Antes de que los datos de monitoreo sean aceptados en una base de datos final, los datos erróneos deben ser filtrados o extraídos. Este proceso de filtrado recibe

el nombre de validación, y corresponde a la verificación de la exactitud, integridad y consistencia de la información generada, tomando en consideración criterios cuantitativos y cualitativos (SINCA, 2017).

El objetivo principal de este proceso es tener datos de calidad conocida mediante la evaluación documental, técnica y estadística para determinar la confiabilidad de la información generada por el sistema de monitoreo. Es deseable, que al integrar las bases de datos de diversas redes de monitoreo, éstas sean revisadas y validadas mediante un mismo procedimiento de carácter básico y general.

Para efectos de este informe se realizará la validación de los registros de radiación global obtenidos en la estación de monitoreo de la calidad del aire Kingston College en Concepción, relacionándolos con niveles teóricos y otros parámetros meteorológicos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Validar registros de radiación global obtenidos en la estación de monitoreo de la calidad del aire, Kingston College en Concepción.

1.1.2. Objetivos específicos

- Obtener niveles de radiación global en la estación de monitoreo, utilizando un modelo teórico.
- Aplicar una metodología basada en herramientas estadísticas para validar los datos generados en la estación de monitoreo atmosférico.
- Realizar un análisis comparativo de los datos obtenidos de ambos métodos de validación.

2. Metodología

La validación contempla la descarga de los reportes diarios de radiación global, desde la página del SINCA, considerando un periodo de 9 años. Se validan los datos de radiación global mediante dos métodos, el primer método es de forma teórica mediante un modelo que implica un conjunto de ecuaciones y un programa FORTRAN para automatizar el modelo y el segundo método de validación es aplicando herramientas estadísticas relacionando la radiación global con otros parámetros meteorológicos como la temperatura. Finalmente se realiza un análisis comparativo de los datos obtenidos en los métodos mencionados anteriormente.

2.1. Información General

La ciudad de Chile designada para efectos de este trabajo es Concepción, contando con varias estaciones de monitoreo de calidad del aire, siendo la estación Kingston College la designada para efectos de este documento, por ser la única que registra radiación global. La figura 1 muestra la ubicación de la estación de monitoreo en el gran Concepción.

2.2. Parámetros meteorológicos

El criterio de selección de la estación de monitoreo se basa en la disponibilidad de los datos meteorológicos, en donde el Ministerio de Medio Ambiente a través del SINCA pone a disposición información en línea de calidad del aire de todo el país.

Las bases de datos se consultaron tal y como las publicó el SINCA durante los años 2009 al 2017. La tabla 1 indica nombre del parámetro meteorológico, junto con otras características útiles para la validación. Siendo la radiación global el parámetro a validar, y la temperatura, el parámetro meteorológico que se relaciona con la radiación global en el método estadístico. En este análisis se usan datos desde 11.08.2009 hasta 04.09.2017.

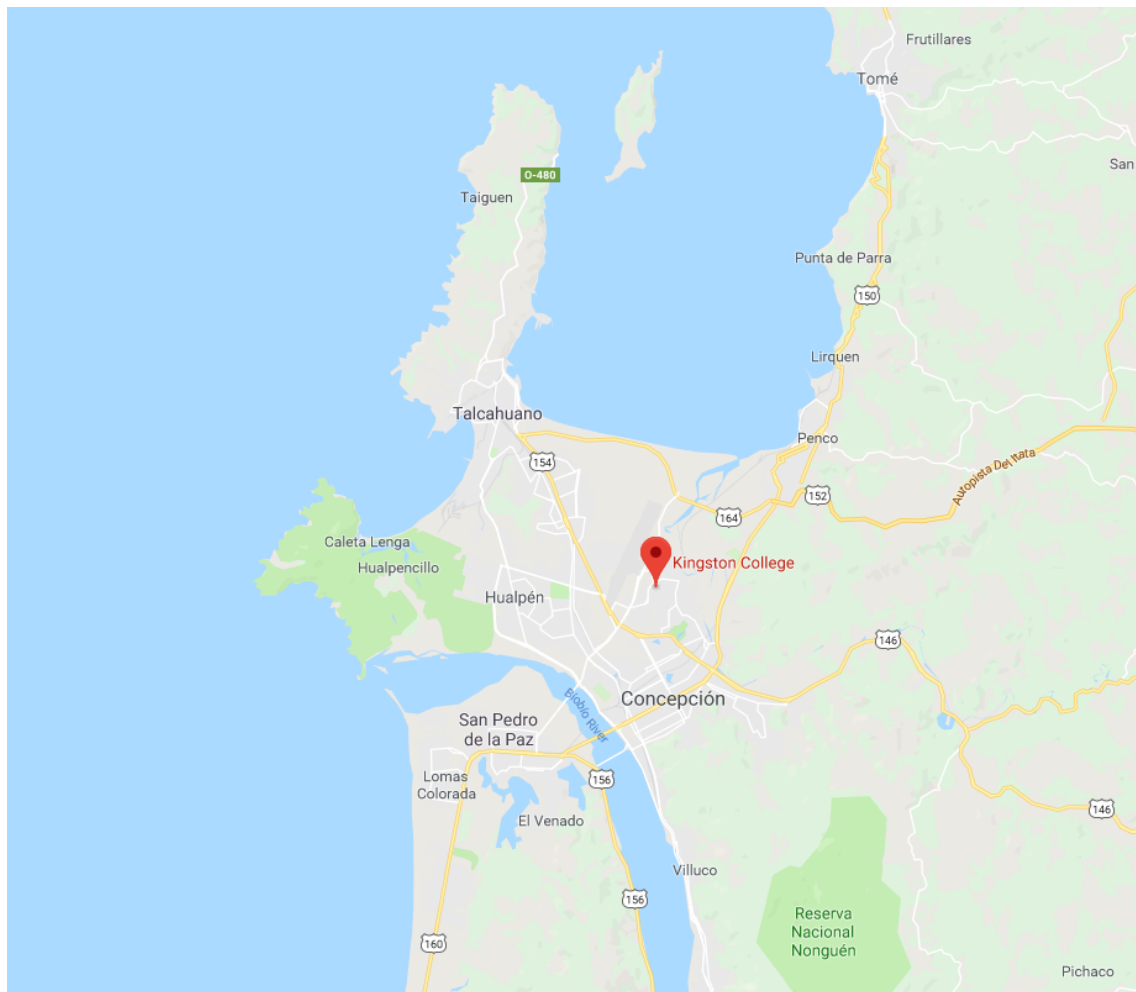


Figura 1: Ubicación de la estación de monitoreo analizada.

Fuente: Google Maps, 2017

Tabla 1: Detalle parámetros meteorológicos estación Kingston College

Parámetro	Frecuencia	Altura	Técnica de medición
Radiación global (W/m^2)	Horario	3m	Detector fotovoltaico
Temperatura ambiente ($^{\circ}C$)	Horario	3m	Sensor polinomial

2.3. Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas

Los cálculos de entrada de radiación solar a la Tierra son una función de las cambiantes relaciones trigonométricas esféricas entre el Sol y la Tierra, a medida que ésta gira en órbita alrededor del Sol.

Las fórmulas para tales cálculos han estado disponibles por muchos años. Por lo que a través del modelo desarrollado por Whiteman y Allwine (1986), donde se combinan varias de estas fórmulas ya existentes, desarrollaron un conjunto de ecuaciones simples y un software para calcular el flujo solar extraterrestre en planos inclinados de inclinación arbitraria y ángulo azimutal en cualquier punto de la superficie de la tierra. Cabe destacar que estos cálculos especifican el flujo solar en el "borde" de la atmósfera de la tierra. Este modelo se usa para calcular el flujo solar extraterrestre en Concepción (Whiteman y Allwine, 1986).

Las fórmulas que se hacen mención en el modelo, se automatizaron a través de un software, obteniendo así los valores de radiación solar extraterrestre de forma repetida, por ejemplo, en intervalos de un minuto para determinar como cambia la radiación instantánea a lo largo del día (Whiteman y Allwine, 1986).

En la tabla 2 se presentan las variables de entradas del modelo desarrollado por los autores Whiteman y Allwine (1986), valores que pertenecen a la ciudad en estudio.

Tabla 2: Variables de entrada al modelo

Variable	Valor
Latitud	$-36,78451^{\circ}$
Longitud	$-73,05206^{\circ}$
Constante solar	1,3608
Inclinación	0°

2.4. Metodología estadística para validar los datos de radiación global

La validación de datos es un proceso por medio del cual se determina y denota la confiabilidad de un conjunto de datos que tienen en común el método de generación.

Durante el proceso de validación se evalúa la consistencia interna, temporal y espacial de un conjunto de datos, se identifican datos ausentes, no lógicos, tendencias debidas al mal funcionamiento de instrumentos, y características no esperadas. El objetivo principal de este proceso es tener datos de calidad conocida mediante la evaluación estadística para determinar si los datos obtenidos de las mediciones son confiables.

La siguiente metodología considera aspectos de los datos tales como cantidad de datos teóricos y reales, correlación general entre radiación global y temperatura, correlación horaria de valores máximos y mínimos entre radiación global y temperatura haciendo uso de gráficos de dispersión para mostrar su relación de forma gráfica, utilizando las herramientas estadísticas descritas, se pretende validar los datos por medio de la revisión de estas características generales y particulares de su comportamiento.

2.4.1. Depuración de datos

Para comenzar el proceso de validación de los datos mediante herramientas estadísticas, se iniciará calculando el número o valor teórico y el número real de datos arrojados o generados por el sistema de medición del SINCA. El tamaño de la base de datos o cantidad teórica de datos, se debe determinar considerando que los datos disponibles en la estación de monitoreo son promedios horarios y teóricamente se tienen 24 datos diarios de radiación global, aunque técnicamente no sea así todo el tiempo teniendo en cuenta que el sensor fotovoltaico no siempre registra los valores de radiación global, pudiendo ser por problemas que pueden ser identificados durante eventos como: mantenimientos preventivos, fallas en el funcionamiento del equipo de monitoreo, cortes de energía, etc.

Para calcular la cantidad real de datos disponibles, primero se debe verificar que solamente existan valores numéricos y no de texto los cuales se deben identificar y localizar en los archivos que conforman la base de datos entregados por el SINCA. Una vez realizada la verificación anterior conducirá a un cálculo del tamaño real de datos.

2.4.2. Correlación estadística entre radiación global y temperatura

En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varía sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra (Wikipedia, 2017). Como el objetivo de este documento es la validación de los datos de radiación global, se correlacionan los datos de radiación global y temperatura para comprobar la dependencia lineal entre estos dos parámetros meteorológicos, para ello es necesario obtener el factor de correlación "r" de estas dos variables.

Es por ello que si X_1, X_2, \dots, X_n representan los datos de radiación global y Y_1, Y_2, \dots, Y_n representan los datos de temperatura, el coeficiente de correlación r entre X e Y se calcula con la ecuación 1 como sigue (Anderson, 1998):

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} \quad (1)$$

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

$$s_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1} \quad (4)$$

La tabla 3 muestra la interpretación de los diferentes valores del factor de correlación r. Un valor del coeficiente de correlación cercano a +1, implica que cuando una variable crece así lo hace la otra, y de manera inversa para los valores cerca de -1. Un valor de +1 implica una correlación lineal positiva perfecta, es decir, todos los pares de datos describen una línea recta con una pendiente positiva. Un valor de -1 implica una correlación lineal negativa perfecta, describiendo así una recta con pendiente negativa. Los valores cercanos a 0 implican correlación débil entre las variables (Anderson, 1998).

Tabla 3: Interpretación de r

r	Correlación
0	nula
0-0.5	baja
0.5-0.8	media
0.8-1	fuerte
1	perfecta

2.4.2.1. Correlación Global entre radiación global y temperatura

Para dar cumplimiento a la validación de datos se comienza con una correlación de forma global independiente de la estación (verano-invierno), día y hora. Para correlacionar los valores de forma global se utilizan las ecuaciones 1 a 4.

Para mostrar de forma gráfica la correlación entre radiación global y temperatura se utiliza un gráfico de dispersión que relaciona estos dos parámetros meteorológicos.

En este gráfico, el eje de las abcisas representa a la variable independiente siendo la temperatura y el eje de las ordenadas representa a la variable dependiente siendo la radiación global. Este gráfico o diagrama de dispersión puede sugerir varios tipos de correlaciones entre variables con un intervalo de confianza determinado. La correlación puede ser positiva (aumento), negativa (descenso), o nula (las variables no están correlacionadas) (Wikipedia, 2017). Por último se dibuja una línea de ajuste llamada también "línea de tendencia" con el fin de estudiar la correlación entre las variables.

2.4.2.2. Correlación horaria entre valores máximos y mínimos de radiación global y temperatura

De acuerdo a la base de datos entregada por el SINCA se aprecian valores extremos en el comportamiento diario de los datos, valores extremos entre el día y la noche. Con el fin de tener datos de calidad conocida se correlacionan los datos máximos y mínimos de cada día de radiación global y temperatura de manera particular, consiguiendo con esto separar los valores por horario y horas específicas. Para dar efecto a esto se utilizan las ecuaciones 1 a 4.

3. Análisis de resultados

En este punto se muestra el desarrollo y los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta, utilizando las herramientas ya descritas y puntualizando las observaciones o resultados obtenidos de todas ellas.

3.1. Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas

La figura 2 ilustra los resultados de la simulación realizada en el programa FORTRAN para una latitud correspondiente a Concepción considerando a modo de ejemplo el día 17 de mayo de 2014. A su vez en el mismo gráfico se muestra la radiación global medida por la estación de monitoreo Kingston College para la misma fecha. La figura representa el curso de la radiación instantánea durante 24 horas para el día indicado anteriormente.

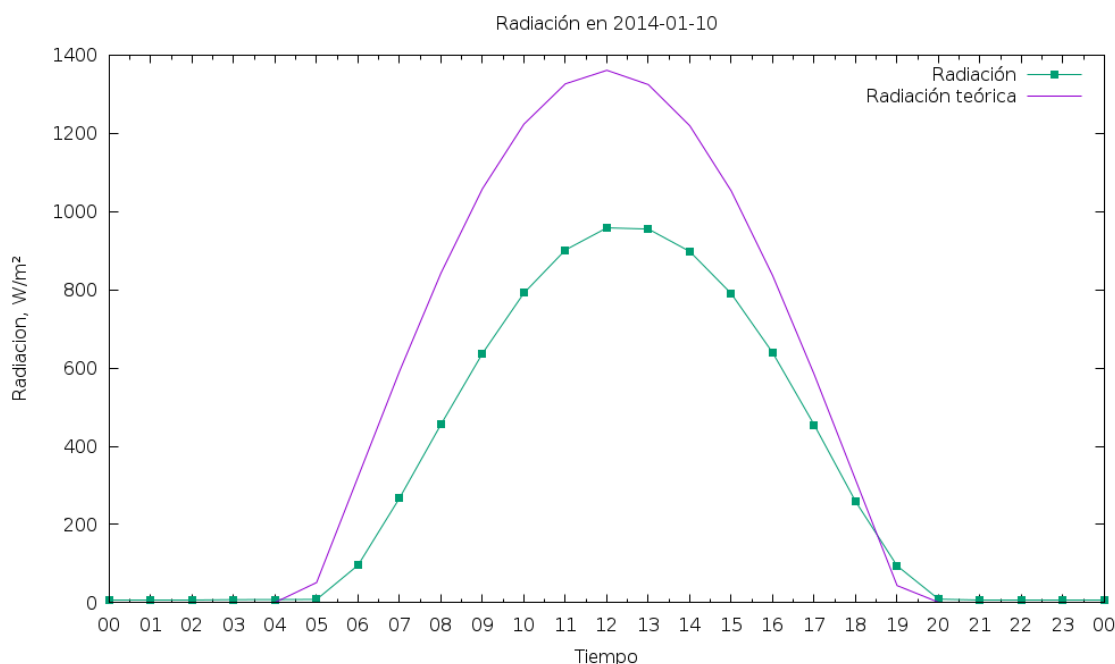


Figura 2: Radiación global en Kingston College en 17 de mayo de 2014

Visualmente se denota una diferencia entre la radiación extraterrestre obtenida de la simulación y la radiación global obtenida de la base de datos del SINCA. Esta diferencia es de aproximadamente un 30%, siendo la radiación extraterrestre

3.1 Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas 12

mayor a la global. Esto se explica debido a que, la radiación extraterrestre está medida a una altura fuera de la atmósfera por lo que en el trayecto hacia la Tierra, es en parte absorbida, principalmente por el vapor de agua y las nubes, y en parte dispersada hacia todas las direcciones por las nubes. El equilibrio térmico de la Tierra se distribuye de la siguiente manera: La radiación solar entrante es de $341,3W/m^2$, de los cuales $23W/m^2$ es reflejada por la superficie de la Tierra y $102W/m^2$ se refleja por las nubes, aerosoles y la atmosfera (30%), quedando $161W/m^2$ absorbida por la superficie, de la radiación que retorna se obtiene una radiación de baja frecuencia saliente de $238,5W/m^2$. La radiación global que es la que se recibe por tanto es menor a la radiación extraterrestre. El equilibrio térmico de la Tierra se muestra en la Figura 3.

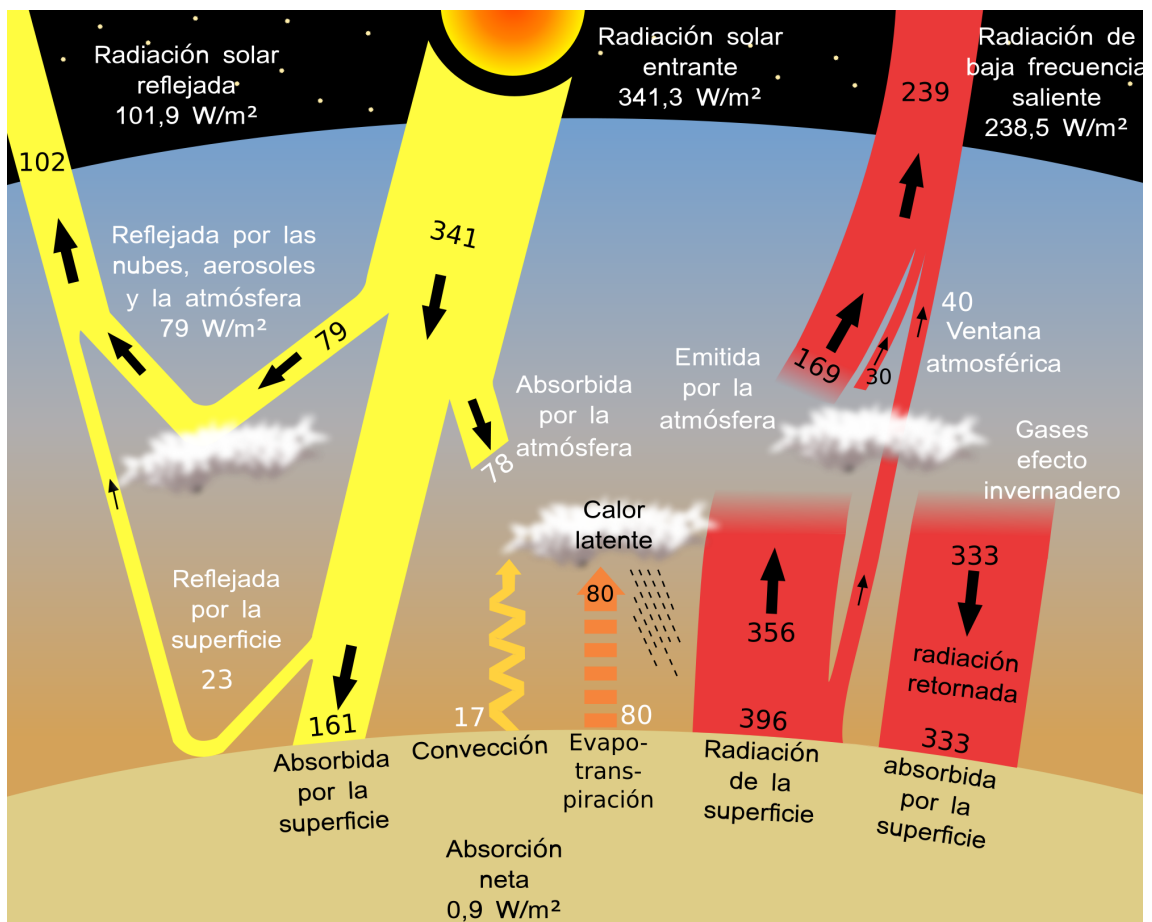


Figura 3: Equilibrio térmico de la Tierra

Fuente: Trenberth, Fasullo y Kiehl, 2009

Considerando lo anterior los datos de radiación global mayores a los valores teóricos de radiación se consideraron erróneos. A su vez al visualizar gráficamente el comportamiento de los datos teóricos con respecto a los datos medidos, se aprecian

3.1 Modelo teórico de estimación de la radiación solar extraterrestre en superficies inclinadas 13

periodos de tiempo que no siguen un patrón de comportamiento normal por lo que estos valores también se consideran no válidos.

En la noche la radiación solar es nula, pero el sensor registra 7.5 a $35W/m^2$, que se puede atribuir a la radiación de la Tierra (superficie, atmósfera) o a una fuente artificial. En total existen 223 días y 26934 horas donde la radiación solar teórica es más baja que la radiación registrada.

Adicionalmente se ignoran días donde durante 21:00-03:00 hrs la radiación registrada es sobre $100W/m^2$. Claramente el sistema no estaba funcionando de forma correcta en ese momento de registro, dado que si hay un patrón se puede asociar a una causa inusual de radiación. Ahora existen 504 días y 1124 horas con datos inválidos.

En muchos días en la primera o en la última hora de sol la radiación registrada es hasta $75W/m^2$ sobre la radiación solar teórica. Como en esas horas la radiación solar teórica es relativamente baja (hasta $50W/m^2$) y la diferencia se puede atribuir a la radiación que emana de la Tierra, como también puede haber reflejos en ventanas u otros, se consideran esos datos como válidos. Esto deja 26864 de 70720 horas de datos válidos donde se registraron radiación solar.

Los resultados se muestran en la figura 4. Se puede ver que desde julio del 2015 hasta fines del 2016 el sistema no estaba funcionando correctamente. Los datos altos de enero y febrero del 2017 se pueden atribuir a los incendios forestales, pero eso no está totalmente claro debido a que justo antes de estos valores hay datos inválidos.

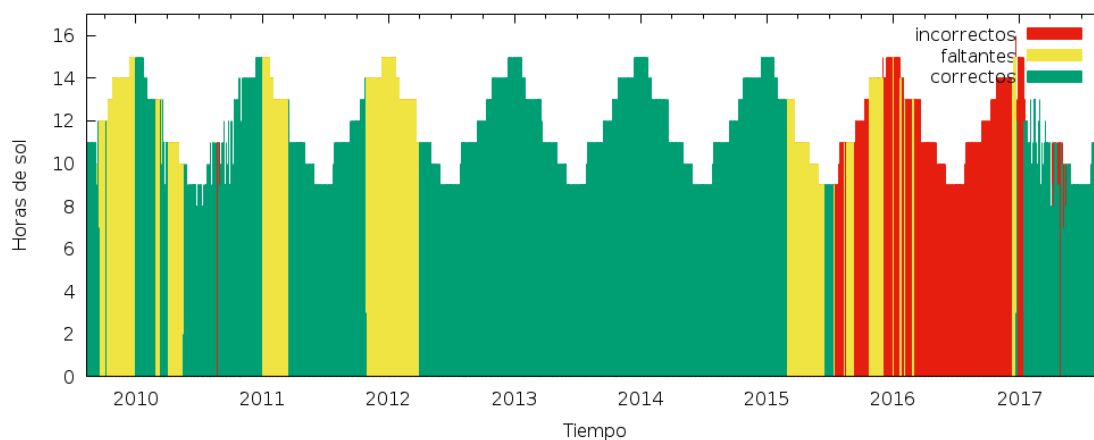


Figura 4: Resultado del análisis: datos correctos, incorrectos y faltantes

La tabla 4 muestra el porcentaje de datos válidos por periodos.

Tabla 4: Calidad de datos (% datos válidos)

Mes	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1		100 %	0 %	0 %	99.8 %	99.8 %	99.8 %	0 %	45.5 %
2		92.9 %	0 %	0 %	99.7 %	100 %	90.7 %	0 %	81.9 %
3		40.1 %	40.1 %	0 %	99.7 %	94.8 %	0 %	0 %	77 %
4		0 %	98.8 %	100 %	99.1 %	100 %	0 %	0 %	42.4 %
5		33.1 %	100 %	95.9 %	100 %	100 %	0 %	0 %	63.7 %
6		97.8 %	100 %	100 %	99.6 %	99.6 %	40.7 %	0 %	100 %
7		94.1 %	99.7 %	100 %	100 %	100 %	30.8 %	0 %	99.3 %
8	97.8 %	67.2 %	99.7 %	97.7 %	100 %	97.9 %	0 %	0 %	100 %
9	40.6 %	85.9 %	99.7 %	98.8 %	99.1 %	100 %	0 %	0 %	100 %
10	3.8 %	90.7 %	86.2 %	99.5 %	99.5 %	100 %	0 %	0 %	
11	0 %	96.7 %	0 %	100 %	99.8 %	99.8 %	0 %	0 %	
12	0 %	100 %	0 %	92 %	100 %	99.3 %	0 %	8.4 %	

3.2. Metodología estadística para validar los datos de radiación global

3.2.1. Resultados de la depuración de datos

Considerando que la cantidad teórica de datos que se generan al día es de 24, en la tabla 5 se indica la cantidad de datos horarios de radiación global que se generaron desde 11.08.2009 hasta 04.09.2017, siendo de 70720 datos. Tomando en cuenta la información descrita anteriormente se procedió a calcular el número real de datos disponibles, teniendo con esto un total de 55658 valores existentes y 15062 valores faltantes, siendo los datos reales un 78 % del número teórico.

Tabla 5: Cantidad de datos existentes y faltantes

Días	2948
Horas con registro	70720
Valores inválidos	0
Valores faltantes	15062
Valores existentes	55658

3.2.2. Correlación global entre radiación global y temperatura

De acuerdo con lo descrito en la sección 2.4.2.1, se obtuvo el grado de correlación entre estas dos variables de forma global, independiente de la estación (verano-

invierno), día y hora según lo especificado, obteniendo con esto un coeficiente de correlación $r = 0,648$. Este valor se explica debido a que durante la noche los valores son cerca de cero, por lo que da una correlación media entre estos dos parámetros. Este porcentaje de variabilidad se encuentra alrededor del 60 % como se muestra en la figura 5, que es un buen indicador ya que solamente se está haciendo uso de una variable para explicar el valor de la medida de radiación solar global y no se ha considerando el efecto de otras variables ambientales que también influyen significativamente en la medida de la radiación solar global. Así mismo la tabla 6 muestra la desviación estandar de la correlación de datos de ambos parámetros meteorológicos, donde se puede observar que los valores no tienen una gran variabilidad, afirmando así que estos dos parámetros están correlacionados.

Tabla 6: Desviación estándar de temperatura horaria

Mes	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	prom.
1		3.67			3.15	3.84	3.84		4.42	3.78
2		3.29			3.39	3.63	3.85		3.85	3.60
3		2.87	3.63		3.47	3.30			3.38	3.33
4			3.40	3.04	3.03	3.16			3.31	3.19
5		2.82	3.02	3.12	2.93	2.45			3.94	3.05
6		2.40	2.85	2.81	3.15	2.75			3.26	2.87
7		2.84	3.12	3.31	2.88	2.81			3.38	3.06
8	2.27	2.94	2.73	2.57	2.96	2.57			2.78	2.69
9	3.13	3.06	3.03	2.97	3.64	2.57			3.34	3.11
10	3.44	3.09	3.01	2.89	3.20	3.28				3.15
11		3.30		3.34	3.15	3.44				3.31
12		3.16		3.06	3.82	3.52				3.39

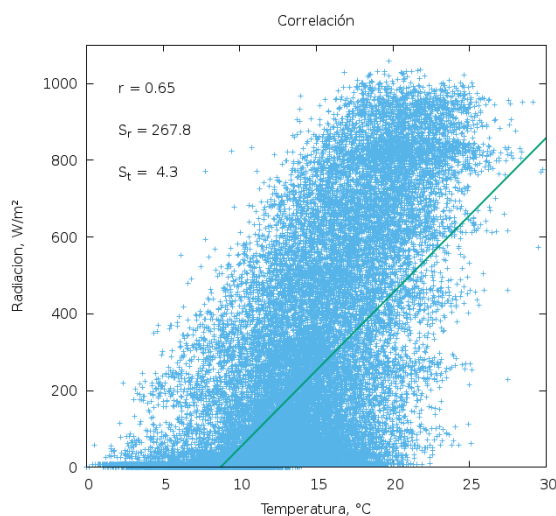


Figura 5: Correlación global

3.2.3. Correlación horaria entre valores máximos y mínimos de radiación global y temperatura

Se aprecian valores máximos en el comportamiento diario de los datos, específicamente en el día, por lo que se obtuvo el grado de correlación entre estas dos variables. Tomado el máximo diario de radiación global y temperatura, se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,73$, por lo que da como resultado una correlación media entre ambos parámetros.

Al igual que con los valores máximos también se aprecian valores mínimos en el comportamiento diario de los datos, específicamente en la noche, por lo que se obtuvo el grado de correlación entre estos dos parámetros meteorológicos. Tomando el mínimos diario de radiación global y temperatura, se obtuvo un coeficiente de correlación $r = 0,25$, por lo que da como resultado una correlación baja entre ambos parámetros. Esto se explica dado que en la noche no hay radiación solar, el sensor solo logra captar una mínima radiación que es la emitida por la tierra, valor que no se correlaciona con la temperatura que pueda haber en ese momento. Si se correlaciona con T^4 (de acuerdo a la ley de Stefan Boltzmann) la correlación baja a $r = 0,14$.

La figura 6 muestra la distribución de los datos desde los periodos 2009-2017, donde se confirma de manera visual que ambos parámetros con valores mínimos no se correlacionan. Así mismo se puede apreciar que en la noche hay aproximado una radiación de $7W/m^2$, valor que se repite de forma constante que se puede asociar a iluminación artificial (foco de alguna luminaria) y además de radiación proveniente de la que emite la Tierra, valor que no correlaciona con la temperatura, dado que de esta última pueden haber hasta unos $15^{\circ}C$ aproximadamente, valor por lo demás alto, sobre todo para épocas de altas temperaturas como lo es en verano.

En la tabla 7, se tiene que la dispersión entre la radiación global y la temperatura de los valores máximos, presenta un patrón cíclico anual para los 9 años, en donde en los meses de estación cálida (primavera-verano) se presenta la mayor dispersión anual, principalmente enero y febrero. De forma contraria se tiene que la dispersión de los valores mínimos se presentan en los meses de estación fría (otoño-invierno), principalmente en junio y julio. Esto responde a que en las estaciones otoño-invierno son épocas de muchas lluvias o días nublados, por lo que se comprueban tales valores, de la misma forma se aprecian meses que están en blanco, debido a que no hubo

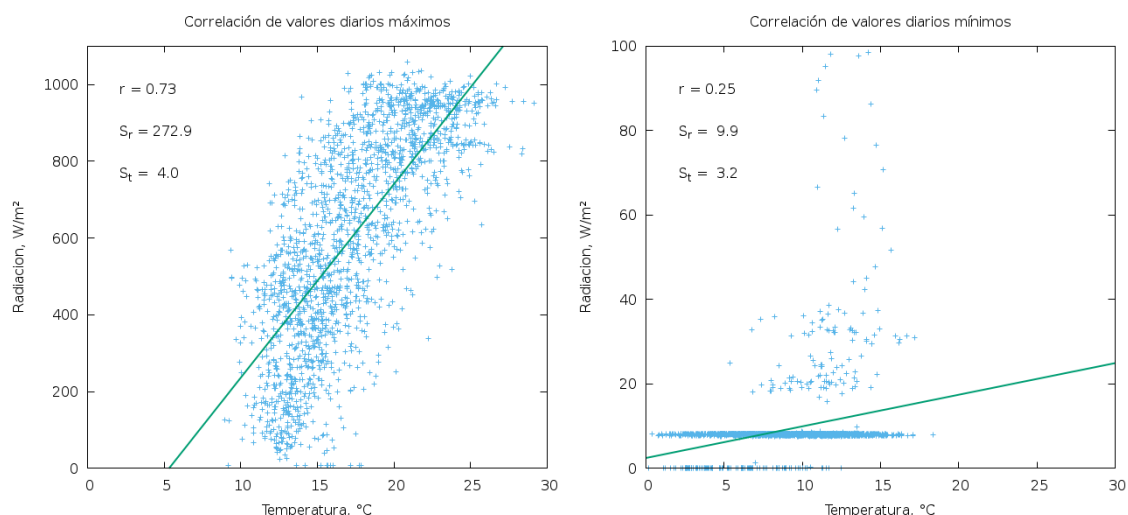


Figura 6: Correlación entre valores máximos y mínimos con temperatura

registros de radiación o temperatura, por lo que no existe tal correlación.

Tabla 7: Correlación entre radiación global y temperatura

Mes	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	prom.
1		0.78			0.81	0.77	0.82		0.73	0.78
2		0.80			0.71	0.78	0.81		0.73	0.77
3		0.73	0.65		0.74	0.74			0.76	0.72
4			0.60	0.66	0.60	0.61			0.66	0.63
5		0.49	0.48	0.40	0.47	0.51			0.49	0.47
6		0.33	0.30	0.24	0.40	0.36			0.29	0.32
7		0.25	0.31	0.34	0.36	0.37			0.44	0.35
8	0.49	0.45	0.43	0.54	0.45	0.50			0.45	0.47
9	0.44	0.67	0.61	0.67	0.46	0.60			0.57	0.57
10	0.76	0.71	0.76	0.72	0.69	0.67				0.72
11		0.74		0.77	0.79	0.77				0.77
12		0.79		0.76	0.80	0.77				0.78

En la tabla 8 se muestra la desviación estandar de la radiación global por meses de cada año, demostrando así que en los años 2015 y 2016 se presentan diferencias notables en los mismos meses pero en diferentes años, diferencias mayores a 100 W/m^2 de radiación, por lo que claramente esos datos son erróneos.

Así mismo para un análisis más certero se tomó del análisis teórico como referencia uno de los dos años (2013-2014) que resultaron ser datos que cumplen con la validación de categoría buenos, de calidad conocida, siendo este el año 2013, año que se tomó como base para correlacionar los demás años, mostrándose los resultados de la dispersión en la tabla 9.

Tabla 8: Desviación estándar de radiación global

Mes	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	prom.
1		372			328	339	357	102	341	306
2		336			313	331	332	45	346	284
3		257	281		280	275		39	337	245
4			212	202	198	207		16	310	191
5		120	142	119	141	124		22	239	130
6		93	92	100	125	110	141	26	131	102
7		111	111	129	114	120	238	17	178	127
8	141	178	162	165	159	151	356	21	205	171
9	236	258	241	232	205	209	197	31	282	210
10	215	275	298	266	271	287	236	18		233
11		351		326	327	330	15	12		227
12		329		327	351	342	86	231		278

Tabla 9: Correlación de radiación global con el año 2013

Mes	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017	prom.
1		0.83			0.89	0.91	0.23	0.84	0.74
2		0.79			0.88	0.89	0.29	0.85	0.74
3		0.85	0.84		0.90		0.35	0.88	0.76
4			0.80	0.82	0.78		0.52	0.82	0.75
5		0.69	0.69	0.69	0.72		0.27	0.76	0.64
6		0.69	0.76	0.77	0.75	0.68	0.24	0.79	0.67
7		0.57	0.72	0.72	0.72	0.20	0.40	0.77	0.59
8	0.69	0.30	0.68	0.72	0.72	-0.04	0.21	0.66	0.49
9	0.70	0.75	0.81	0.77	0.72	-0.07	0.08	0.60	0.54
10	0.89	0.77	0.81	0.79	0.86	0.17	0.44		0.68
11		0.84		0.87	0.92	-0.65	0.71		0.54
12		0.85		0.88	0.89	0.08	0.57		0.65

En la tabla 10 se presentan los resultados de la validación. Se consideran válidos todos los meses donde la correlación es por lo menos 0.6 y la variación de desviación estándar es hasta $100W/m^2$ en comparación con el año de referencia.

Tabla 10: Resultados de la validación

Mes	2009	2010	2011	2012	2014	2015	2016	2017
1		si			si	si	no	si
2		si			si	si	no	si
3		si	si		si		no	si
4			si	si	si		no	no
5		si	si	si	si		no	si
6		si	si	si	si	si	no	si
7		no	si	si	si	no	no	si
8	si	no	si	si	si	no	no	si
9	si	si	si	si	si	no	no	si
10	si	si	si	si	si	no	no	
11		si		si	si	no	no	
12		si		si	si	no	no	

3.3. Análisis comparativo de ambos métodos de validación

De acuerdo con la aplicación de los métodos de validación tanto teórico como estadístico se puede observar que, apesar de la forma de validación de ambos métodos son diferentes, en los períodos donde el estudio arroja que los datos son erróneos, coinciden para ambos métodos. Así mismo con los períodos en que se consideran datos buenos, por lo que se puede afirmar que el método para hacer la validación ha sido adecuado, cumpliendo así con el principal objetivo de este proceso de validación que es tener datos de calidad conocida y confiables mediante la evaluación teórica y estadística.

4. Conclusiones

Mediante el proceso de validación se logró determinar algunas características fundamentales de los datos. Se obtuvo una serie de resultados los cuales han sido coincidentes con las características referenciadas tanto para el modelo teórico como para la metodología estadística, presentando la descripción de una curva característica en el comportamiento de la radiación global. Algunos de éstos son:

- La radiación global cumple ciclos estacionales; en donde los valores máximos de radiación se presentan en los meses de enero y febrero en estación de verano y los valores mínimos se presentan en los meses de junio y julio en estación de invierno.
- Dada su condición estacional, la radiación presenta una evidente correlación con la temperatura.
- El intervalo de horas en que se presentan los máximos valores de radiación es de 11 a 16 h.
- El descenso de la radiación se presenta alrededor de las 18 hrs.
- El mínimo de radiación se presenta en la noche, siendo esta casi siempre nula.

Así mismo se observó que hay periodos en que no hubo registros de datos para la ciudad de Concepción, de la misma forma el proceso de validación arrojó que un treinta por ciento del total de meses validados no cumplen como datos válidos y un setenta por ciento serían válidos, aunque resultan lógicos, no es adecuado generalizarlos hasta no confirmarlos por medio del análisis de datos con otra estación de monitoreo.

Por lo anterior, se debe considerar que los datos presentan consistencia temporal y espacial concluyendo que el conjunto de herramientas teóricas como estadísticas seleccionadas, han sido las adecuadas para validar los datos de radiación global de la estación de monitoreo Kingston College en Concepción.

Referencias

Aeron Systems (2017): <http://www.aeronsystems.com/types-of-solar-radiation/>

Anderson, T. W.; Sclove, Stanley I. (1998): An introduction to the Statistical analysis of Data; Houghton Mifflin

Colle S; De Abreu SL; Ruther R (2001): Uncertainty in economic analysis of solar water heating and photovoltaic systems, n. 70, pp131-142

Google Maps (2017): <https://goo.gl/TVyKcd>

Meza, Francisco; Yebra, María (2015): Estimation of daily global solar radiation as a function of routine meteorological data in Mediterranean areas, v.124, n.3-4, pp 479-488

Sistema de información Nacional de calidad del Aire (SINCA) (2017): <https://sinca.mma.gob.cl/>

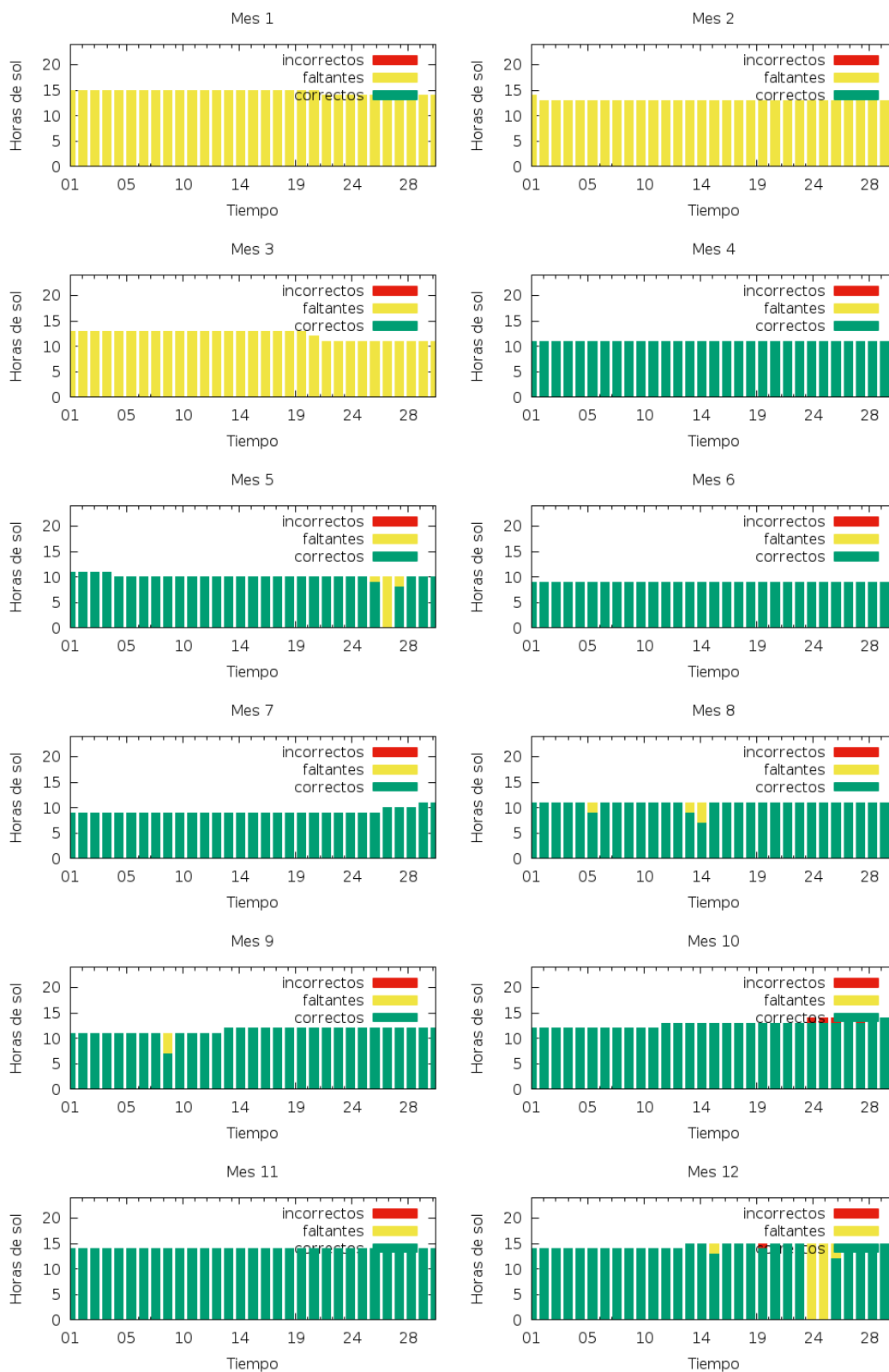
Trenberth; Fasullo; Kiehl (2009): Earth's global energy budget, "Bulletin of the American Meteorological Society", v.30, n.52, pp 270

Whiteman, C. David; Allwine, K. Jerry (1986): Extraterrestrial solar radiation on inclined surfaces, v.1, n.3, pp 164-169

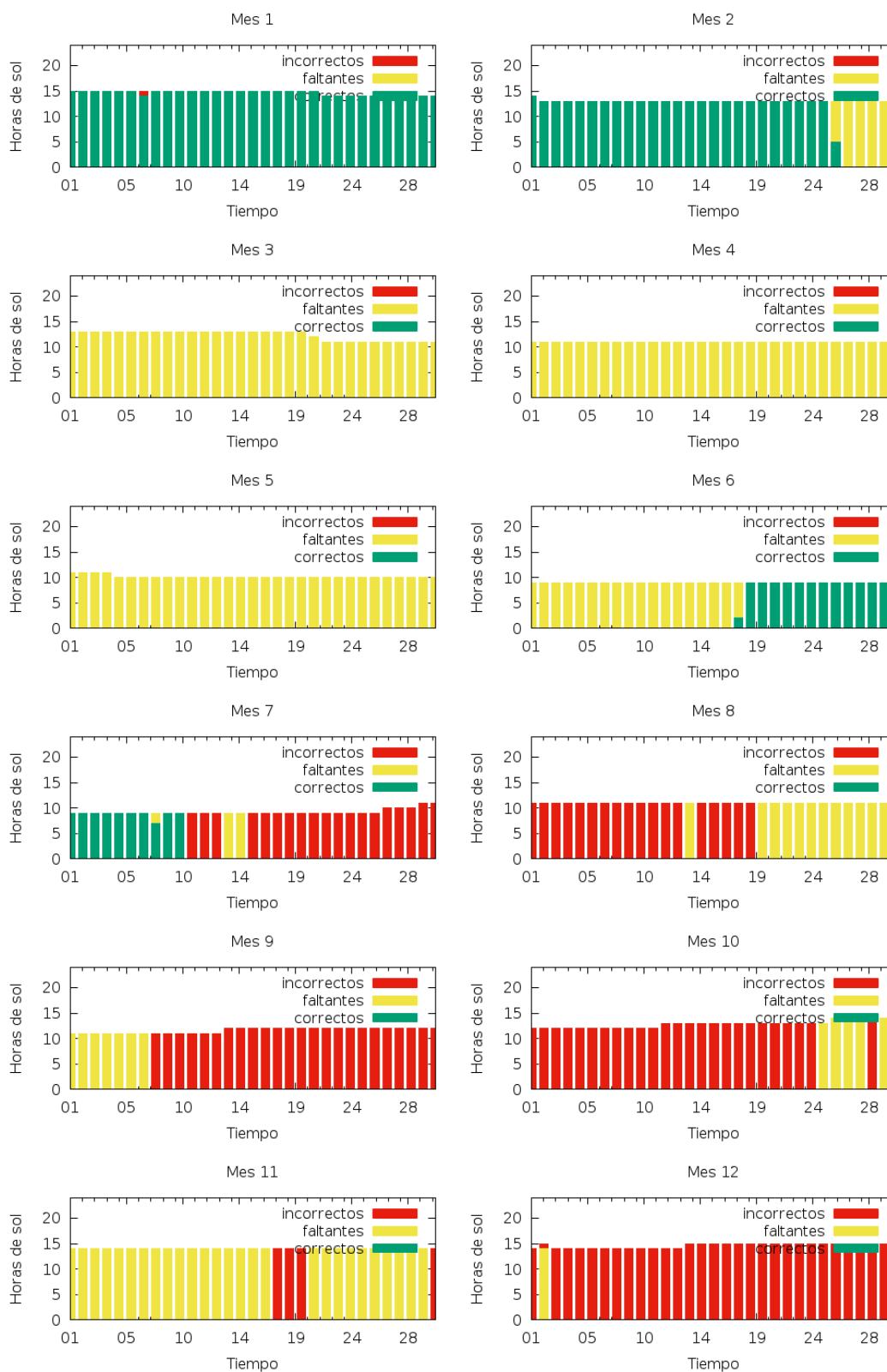
Wikipedia (2017): <https://es.wikipedia.org/wiki/Correlaci%C3%B3n>

Anexos

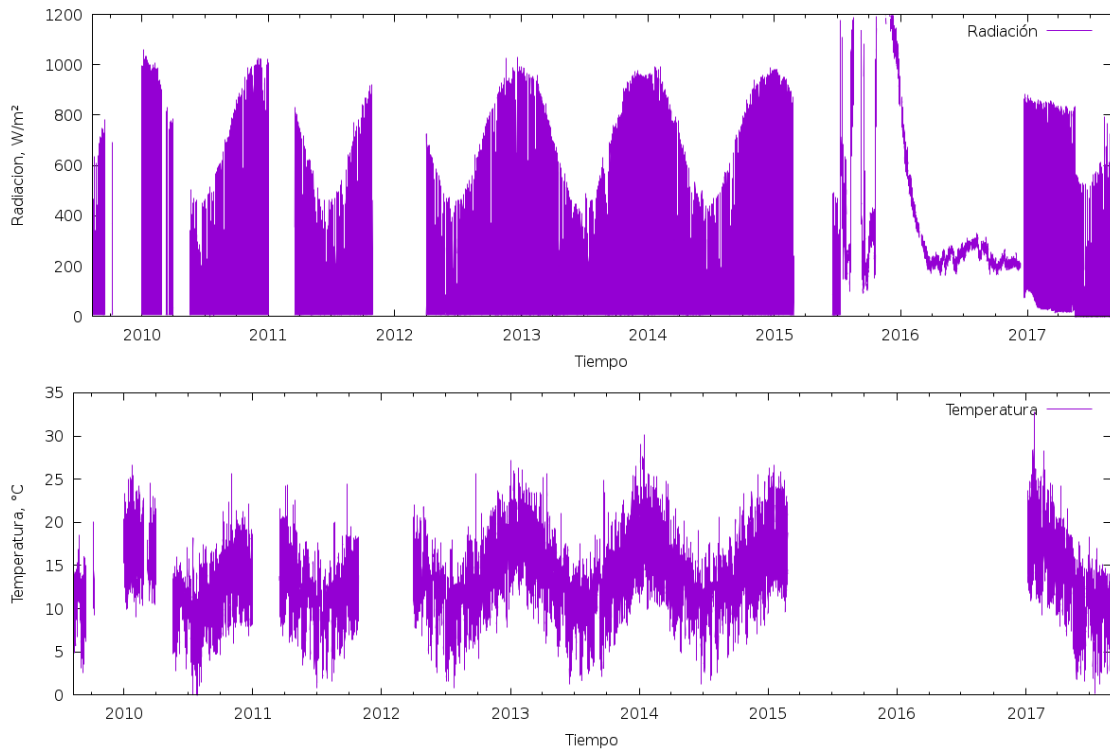
A1. Resultados 2012



A2. Resultados 2015



A3. Datos registrados en la estación de monitoreo



A4. Correlación con 2013

