



---

**Universidad de Valladolid**

Facultad de Ciencias

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

Grado en Física

**Análisis del flujo de energía  
en la superficie terrestre**

*Autor: Lucía Martínez del Río*

*Tutor/es: M<sup>a</sup> Ángeles García Pérez*

*Isidro A. Pérez Bartolomé*

# Índice

<b>Resumen/Abstract</b>	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. OBJETIVOS</b>	3
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	4
<b>4. RESULTADOS</b>	9
4.1. Datos globales	9
4.1.1. Insolación	9
4.1.1.1. Mediana	9
4.1.1.2. Rango intercuartílico	11
4.1.1.3. Índice de Yule-Kendall	12
4.1.1.4. Curtosis robusta	14
4.1.2. Radiación neta	15
4.1.2.1. Mediana	15
4.1.2.2. Rango intercuartílico	17
4.1.2.3. Índice de Yule-Kendall	18
4.1.2.4. Curtosis robusta	19
4.2. Datos mensuales	20
4.2.1. Insolación	20
4.2.1.1. Mediana	20
4.2.1.2. Rango intercuartílico	23
4.2.1.3. Índice de Yule-Kendall	25
4.2.1.4. Curtosis robusta	27
4.2.2. Radiación neta	29
4.2.2.1. Mediana	29
4.2.2.2. Rango intercuartílico	32
4.2.2.3. Índice de Yule-Kendall	34
4.2.2.4. Curtosis robusta	36
<b>5. CONCLUSIONES</b>	39
<b>6. FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO</b>	40
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	41

## Índice de figuras

1. Base de datos. . . . .	4
2. Fichero de datos. . . . .	5
3. Representación gráfica de los diferentes tipos de asimetría. . . . .	7
4. a) Mediana insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia mediana insolación tierra y mar. . . . .	9
5. a) Rango intercuartílico insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia rango intercuartílico insolación tierra y mar. . . . .	11
6. a) Índice de Yule-Kendall insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia índice Yule-Kendall insolación tierra y mar. . . . .	13
7. a) Curtosis robusta insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia curtosis robusta insolación tierra y mar. . . . .	14
8. a) Mediana radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia mediana radiación neta tierra y mar. . . . .	16
9. a) Rango intercuartílico radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia rango intercuartílico radiación neta tierra y mar. . . . .	17
10. a) Índice Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia índice Yule-Kendall radiación neta tierra y mar. . . . .	18
11. a) Curtosis robusta radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia curtosis robusta radiación neta tierra y mar. . . . .	19
12. Mediana insolación total, tierra y mar . . . . .	21
13. a) Fotografía de la Tierra en los equinoccios de primavera y de otoño. . . . .	
b) Fotografía de la Tierra en los solsticios de verano y de invierno. . . . .	21
14. Diferencia mediana insolación tierra y mar. . . . .	23
15. Rango intercuartílico insolación total, tierra y mar. . . . .	24
16. Diferencia rango intercuartílico insolación tierra y mar. . . . .	25
17. Índice de Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar. . . . .	26
18. Diferencia índice Yule-Kendall insolación tierra y mar. . . . .	27
19. Curtosis robusta insolación total, tierra y mar. . . . .	28
20. Diferencia curtosis robusta insolación tierra y mar. . . . .	29
21. Mediana radiación neta total, tierra y mar. . . . .	30
22. Diferencia mediana radiación neta tierra y mar. . . . .	31
23. Rango intercuartílico radiación neta total, tierra y mar. . . . .	33
24. Diferencia rango intercuartílico radiación neta tierra y mar. . . . .	34
25. Índice de Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar. . . . .	35
26. Diferencia índice Yule-Kendall radiación neta tierra y mar. . . . .	36
27. Curtosis robusta radiación neta total, tierra y mar. . . . .	37
28. Diferencia curtosis robusta radiación neta tierra y mar. . . . .	38

# Resumen

La insolación y la radiación neta son dos variables poco estudiadas que tienen un papel principal en los procesos agrícolas, energéticos, hidrológicos...

En este trabajo vamos a analizar el comportamiento global de ambas en la superficie terrestre y observar su evolución temporal. Para ello se ha realizado un tratamiento estadístico de los datos obtenidos de la NEO (NASA Earth Observations) que incluye la mediana, rango intercuartílico, índice de Yule-Kendall y curtosis robusta, desde julio de 2006 hasta junio de 2020, tanto a nivel global como mensual.

Además, se va a realizar este mismo análisis diferenciando la superficie escogida, es decir, vamos a realizar un estudio para la tierra y otro para el mar, y se analizará su contraste.

**Palabras clave:** Insolación, radiación neta, NEO, NASA Earth Observations, mediana, rango intercuartílico, índice de Yule-Kendall, curtosis robusta, global, evolución temporal, tierra, mar.

# Abstract

Insolation and net radiation are two variables understudied that have a main role in agricultural, energetic, hydrological... processes.

In this project we are going to analyse its global behaviour and temporal evolution. In order to do so we have done a statistical treatment of the Earth's surface data obtained from the NEO (NASA Earth Observations) that includes the median, interquartile range, Yule-Kendall index and robust kurtosis, from July 2006 to June 2020, both at a global and monthly level.

Furthermore, we are going to perform this same analysis differentiating land and sea surface and we are going to analyze their contrast.

**Key words:** Insolation, net radiation, NEO, NASA Earth Observations, median, interquartile range, Yule-Kendall index, robust kurtosis, global, temporal evolution, land, sea.

# 1. INTRODUCCIÓN

Un correcto estudio de la insolación o cantidad de radiación solar que llega a la Tierra nos permite entender el tiempo, los patrones climáticos, los procesos hidrológicos, diseñar placas solares... Para ello se realizan mapas o bases de datos que recogen información sobre la radiación que escapa de la parte superior de la atmósfera terrestre o radiación reflejada. Estos datos se miden con el CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System) o Sistema de Energía Radiante de la Tierra y de las Nubes. El CERES es un experimento climatológico situado en los satélites Aqua y Terra de la NASA. Es el único proyecto cuyo principal objetivo es producir datos del balance radiativo de la Tierra a nivel mundial [1].

Parte de la radiación solar que llega a la Tierra es absorbida por los continentes, los océanos... y parte es reflejada de vuelta al espacio o absorbida por las partículas de vapor de agua, ozono, polvo... de la atmósfera. La relación entre la energía absorbida y la reflejada es lo que llamamos radiación neta y explica variaciones en la temperatura del planeta, dado que la luz absorbida se transforma en calor. El balance a nivel global debe ser nulo, de manera que la temperatura del planeta se mantenga estable, pero en diferentes zonas geográficas o latitudes este balance va a ser negativo o positivo, lo cual da sentido a los patrones climáticos [2]. Estas diferencias geográficas se deben a los movimientos de traslación y rotación, la forma y la declinación de la Tierra. La Tierra sigue un movimiento de traslación elíptico con un periodo de 365 días, 6 horas y 9 minutos [3]. Al ser el movimiento elíptico, durante cada revolución se alcanza el afelio, momento de mayor distancia entre la Tierra y el Sol, y el perihelio, la distancia entre la Tierra y el Sol es mínima. Esta diferencia en la separación provoca una variación en la radiación solar recibida [3]. Por otro lado, la rotación afecta a la velocidad y dirección del viento, la humedad... y por tanto a la insolación. La declinación de la Tierra es de  $23.45^\circ$ . Esto provoca una variación en la latitud de incidencia de los rayos solares, dependiendo de la localización de la Tierra en la elipse que forma alrededor del Sol. Los rayos incidirán de forma perpendicular a los trópicos en los solsticios y al ecuador en los equinoccios. La inclinación de los rayos solares afecta al calor que estos aportan a la atmósfera, es decir, cuanto mayor es la inclinación mayor será la componente horizontal de la intensidad de radiación y más atmósfera tienen que atravesar, por lo que los rayos calentarán menos [4]. Al ser la Tierra esférica, la insolación va a ser mayor en las zonas ecuatoriales que en los polos.

La relación o el porcentaje de la radiación solar reflejada por la Tierra (incluida la atmósfera) respecto a la radiación solar incidente, es decir, su reflectancia para las longitudes de onda del espectro solar, se denomina albedo [5] y depende principalmente del tipo de superficie, por lo que a lo largo del trabajo vamos a dividir el estudio en los albedos de la tierra y el océano por separado. Es fundamental para controlar el flujo de energía en la superficie de la Tierra. Cuando el sol ilumina la superficie de la Tierra, la luz llega de diferentes ángulos y se refleja en numerosas superficies. El albedo varía con la latitud, el ángulo de incidencia, la longitud de onda de la radiación incidente... por lo que realmente cada superficie tiene varios albedos que se combinan con la función de distribución de reflectancia bidireccional [6]. Por último, es importante destacar que dentro del

estudio de la tierra encontramos muchos tipos de superficie con albedos muy distantes. Las superficies claras, como la nieve de los polos, tienen albedos elevados y reflejan la mayor parte de la radiación recibida, mientras que las superficies más oscuras, como el asfalto, tienen albedos mucho más bajos, lo cual resulta en mayores temperaturas.

Como ya hemos mencionado, la temperatura de la Tierra se mantiene aproximadamente constante, pero cualquier cambio que afecta a la energía que incide o abandona la Tierra provoca un desequilibrio en el balance energético causando una variación en la temperatura del planeta. Estos cambios pueden estar producidos por la naturaleza, como las explosiones volcánicas y las consiguientes partículas que permanecen en la atmósfera, o por el hombre, como los aerosoles o el aumento de la concentración de  $\text{CO}_2$ . Además de partículas que se encuentran en la atmósfera, el balance energético también se ve afectado por otros factores, como pueden ser el deshielo de los polos, que provoca una disminución en una de las superficies con mayor albedo o la deforestación, que varía también la cantidad de radiación solar reflejada [2]. Esto es lo que conocemos como calentamiento global.

Los estudios de la atmósfera son muy extensos y contienen numerosos conjuntos de datos, por lo que debemos encontrar una manera de organizarlos y sacar la mayor información posible de ellos. Además, los procesos atmosféricos no son deterministas, luego existe una incertidumbre. Vamos a conseguir organizar los datos con la estadística y dar sentido a la incertidumbre con la probabilidad [7].

Debido a la naturaleza estadística de este trabajo es importante definir los índices estadísticos que se van a utilizar y las ventajas que estos suponen en el tratamiento de datos.

Es necesario destacar dos propiedades de los métodos de análisis exploratorio de datos, la robustez y la resistencia. Estas aproximaciones no siempre son óptimas, pero tienen reducida sensibilidad a las hipótesis de la naturaleza de los datos, por lo que no se ven afectadas por pequeñas variaciones o valores desviados, más concretamente, la robustez es una insensibilidad a consideraciones particulares sobre la naturaleza del conjunto de los datos y la resistencia, la ausencia de la influencia de los datos anómalos [8].

A lo largo de este estudio vamos a utilizar 4 índices estadísticos robustos: la mediana, el rango intercuartílico, el índice de Yule-Kendall y la curtosis robusta.

## 2. OBJETIVOS

Hemos obtenido los datos de la NEO, por lo que a lo largo de este trabajo nos vamos a centrar en el análisis estadístico de dichos datos y la representación gráfica de la latitud frente a diferentes índices estadísticos. De esta manera vamos a estudiar la insolación y la radiación neta en todo el globo terráqueo.

Podemos por tanto fijar los siguientes objetivos:

- Estudiar la mediana y el rango intercuartílico de la insolación y radiación neta global en función de la latitud en el periodo de julio de 2006 a junio de 2020.
- Estudiar el índice de Yule-Kendall y la curtosis robusta de la insolación y radiación neta global por intervalos de  $20^\circ$  centrados en el ecuador en el periodo de julio de 2006 a junio de 2020.
- Estudiar la mediana de la insolación y radiación neta mensual y el rango intercuartílico de la insolación en función de la latitud en el periodo de julio de 2006 a junio de 2020, con el objetivo de apreciar una evolución temporal a lo largo del año de los diferentes índices estadísticos.
- Estudiar el rango intercuartílico de la radiación neta mensual y el índice de Yule-Kendall y la curtosis robusta de la insolación y radiación neta mensual, por intervalos de  $20^\circ$  centrados en el ecuador en el periodo de julio de 2006 a junio de 2020, con el objetivo de apreciar la evolución temporal a lo largo del año.
- Estudiar el contraste entre los valores de tierra y mar de la insolación y de la radiación neta para los cuatro índices estadísticos y obtener conclusiones a partir del gran número de datos con el que se ha trabajado y sus posibles aplicaciones futuras.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el estudio se han descargado los datos de la base de datos de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio o NASA [9], cuyo encabezado observamos en la Figura 1.

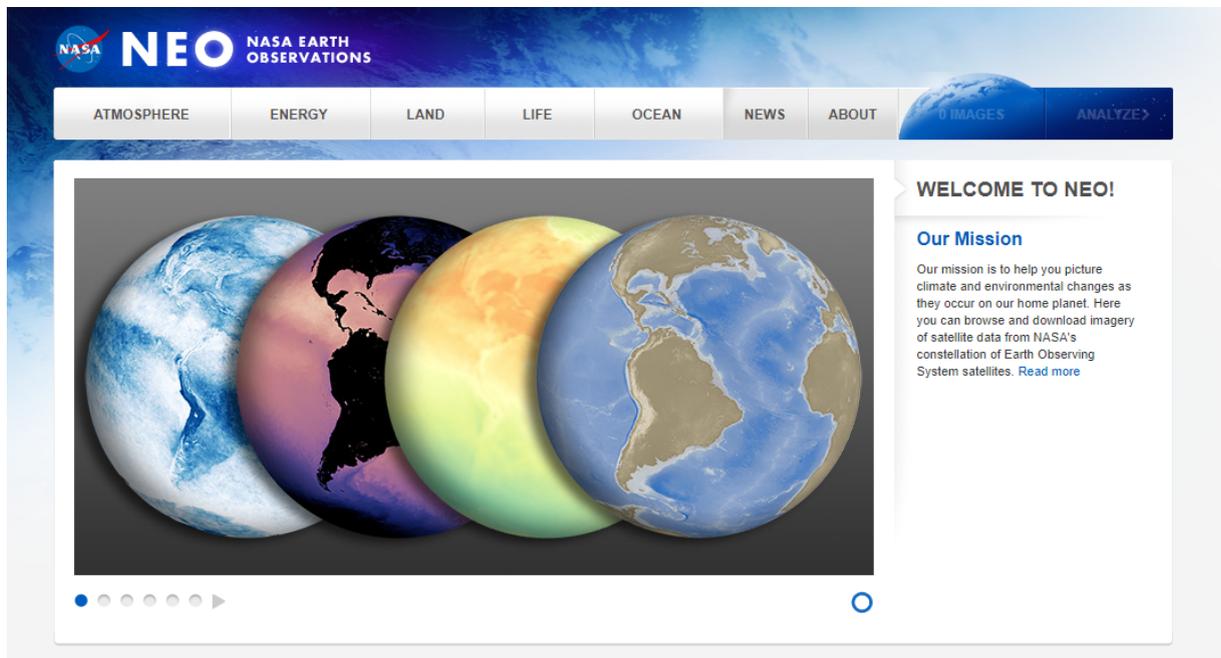


Figura 1: Base de datos.

(Tomada de NASA Earth Observations (NEO), [9])

Para ello buscamos dentro del apartado de energía los subapartados insolación [10] y radiación neta [11]. En cada uno de estos subapartados podemos descargar los datos como ficheros CSV para Excel, un fichero por mes desde julio de 2006 hasta junio de 2020. En dichos ficheros encontramos los valores de insolación o radiación neta para todas las longitudes y latitudes separadas 0.25°.

Obtenemos así una tabla que nos da el valor de la insolación o radiación neta para cada longitud y latitud del planeta, desde los 179.875° oeste a los 179.875° este y desde los 89.875° sur hasta los 89.875° norte, cada 15', como podemos observar en la Figura 2.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data structure:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	lat/lon	-179,875	-179,625	-179,375	-179,125	-178,875	-178,625	-178,375	-178,125	-177,875	-177,625	-177,375	-177,125	-176,875	-176,625	-176,375
2	89,875	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61
3	89,625	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61	361,61
4	89,375	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45	359,45
5	89,125	355,12	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95	352,95
6	88,875	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62	348,62
7	88,625	344,29	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13
8	88,375	342,13	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96
9	88,125	344,29	342,13	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96
10	87,875	344,29	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13
11	87,625	344,29	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13	342,13
12	87,375	342,13	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96	339,96
13	87,125	335,63	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46
14	86,875	331,3	329,13	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97
15	86,625	324,8	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64
16	86,375	322,64	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47	320,47
17	86,125	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64
18	85,875	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64	322,64
19	85,625	322,64	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8	324,8
20	85,375	324,8	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97	326,97
21	85,125	324,8	326,97	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13
22	84,875	326,97	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13	329,13
23	84,625	329,13	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3	331,3
24	84,375	329,13	331,3	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46
25	84,125	331,3	331,3	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46	333,46

Figura 2: Fichero de datos.

Queremos estudiar la radiación neta o insolación en función de la latitud, por lo que calculamos la mediana de los valores medidos en todas las longitudes, obteniendo así una única columna de valores para cada mes.

Vamos a tener 3 tipos de archivos (total, tierra y mar) que vamos a estudiar a nivel global y mensual. Para los datos totales simplemente usaremos las columnas que hemos obtenido al hacer las medianas. El estudio global incluye todas y el mensual analiza por separado cada mes, es decir, trataremos todos los meses de enero, de febrero...por separado. Para el estudio de tierra y mar debemos buscar en el apartado land (tierra) el subapartado topografía y descargar el fichero CSV para Excel con datos cada 0.25°. Este fichero nos permite separar los datos de tierra de los de mar, de manera que podemos realizar el estudio de ambas por separado.

A continuación calculamos cada índice estadístico, obteniendo así cuatro columnas de valores por cada conjunto de datos.

### Análisis estadístico

El análisis estadístico se ha realizado siguiendo Wilks (2019) [8] en el caso de la mediana y rango intercuartílico, Sachs (1982) [12] en el caso de la curtosis robusta, y Manzano (2001) [13] en el caso del índice de Yule-Kendall.

## La mediana

Para definir la mediana debemos conocer el concepto de cuantil.

Los cuantiles o fractiles dividen los datos en tantos intervalos regulares como su nombre indique. De esta manera obtenemos los percentiles, que dividen los datos en cien intervalos iguales, los deciles, en diez intervalos, los cuartiles, en cuatro...

Para determinar los cuantiles es necesario colocar los datos en orden.

La mediana se corresponde con el valor central de los datos en caso de que estos sean impares y con la media de los dos centrales en caso de que sean pares, es decir,

$$q_{0.5} = x_{([n+1]/2)} \quad n \text{ impar} \quad (1)$$

$$q_{0.5} = \frac{x_{(n/2)} + x_{([n/2]+1)}}{2} \quad n \text{ par} \quad (2)$$

y tiene las mismas unidades que los datos.

## El rango intercuartílico o RIC

El rango intercuartílico es una medida robusta y resistente que nos da información de la dispersión o separación de los datos respecto a un valor promedio.

Mide la diferencia entre el tercer y el primer cuartil, y tiene por tanto las mismas unidades que los datos.

$$RIC = q_{0.75} - q_{0.25} \quad (3)$$

## El índice de Yule-Kendall

El índice de Yule-Kendall es una medida resistente y robusta que nos aporta información sobre la simetría de los datos.

Compara el rango entre la mediana y los otros dos cuartiles,  $q_{0.25}$  y  $q_{0.75}$ .

$$\gamma_{YK} = \frac{q_{0.25} - 2q_{0.5} + q_{0.75}}{RIC} \quad (4)$$

Podemos ver que no tiene unidades.

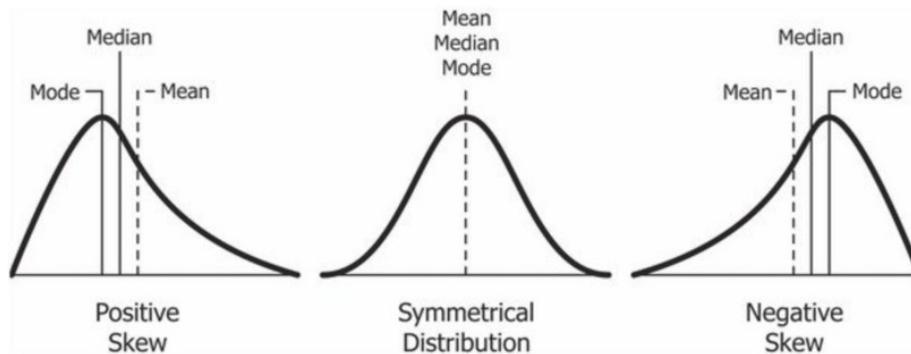


Figura 3: Representación gráfica de los diferentes tipos de asimetría.

(Tomada de Garner, 2015, [14])

Su valor varía entre  $\gamma_{YK} = 1$  cuando la asimetría positiva es lo suficientemente fuerte,  $q_{0.25} = q_{0.5}$ , y  $\gamma_{YK} = -1$  cuando lo es la asimetría negativa,  $q_{0.5} = q_{0.75}$ .

### La curtosis robusta

La curtosis es un indicador de aplanamiento respecto a una distribución normal o mesocúrtica en la cual  $C_R = 0.263$ .

$$C_R = \frac{q_{0.75} - q_{0.25}}{2(dz_{0.9} - dz_{0.1})} \quad (5)$$

No tiene unidades.

Cuando  $C_R > 0.263$  la distribución es platicúrtica, es decir, los valores están poco concentrados en torno a la mediana y la curva tiene poca altura.

Cuando  $C_R < 0.263$  la distribución es leptocúrtica, es decir, los valores están muy concentrados en torno a la mediana y la curva tiene mucha altura.

## Representación gráfica

Representamos cada columna de datos calculada de manera que saquemos de ella la máxima información posible, teniendo en cuenta la variabilidad de los mismos. Además, vamos a representar la diferencia entre los datos de tierra y los de mar, de manera que podamos apreciar la variación de dichos valores para diferentes latitudes.

Para ello vamos a utilizar 3 tipos de representaciones:

## Lineal

Representamos la latitud en el eje de ordenadas y la mediana o RIC en el eje de abscisas, de manera que podemos apreciar a simple vista la variación de los índices en diferentes zonas del planeta.

## Diagrama de cajas y bigotes

Este tipo de gráfico nos ofrece más información que la representación lineal.

Dividimos el estudio en intervalos de  $20^\circ$  centrados en el ecuador que representaremos en el eje de ordenadas y en el eje de abscisas situamos los índices estadísticos. En cada intervalo representamos tres cajas referidas a los datos totales, de tierra o de mar.

El diagrama de cajas o bigotes nos da mucha información sobre el conjunto de datos que estamos estudiando. Los extremos de la caja representan el primer y el tercer cuartil, lo cual permite apreciar a simple vista el rango intercuartílico, y la línea central representa la mediana. Los bigotes son las líneas que sobresalen de la caja y tienen su límite a una distancia de 1.5 veces el rango intercuartílico.

$$L_{Inferior} = Q_1 - 1.5RIC \quad (6)$$

$$L_{Superior} = Q_3 + 1.5RIC \quad (7)$$

Si algún dato se encuentra a una distancia mayor se representa mediante un círculo que representa un valor atípico [15].

## Dispersión

Dividimos la latitud en 9 intervalos de  $20^\circ$  centrados en el ecuador y calculamos los índices de dichos intervalos, obteniendo así un punto para cada tipo de datos en cada intervalo.

## 4. RESULTADOS

Con los datos descargados calculamos los diferentes índices estadísticos de manera global y diferenciando los meses y procedemos a realizar las representaciones gráficas más adecuadas dependiendo del índice que estemos estudiando.

### 4.1. Datos globales

En este apartado vamos a comentar los resultados obtenidos en las diferentes latitudes y hemisferios, así como comparar los resultados de las variables diferenciando en el estudio total, de la tierra y del mar.

#### 4.1.1. Insolación

Calculamos los 4 índices estadísticos con los datos globales descargados.

##### 4.1.1.1. Mediana

Representamos la latitud en función de la mediana calculada y la diferencia entre la curva de tierra y la de mar, Figuras 4 a y b, respectivamente.

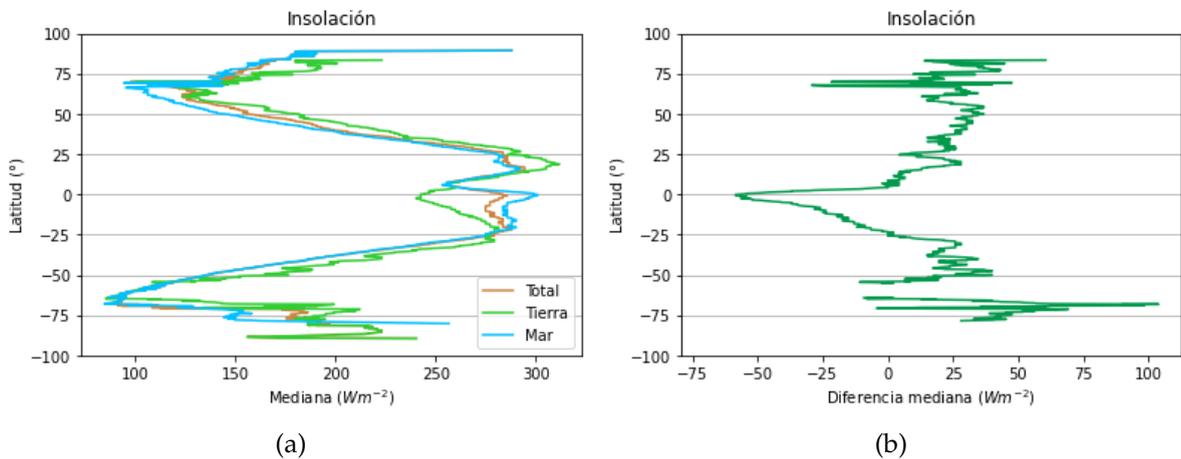


Figura 4: a) Mediana insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia mediana insolación tierra y mar.

Comenzamos estudiando la mediana de la insolación total, tierra y mar de los datos globales, Figura 4a.

Para comparar las diferentes zonas vamos a dividir el estudio por latitudes, empezando desde el polo norte y acabando en el sur.

A nivel global, es decir sin diferenciar la topografía, podemos apreciar valores muy altos, de alrededor de  $288 \text{ W/m}^2$ , en el polo norte que decrecen muy rápidamente conforme lo hace la latitud. A partir de los  $88^\circ$  la curva decrece más lentamente y alcanza un mínimo relativo a  $70^\circ$ . Comienza a aumentar lentamente hasta los  $16^\circ$ , donde la insolación tiene un valor similar al del polo norte. La curva presenta un mínimo relativo en  $7^\circ$  y crece hasta el ecuador, donde presenta un máximo de  $286 \text{ W/m}^2$ . A continuación se mantiene prácticamente constante hasta los  $-21^\circ$ , que empieza a descender alcanzando los  $-68^\circ$ . Aumenta su valor hasta los  $-84^\circ$  y sufre un mínimo repentino que pasa de  $223 \text{ W/m}^2$  a  $156 \text{ W/m}^2$  a los  $-88^\circ$ .

Por último, en el polo sur aumenta su valor rápidamente, pero este es considerablemente menor al del polo norte,  $240 \text{ W/m}^2$ .

Por otro lado vamos a estudiar esta curva total comparándola con las curvas de mar y tierra.

En el polo norte se puede apreciar que la curva total y la del mar tienen la misma forma, mientras que la curva de la tierra no aparece hasta los  $83.375^\circ$ , latitud en la cual empieza a haber tierra. Las 3 curvas decrecen hasta  $70^\circ$ , a partir de esa latitud la insolación aumenta hasta los  $25^\circ$  de manera similar en las curvas de tierra y total y más lentamente en la curva de mar. Podemos observar que tierra y total presentan un máximo relativo a los  $65^\circ$  que no aparece en la curva del mar. A los  $19^\circ$  la curva de tierra presenta un pico pronunciado que no aparece en las otras dos, pero las 3 curvas decrecen de manera similar hasta los  $7^\circ$ , latitud a partir de la cual la curva de tierra sigue descendiendo, presentando un mínimo relativo a  $-2^\circ$  y las de mar y total aumentan, apareciendo así un máximo absoluto de  $300 \text{ W/m}^2$  en la curva de mar y uno relativo de  $286 \text{ W/m}^2$  en la curva total. La curva de tierra aumenta y la de mar y la total se mantienen constantes hasta  $-21^\circ$ , donde empiezan a disminuir alcanzando mínimos absolutos en torno a  $-65^\circ$ . Las 3 curvas aumentan hasta  $-72^\circ$ , donde mar y total presentan 2 mínimos relativos, de  $158 \text{ W/m}^2$  y  $186 \text{ W/m}^2$ , seguidos de dos mínimos relativos de  $144 \text{ W/m}^2$  y  $175 \text{ W/m}^2$  respectivamente, a  $-78^\circ$ . Es importante destacar que la curva de tierra es discontinua entre  $-55.125^\circ$  y  $-70.875^\circ$ , dado que no hay tierra en todo el paralelo.

A partir de  $-78.375^\circ$  la curva de mar desaparece, dado que nos encontramos en la Antártida. Al igual que en el polo norte no había curva de tierra, esto se debe a que bajo el hielo del polo sur se encuentra la Antártida, un continente. Sin embargo, en el polo norte no había curva de tierra ya que es únicamente una gran masa de hielo que flota sobre el océano. Por tanto a partir de  $-86^\circ$  la curva de tierra y la de mar son la misma.

Observamos ahora la gráfica que compara las curvas de tierra y mar, Figura [4b](#).

Podemos ver a simple vista que las mayores diferencias entre las dos curvas se encuentran en el ecuador y en los círculos polares.

En el ecuador los valores de tierra son menores que los de mar, por lo que la diferencia es negativa y alcanza valores superiores a  $-50 \text{ W/m}^2$ , al igual que en el círculo polar ártico, donde los valores son superiores a  $-25 \text{ W/m}^2$ . En cambio, en el círculo polar antártico los valores de tierra son superiores a los de mar y se alcanzan cifras superiores a  $100 \text{ W/m}^2$ .

#### 4.1.1.2. Rango intercuartílico

Representamos la latitud en función del rango intercuartílico y la diferencia entre la curva de tierra y la de mar, Figuras 5 a y b.

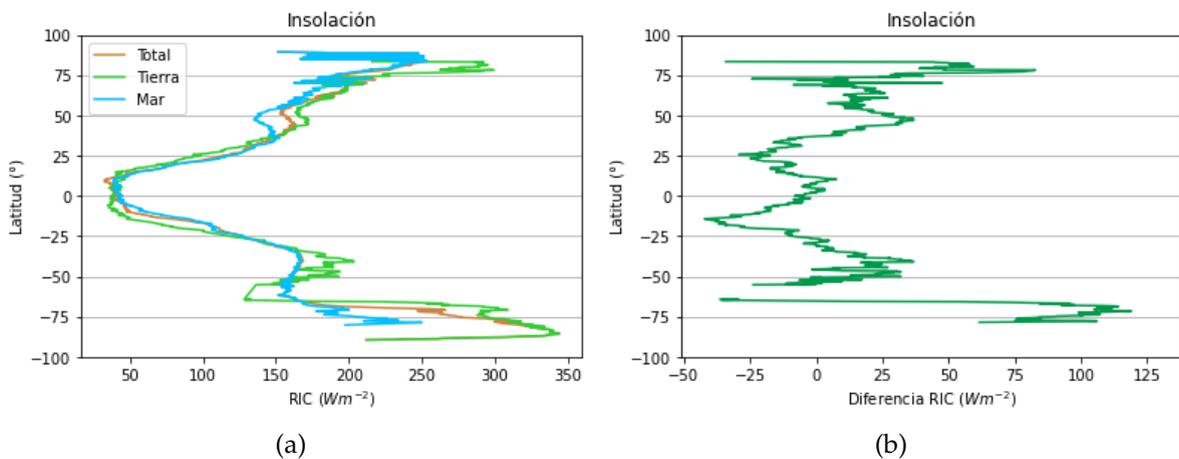


Figura 5: a) Rango intercuartílico insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia rango intercuartílico insolación tierra y mar.

Si observamos la Figura 5a, vemos que, a nivel global, la curva tiene una tendencia contraria a la de la mediana, es decir, mientras que la mediana alcanzaba máximos de insolación en el ecuador y en los polos y tenía una tendencia creciente a partir de los  $70^\circ$  el rango intercuartílico presenta mínimos en el ecuador y los polos, debido a la similitud de los cuartiles superiores e inferiores.

En el polo norte apreciamos un mínimo relativo de  $151,58 \text{ W/m}^2$  que aumenta rápidamente hasta  $250 \text{ W/m}^2$ . Los valores del RIC presentan varias oscilaciones entre  $166 \text{ W/m}^2$  y  $254 \text{ W/m}^2$  hasta  $83^\circ$ , latitud a partir de la cual los valores decrecen de manera más uniforme. A  $72^\circ$  el RIC aumenta repentinamente hasta  $216 \text{ W/m}^2$  y a partir de ahí su valor decrece hasta un mínimo absoluto de  $32,5 \text{ W/m}^2$  a  $9^\circ$ . Durante esta disminución podemos apreciar un mínimo relativo a  $53^\circ$ . La curva se mantiene prácticamente constante hasta  $-10^\circ$ , variando el RIC  $15 \text{ W/m}^2$ , y a partir de ahí crece hasta alcanzar un máximo relativo a  $-37^\circ$ . Decrece hasta  $-61^\circ$ , donde alcanza un mínimo de  $154 \text{ W/m}^2$  y a partir de esa latitud crece hasta presentar un máximo absoluto de  $340 \text{ W/m}^2$  a  $-85^\circ$ . En el polo sur presenta un mínimo relativo de  $212 \text{ W/m}^2$ .

Comparamos ahora con las curvas de mar y tierra.

Al igual que en la mediana, sabemos que las curvas de mar y total van a ser idénticas hasta  $-83,375^\circ$ , cuando aparecen los primeros valores de tierra. Estos valores alcanzan rápidamente un máximo relativo de  $300 \text{ W/m}^2$ . A partir de ese máximo relativo la curva, al igual que la del mar, sigue una tendencia similar a la total, en la cual desciende rápidamente hasta  $72^\circ$ , donde las 3 muestran un máximo relativo de valores similares y comienzan a disminuir suavemente hasta alcanzar mínimos absolutos. Durante esta disminución ambas, la curva de mar y de tierra, representan un mínimo relativo similar al de la curva total, pero de valores inferiores en el caso del mar y superiores en el de tierra. Los mínimos absolutos se alcanzan en el caso del mar en torno a  $10^\circ$ , con  $39 \text{ W/m}^2$ , y en el caso de la tierra en  $-5^\circ$ , con  $36 \text{ W/m}^2$ .

A partir del ecuador las curvas de mar y total presentan valores prácticamente idénticos hasta  $-70^\circ$ , donde la curva de mar desciende hasta  $180 \text{ W/m}^2$  y aumenta hasta presentar un máximo relativo de  $250 \text{ W/m}^2$  en  $-78^\circ$ .

Por otro lado, la curva de tierra aumenta desde el ecuador hasta presentar un máximo relativo en  $-39^\circ$ , latitud a partir de la cual disminuye. Como ya hemos mencionado, no hay valores de tierra entre  $-55,125^\circ$  y  $-64,625^\circ$ . A partir de  $-64,625^\circ$  los valores de la curva de tierra aumentan, presentando un máximo relativo en  $-71^\circ$  y siendo idénticos a los de la curva total a partir de  $-78,375^\circ$ .

Si nos fijamos ahora en la Figura 5b, podemos observar que hay 3 máximos relativos alrededor de  $\pm 50^\circ$  y  $10^\circ$ . Hay además 2 máximos en los polos, siendo el máximo del polo sur absoluto y alcanzando casi  $125 \text{ W/m}^2$ . Por último, se puede apreciar que, excepto en el máximo de entorno al ecuador, todos los datos entre  $-25^\circ$  y  $40^\circ$  son negativos, es decir, los valores de mar son superiores a los de tierra.

### 4.1.1.3. Índice de Yule-Kendall

En este caso obtenemos más información con una representación de cajas y bigotes que con una gráfica lineal, por lo que vamos a representar la latitud, dividiendo el estudio en 9 intervalos de  $20^\circ$  centrados en el ecuador, frente al índice de Yule-Kendall, Figura 6a. Además, vamos a representar como una dispersión la diferencia entre los valores de las medianas de tierra y los valores de las medianas de mar, Figura 6b.

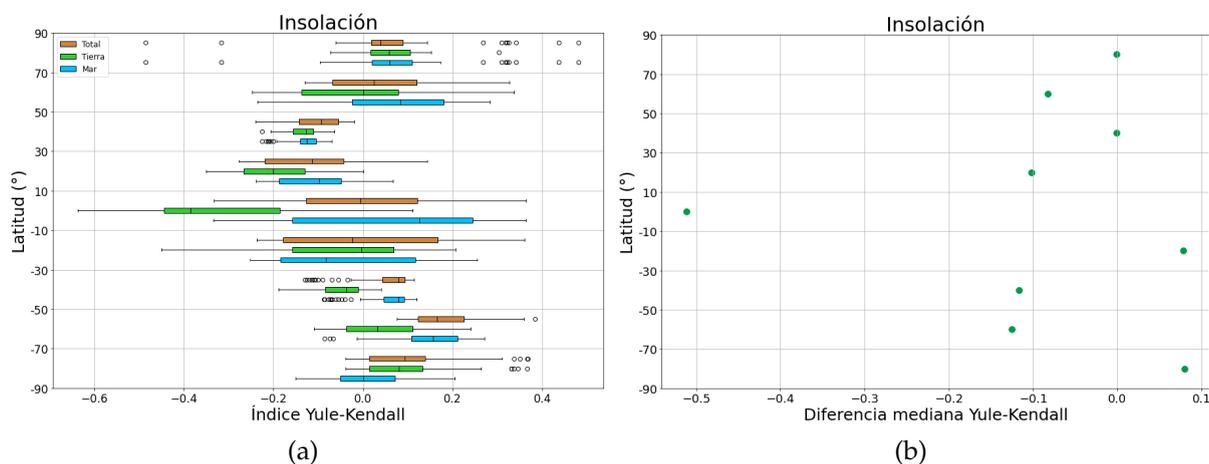


Figura 6: a) Índice de Yule-Kendall insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia índice Yule-Kendall insolación tierra y mar.

Analizamos la Figura [6a](#).

Si nos fijamos primero en la franja del ecuador vemos que es el intervalo con mayor anchura, sobrepasando  $-0,6$  y casi alcanzando  $0,4$ . Además, se puede apreciar que pese a que las medianas de tierra y mar están muy alejadas, la mediana total es prácticamente 0 y los datos de mar están más dispersos entre el 25 % y el 50 % y los de tierra entre el 50 % y el 75 %.

Para el intervalo de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ , las cajas son mucho más estrechas, existe menos variabilidad en los datos, y el valor de la mediana es muy similar en el caso total y de mar,  $-0,11$  y  $-0,1$  respectivamente, pero dista más del de tierra, cuyo valor es más pequeño,  $-0,2$ .

Si observamos la franja de  $-10^{\circ}$  a  $-30^{\circ}$ , las medianas de tierra y total son similares,  $-0,02$  y  $0$ , existe gran variabilidad en los datos y al contrario que en el anterior intervalo, es la mediana de mar la que se aleja a valores inferiores,  $-0,08$ .

En los siguientes intervalos, de  $30^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  y de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ , destaca la presencia de numerosos datos atípicos, principalmente en los datos de mar y totales del intervalo de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ . En esta franja también destaca la diferencia de las medianas con la caja de tierra, siendo el valor de las medianas de los datos totales y de mar  $0,08$  y el de la mediana de tierra  $-0,4$ .

Por último, podemos analizar los polos. En el polo norte los datos son muy simétricos y hay muchos datos atípicos que coinciden en la caja total y la de mar. En cambio, en el polo sur, los datos atípicos coinciden en las cajas total y de tierra, y la caja total, cuya mediana está centrada en 0, casi no influye, dado que apenas hay datos de tierra.

Podemos concluir que en el ecuador los datos totales son simétricos, pero que conforme nos trasladamos al hemisferio sur estos adquieren asimetría positiva, lo cual implica

que hay poca variabilidad en los valores bajos de la insolación, mientras que los valores altos están dispersos, y conforme nos trasladamos al hemisferio norte, los datos adquieren asimetría negativa, es decir, los valores altos están concentrados y los valores bajos están dispersos. Destacamos que en el intervalo de  $50^\circ$  a  $70^\circ$  la distribución de datos es prácticamente simétrica y en el polo norte vuelve a tener asimetría positiva.

Fijándonos ahora en la Figura 6b, podemos ver que destaca el valor del ecuador, de casi -0.5, estando el resto de valores situados en torno a 0. Esto significa que en el ecuador, la mediana de los valores del índice de Yule-Kendall de mar es muy superior a la mediana de los valores del índice de Yule-Kendall de tierra, mientras que en el resto de latitudes las medianas de los valores de índice de Yule-Kendall de tierra y mar son similares.

#### 4.1.1.4. Curtosis robusta

Realizamos un diagrama de cajas y bigotes, Figura 7a, y la diferencia entre los valores de las medianas de tierra y los valores de las medianas de mar, Figura 7b.

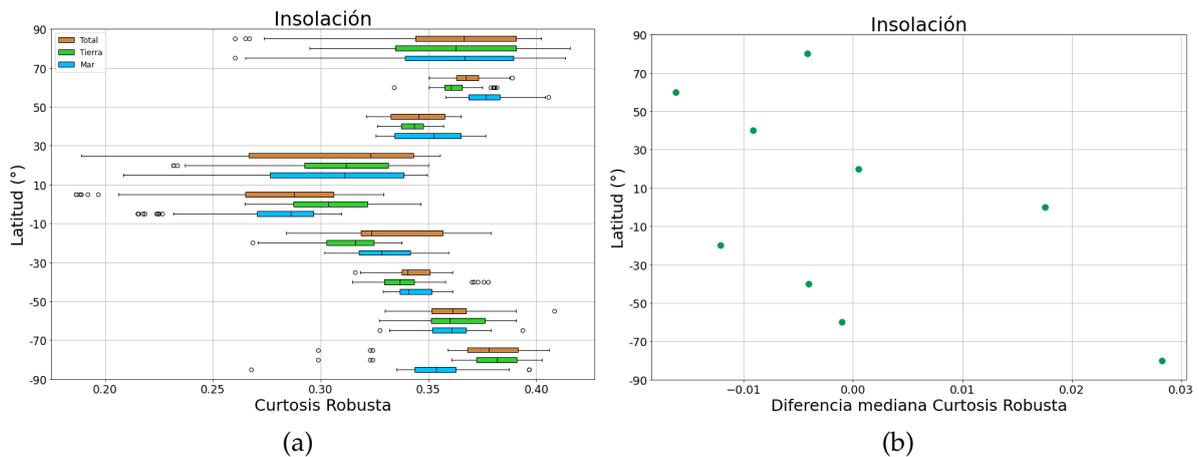


Figura 7: a) Curtosis robusta insolación total, tierra y mar global. b) Diferencia curtosis robusta insolación tierra y mar.

Estudiamos primero el diagrama de cajas de la curtosis robusta, Figura 7a.

Observando la franja del ecuador vemos que alcanza valores totales muy bajos, menores de 0,263, pero que las cajas son simétricas, es decir, la distancia entre los cuartiles y la mediana es aproximadamente la misma. También coinciden los valores de la mediana total y la del mar.

En el intervalo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ , existe una mayor variabilidad de los datos y el valor de la mediana es similar en el caso de tierra y de mar, 0.31, pero menor que el total, 0.32.

Si nos fijamos ahora en la franja de  $-10^{\circ}$  a  $-30^{\circ}$ , vemos que es muy diferente a la anterior. Las cajas son mucho más estrechas y las medianas no coinciden. Además en el caso total los datos están mucho más dispersos entre el 50 % y el 75 %.

Para los intervalos de  $30^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  y de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$  los valores son muy similares. Las cajas son mucho más estrechas y los bigotes más cortos. Destacan principalmente los numerosos datos atípicos en la gráfica de tierra del intervalos de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ .

En la franja de  $50^{\circ}$  a  $70^{\circ}$  las cajas son estrechas y existen numerosos valores atípicos para la caja de tierra, mientras que para la franja de  $-50^{\circ}$  a  $-70^{\circ}$  las medianas son prácticamente iguales en las 3 cajas, 0.36, y los bigotes simétricos.

En el polo norte observamos cajas muy anchas y simétricas con bigotes muy largos, lo que implica gran variabilidad en los datos, mientras que en el polo sur las cajas son mucho más estrechas, los bigotes cortos y en el caso total y de tierra las medianas muy similares y los mismos valores atípicos.

Finalmente, podemos concluir que excepto los bigotes inferiores de algunas cajas entre  $-10^{\circ}$  y  $30^{\circ}$  todos los datos son superiores a 0.263, luego es una distribución platycúrtica.

Si observamos ahora la diferencia entre las medianas de las cajas de tierra y las medianas de las cajas de mar para cada intervalo, Figura 7b, podemos apreciar que la mayor diferencia entre las medianas de tierra y de mar se encuentra en el polo sur, pero su valor es inferior a 0.03, por lo que los valores de tierra y de mar son muy similares en todas las latitudes, es decir, el valor de la curtosis robusta de los datos de tierra y mar es similar en todas las latitudes.

### 4.1.2. Radiación neta

#### 4.1.2.1. Mediana

Representamos la latitud en función de la mediana y la diferencia entre los valores de las medianas de tierra y las medianas de mar, Figuras 8 a y b.

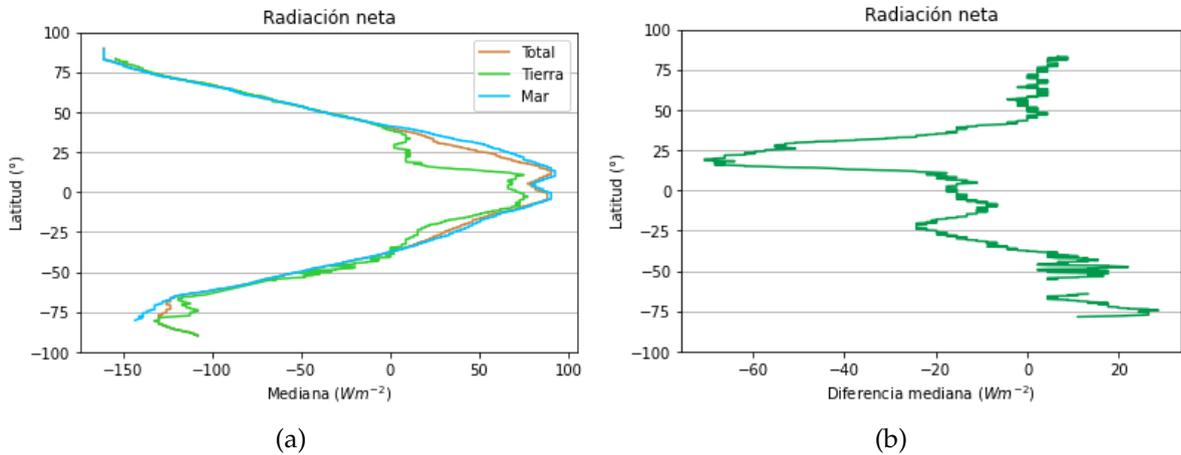


Figura 8: a) Mediana radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia mediana radiación neta tierra y mar.

A simple vista se puede observar una diferencia principal entre la gráfica que representa la latitud frente a la mediana en el caso de la insolación y la gráfica que representa la latitud frente a la radiación neta. En la insolación los valores eran siempre positivos mientras que en la radiación neta alcanzamos valores negativos a partir de  $\pm 40^\circ$ . Como ya hemos mencionado, el balance radiativo a nivel global debe ser nulo o la temperatura del planeta variaría, pero eso no implica que el balance no pueda ser positivo o negativo dependiendo la zona geográfica. Este balance depende principalmente del albedo, el cual es mucho mayor en los polos que en tierra o en el océano.

La gráfica es simétrica respecto a un eje situado ligeramente por encima del ecuador. Las curvas de mar y total coinciden a lo largo de toda la gráfica, mientras que la de tierra tiene valores menores pero sigue la misma tendencia. Destaca la franja entre  $20^\circ$  y  $40^\circ$ , en la cual los valores de la mediana de tierra se mantienen prácticamente constantes.

Encontramos un mínimo relativo de  $70.55 W/m^2$  en el eje de simetría, rodeado de dos máximos, uno absoluto en  $13^\circ$ ,  $92.66 W/m^2$ , y uno ligeramente inferior en  $-4.6^\circ$ ,  $88.19 W/m^2$ . También se puede apreciar que el mínimo absoluto está situado en el polo norte y que en el polo sur hay un mínimo relativo, pero a partir de  $-80^\circ$ , la tendencia es ascendente.

Si observamos la Figura 8b podemos ver que existe un mínimo absoluto a unos  $20^\circ$  que alcanza valores superiores a  $-60 W/m^2$  y un mínimo relativo a  $-25^\circ$  con valor de entorno a  $-20 W/m^2$ . También podemos apreciar que entre  $-40^\circ$  y  $40^\circ$  todos los valores son negativos y en el resto de latitudes son positivos, por lo que los valores de mar son mayores en dicho intervalo que los de tierra.

#### 4.1.2.2. Rango intercuartílico

Representamos la latitud en función del rango intercuartílico, Figura 9a, y la diferencia entre el rango intercuartílico de tierra y de mar, Figura 9b.

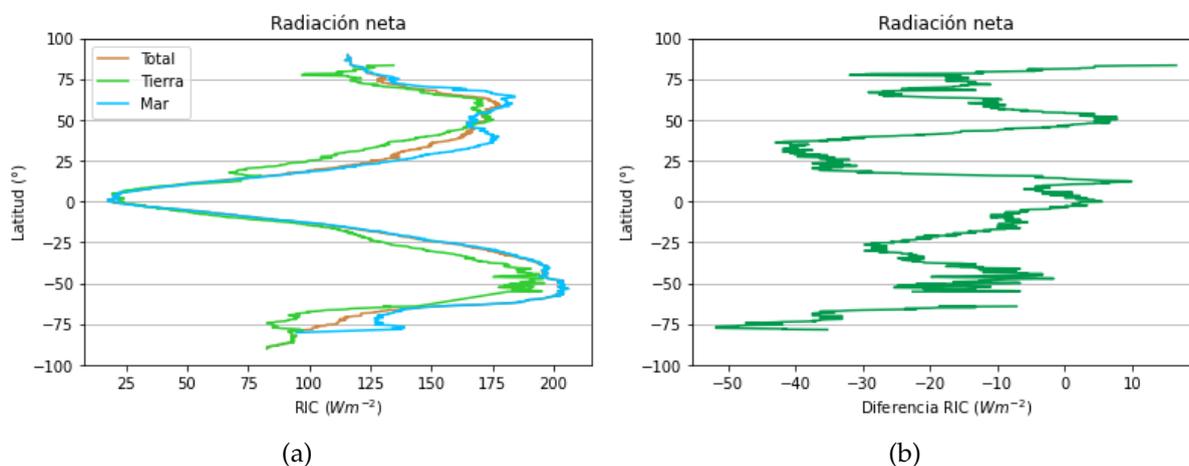


Figura 9: a) Rango intercuartílico radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia rango intercuartílico radiación neta tierra y mar.

Podemos apreciar en la Figura 9a que las curvas tienen una tendencia contraria a la de la mediana, alcanzando máximos de insolación en torno a  $\pm 50^\circ$ , un mínimo absoluto en el ecuador y dos mínimos secundarios en los polos.

La gráfica es simétrica en un eje situado en el ecuador, donde el mínimo absoluto vale  $19,85 W/m^2$  y las 3 líneas tienen la misma tendencia a pesar de que los valores de la de tierra sean inferiores. Esto tiene sentido, dado que los valores de la radiación neta son muy similares a lo largo del año en el ecuador y, por tanto, la diferencia entre el primer y tercer cuartil va a ser mínima. El máximo absoluto se encuentra a  $-51^\circ$  y vale  $204 W/m^2$ , mientras que el relativo está en  $64^\circ$  y alcanza solo  $184 W/m^2$ . Los valores más altos se encuentran en los intervalos de  $\pm 40^\circ$  a  $\pm 65^\circ$ , dado que son las zonas en las que mayor diferencia a lo largo del año se produce, debido a la declinación de la Tierra.

Por último destaca la tendencia de la curva de tierra en el polo norte, que al igual que en la mediana se producía un mínimo relativo en el polo sur, en el rango intercuartílico se produce un mínimo relativo a  $77^\circ$  con valor de  $97 W/m^2$ .

Nos fijamos en la Figura 9b y podemos apreciar que aunque la curva parece no tener correlación con la figura 9a, los mayores valores que encontramos son el del polo sur,  $-50 W/m^2$ , y el de en torno a  $40^\circ$ ,  $-40 W/m^2$ , es decir, en esas latitudes encontramos la mayor diferencia entre los valores de tierra y los de mar.

### 4.1.2.3. Índice de Yule-Kendall

Realizamos un diagrama de cajas y bigotes, Figura 10a, y una dispersión con la diferencia entre el valor de la mediana de los datos de tierra y el valor de la mediana de los datos de mar para cada intervalo, Figura 10b.

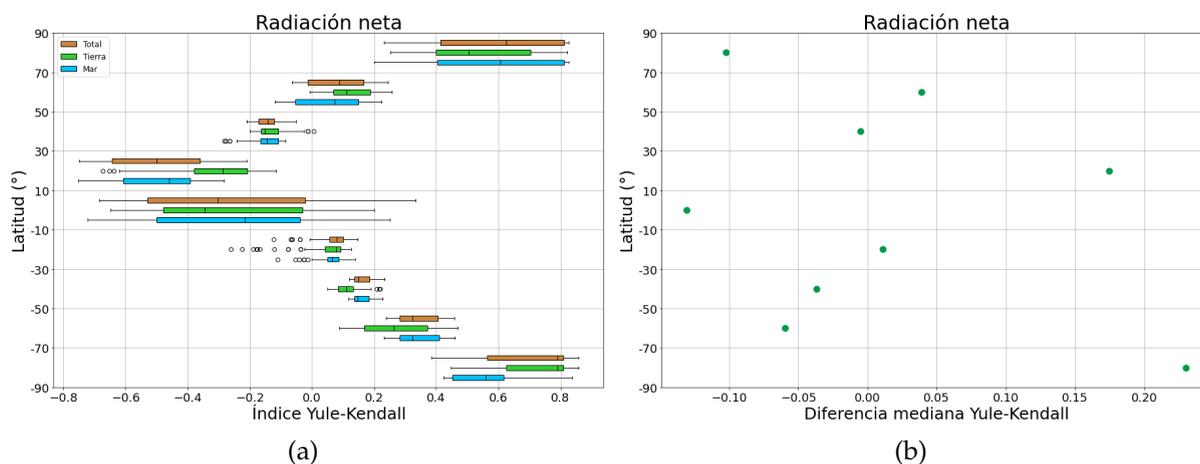


Figura 10: a) Índice Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia índice Yule-Kendall radiación neta tierra y mar.

Podemos observar que la gráfica 10a tiene simetría par respecto al ecuador. Si nos fijamos en este, vemos que es el intervalo con mayor anchura y que tanto las medianas como los cuartiles y la longitud de los bigotes tienen valores similares. Se puede apreciar que el intervalo de 10° a 30° tiene una anchura considerablemente mayor que el de -10° a -30°, debido a que el eje de simetría se encuentra ligeramente por encima del ecuador. Además vemos que en el intervalo de -10° a -30° hay muchos datos atípicos entre 0 y -0.3.

En los siguientes intervalos, de 30° a 50° y de -30° a -50°, las cajas son muy estrechas y las medianas similares, 0.15 y 0.30, mientras que en los intervalos de 50° a 70° y de -50° a -70° las cajas vuelven a ensancharse y se desplazan a valores más elevados, estando la mediana total en 0.63 y 0.79 respectivamente.

Finalmente analizamos los polos, observando que las cajas son más anchas, en ambos casos se alcanzan valores entre 0.4 y 0.85, los mayores en toda la gráfica. Además vemos que en el polo norte las medianas de mar y total coinciden y en el polo sur lo hacen la de tierra y la total, siendo los valores de mar menores.

Podemos, por tanto, concluir que entre -10° y 50° los datos totales tienen asimetría negativa, conforme la latitud aumenta las cajas se centran más en 0 y a partir de  $\pm 50^\circ$  los datos tienen asimetría positiva.

Fijándonos en la Figura 10b la mayor diferencia entre los datos de tierra y los de mar se encuentra en el polo sur y es ligeramente superior a 0.2, encontrándose el siguiente valor en el intervalo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$  y siendo este de aproximadamente 0.17. El resto de valores son inferiores a 0.1.

#### 4.1.2.4. Curtosis robusta

Realizamos un diagrama de cajas y bigotes, Figura 11a, y una dispersión con la diferencia entre el valor de la mediana de los datos de tierra y el valor de la mediana de los datos de mar para cada intervalo, Figura 11b.

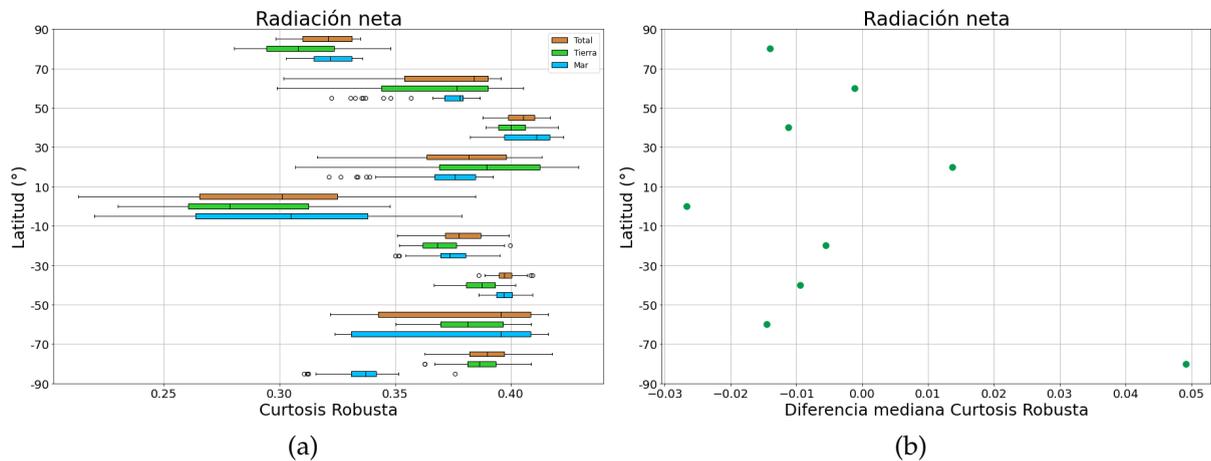


Figura 11: a) Curtosis robusta radiación neta total, tierra y mar global. b) Diferencia curtosis robusta radiación neta tierra y mar.

Podemos observar en la Figura 11a que la franja del ecuador es la única que alcanza valores menores de 0.263 y que sus cajas son las más anchas, coincidiendo las medianas de la caja total y de mar. Esto implica que la distribución es leptocúrtica. En el intervalo de  $10^\circ$  a  $30^\circ$ , las cajas son más anchas que en el intervalo de  $-10^\circ$  a  $-30^\circ$ .

Si nos fijamos ahora en los intervalos de  $30^\circ$  a  $50^\circ$  y de  $-30^\circ$  a  $-50^\circ$ , vemos que las cajas son mucho más estrechas, pero que se encuentran en valores elevados de aproximadamente 0.4.

En los intervalos de  $50^\circ$  a  $70^\circ$  y de  $-50^\circ$  a  $-70^\circ$  las cajas se ensanchan al igual que los bigotes. Destacan los numerosos valores atípicos de la caja de mar del intervalo de  $50^\circ$  a  $70^\circ$ , frente a la anchura de dicha caja en el intervalo de  $-50^\circ$  a  $-70^\circ$ . Además, coinciden los valores de la mediana y del tercer cuartil de mar y total en el intervalo de  $-50^\circ$  a  $-70^\circ$  y de la mediana de mar y tierra en el intervalo de  $-30^\circ$  a  $-70^\circ$ .

## 4 RESULTADOS

En el polo norte los valores disminuyen, las cajas se estrechan y coinciden los valores de las medianas de tierra y de mar, mientras que en el polo sur las cajas también se estrechan, pero destaca la disminución de los valores de la radiación del mar.

Los valores más destacables de las diferencias de las medianas de la radiación neta de tierra y mar, Figura 11b, son el del polo sur, el cual casi alcanza 0.05 y el de el ecuador, que es superior a 0.025. El resto de valores son inferiores a 0.015, por lo que los valores de las medianas de tierra y mar son muy similares.

### 4.2. Datos mensuales

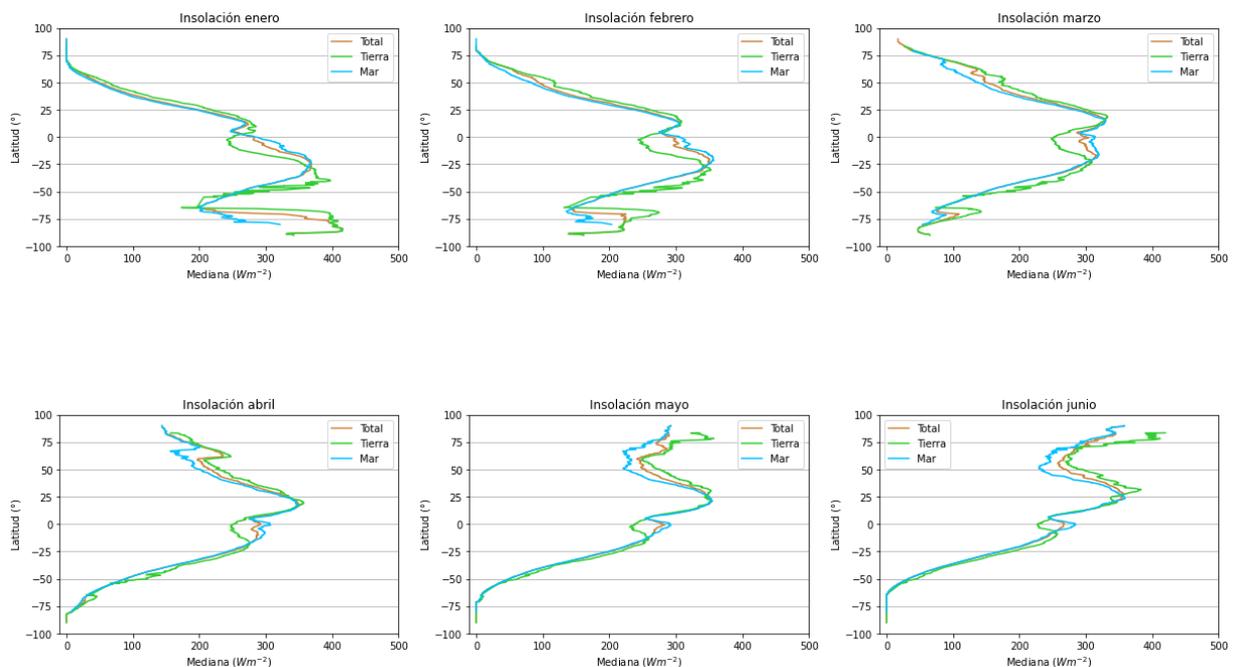
En este apartado vamos a comentar los resultados obtenidos centrándonos en las diferencias a lo largo del año. Al igual que en el caso de la insolación, vamos a comparar los resultados de las variables diferenciando en el estudio total, de la tierra y del mar.

#### 4.2.1. Insolación

Calculamos los 4 índices estadísticos con los datos mensuales descargados.

##### 4.2.1.1. Mediana

Representamos la latitud en función de la mediana calculada para cada mes, Figura 12



## 4 RESULTADOS

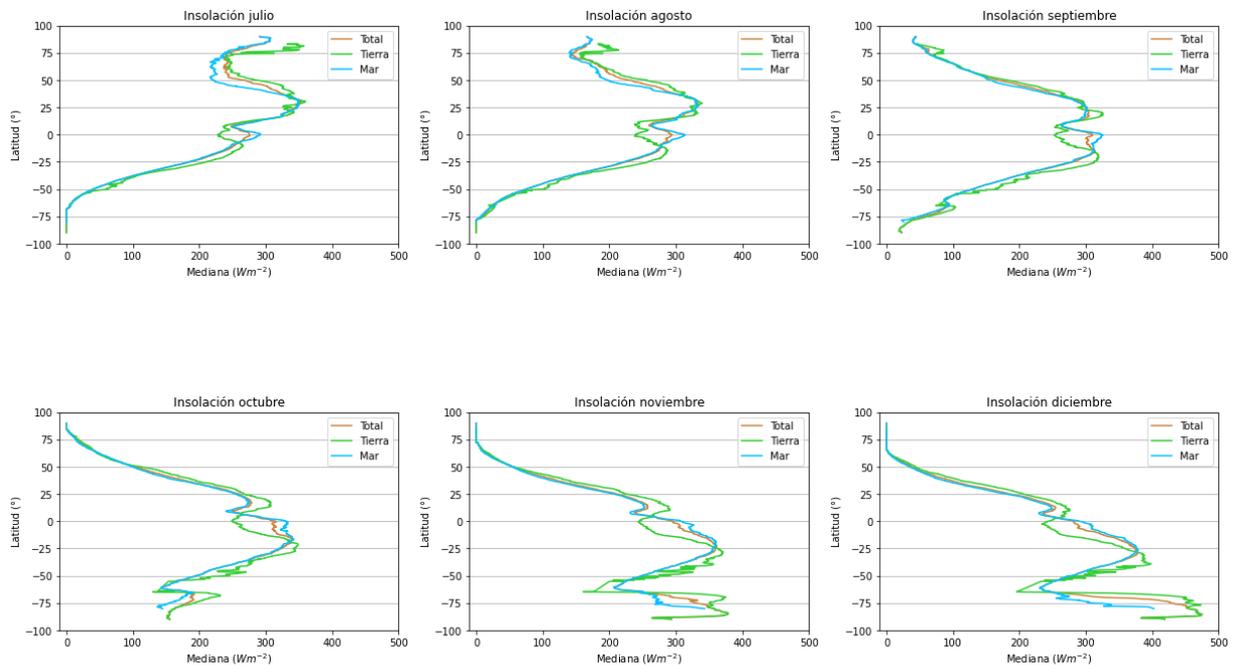


Figura 12: Mediana insolución total, tierra y mar

Observamos en la Figura 12 que la tendencia de las 3 líneas, total, tierra y mar, es similar todos los meses, por lo que nos centramos en el estudio de la evolución temporal.

A simple vista se puede apreciar que las variaciones de un mes al siguiente son suaves. Vamos a seleccionar los cuatro meses más representativos de cada estación y discutir las diferencias entre ellos. Para ello seleccionamos marzo, junio, septiembre y diciembre.

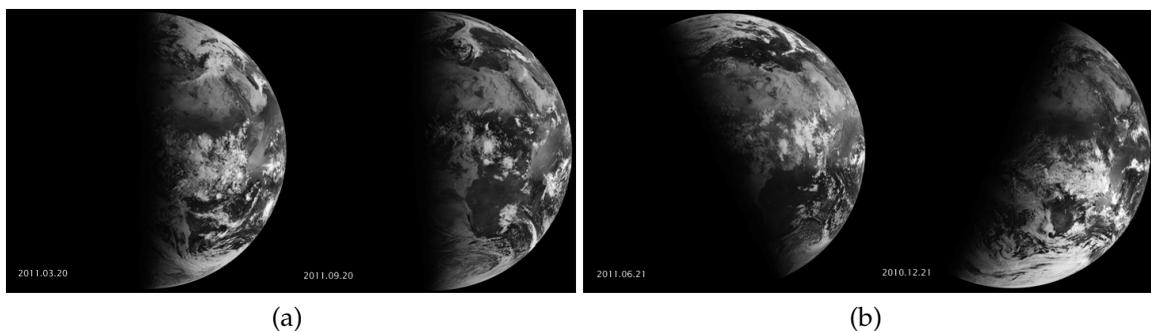


Figura 13: a) Fotografía de la Tierra en los equinoccios de primavera y de otoño.  
b) Fotografía de la Tierra en los solsticios de verano y de invierno.

(Tomada de Seeing Equinoxes and Solstices from Space , 16)

Centrándonos en marzo y septiembre apreciamos que ambas gráficas son muy similares. Nos encontramos en los meses en los que ocurren los equinoccios de primavera y otoño, Figura 13a, es decir, los momentos del año en los que el Sol está situado en el plano del ecuador celeste. Esto implica que la duración de los días y las noches sea similar y la insolación prácticamente igual en ambos hemisferios. Como podemos apreciar en la Figura 13a no hay diferencia en la insolación del hemisferio norte y el sur, lo que resulta en gráficas prácticamente simétricas respecto a un eje ligeramente superior al ecuador.

En la gráfica de septiembre las 3 líneas tienen la misma forma y valores muy similares, al igual que en la gráfica de marzo, donde los valores para la curva de mar son ligeramente menores que para las otras dos curvas, pero las 3 líneas tienen la misma tendencia. Observamos que los mínimos se encuentran en los polos, estando el mínimo absoluto de la gráfica de marzo en el polo norte y el de la gráfica de septiembre en el polo sur. En ambas, los máximos se encuentran entre  $0^\circ$  y  $\pm 25^\circ$ ,  $325.88 \text{ W/m}^2$  en la gráfica de septiembre y  $333.46 \text{ W/m}^2$  en la gráficas de marzo, y hay un mínimo relativo en el eje de simetría.

Fijándonos ahora en junio y diciembre vemos que ambas gráficas tienen simetría impar. Nos encontramos en los meses en los que ocurre el solsticio de verano y de invierno, Figura 13b, es decir, el momento del año en el que la declinación de la Tierra es máxima frente al ecuador celeste. Esto implica que la duración de los días o de las noches sea máxima, dependiendo el solsticio, y la insolación muy diferente en cada hemisferio.

Vemos en la Figura 13b que en junio la radiación solar incide directamente en el hemisferio norte y que en diciembre lo hace en el hemisferio sur. Esto da explicación a las estaciones y a la diferente duración relativa entre días y noches. También podemos apreciar que en junio la radiación solar no llega al polo sur y en diciembre no llega al polo norte.

En ambas gráficas las 3 líneas tienen la misma tendencia y valores muy similares.

Observamos que se producen 2 máximos, uno en  $\pm 25^\circ$ ,  $383 \text{ W/m}^2$  para junio y  $390 \text{ W/m}^2$  para diciembre, y otro en el polo norte,  $474 \text{ W/m}^2$ , o polo sur,  $420 \text{ W/m}^2$ . Además, comprobamos en la gráfica que tal como veíamos en la Figura 13b los datos desde  $\pm 60^\circ$  hasta el polo son nulos. Los mínimos se encuentran en los polos, estando el mínimo absoluto de la gráfica de marzo en el polo norte y el de la gráfica de septiembre en el polo sur.

Vamos a representar ahora la evolución temporal de la diferencia de las medianas de tierra y de mar en el ecuador y a  $\pm 30^\circ$ , Figura 14.

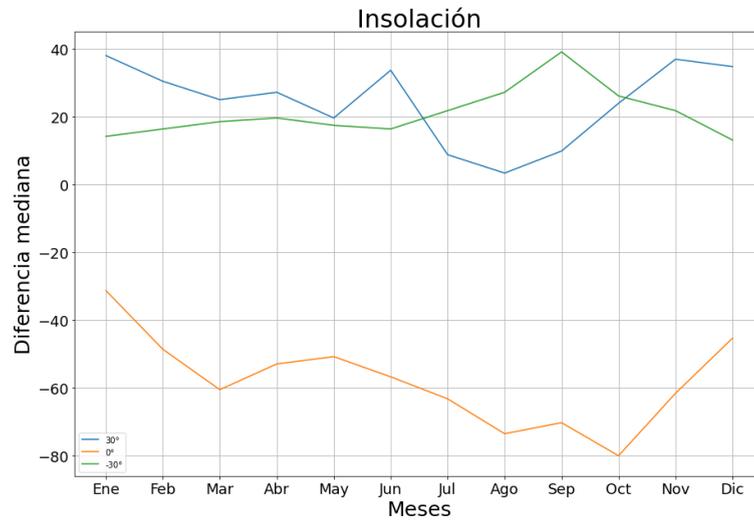


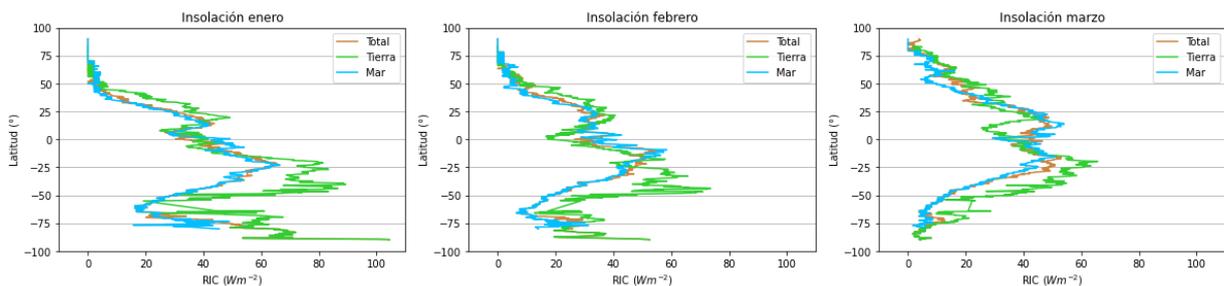
Figura 14: Diferencia mediana insolación tierra y mar.

A simple vista podemos apreciar que los valores de la diferencia de las medianas en el ecuador son negativos, por lo que los valores de mar son mayores que los valores de tierra. También podemos ver que la mayor diferencia se produce en octubre, alcanzándose  $-80 \text{ W/m}^2$  y la menor en enero, de unos  $-30 \text{ W/m}^2$ .

Por otro lado, podemos ver que para las latitudes de  $\pm 30^\circ$  los valores de tierra son mayores que los de mar. Además, la diferencia entre ambos valores no llega a ser de  $40 \text{ W/m}^2$  y alcanza su mínimo en agosto en  $30^\circ$  y en enero en  $-30^\circ$ .

#### 4.2.1.2. Rango intercuartílico

Representamos la latitud en función del rango intercuartílico calculado para cada mes, Figura 15.



## 4 RESULTADOS

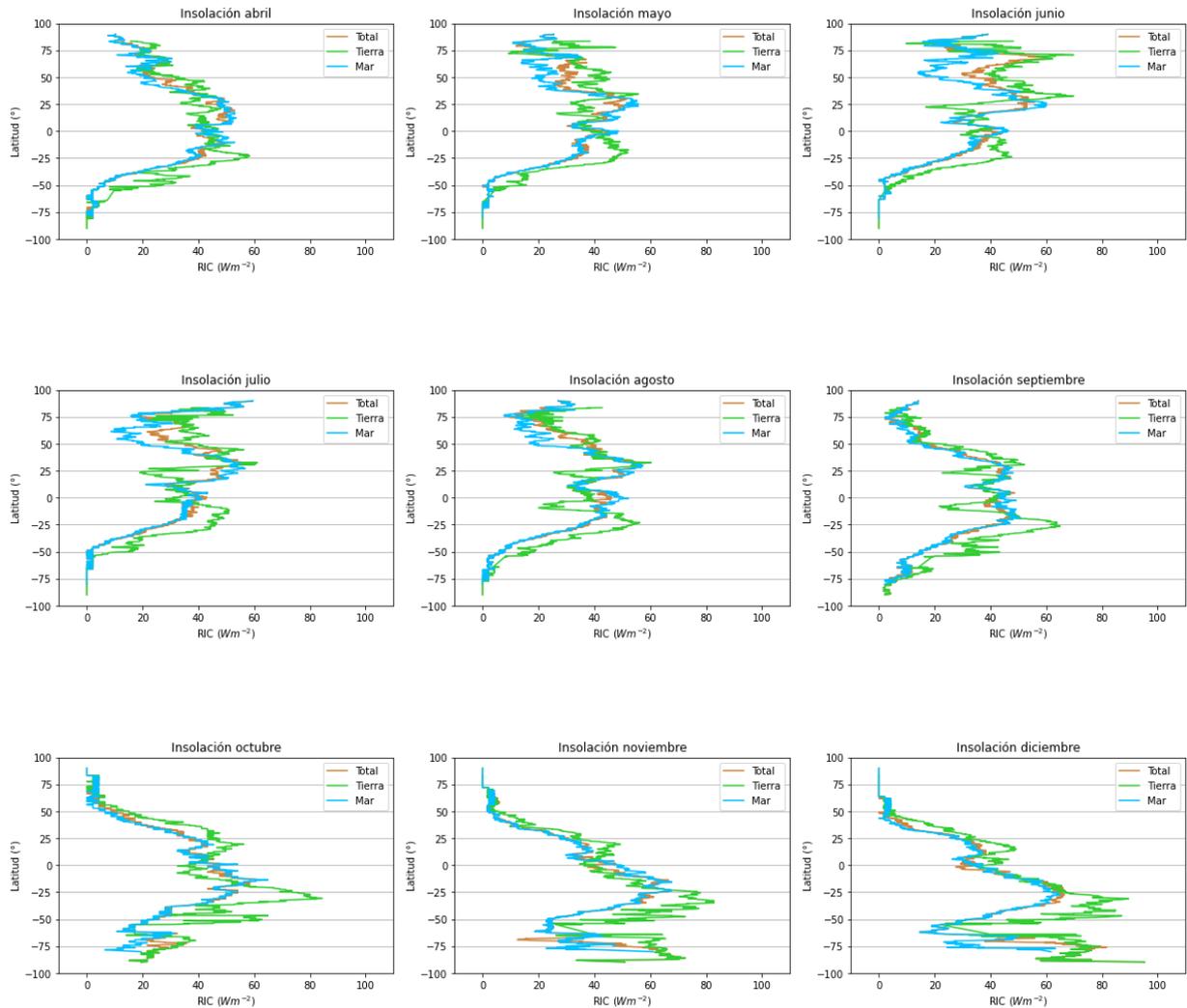


Figura 15: Rango intercuartílico insolación total, tierra y mar.

La tendencia de las 3 líneas, Figura 15, es la misma todos los meses, con valores ligeramente superiores para la curva de tierra. Al igual que en el estudio de la mediana nos vamos a centrar en la evolución temporal a lo largo de los meses representativos.

Podemos ver que las gráficas son muy similares a las de la mediana de la insolación, los máximos y mínimos coinciden, pero con valores mucho más bajos.

Centrándonos en marzo y septiembre vemos ambas gráficas siguen siendo muy similares. Destaca la curva de tierra, que presenta un máximo de casi  $60 \text{ W/m}^2$  en  $-25^\circ$  en las dos gráficas.

Observando junio y diciembre vemos que las gráficas tienen simetría impar. Debido a la declinación de la Tierra la radiación solar no llega al polo sur en junio y al polo norte en diciembre.

En ambas gráficas las 3 líneas tienen la misma tendencia y los valores más altos se alcanzan en la curva de tierra,  $69.83 \text{ W/m}^2$  en junio y  $89.65 \text{ W/m}^2$  en diciembre.

Representamos en la Figura 16 la evolución temporal de la diferencia de los rangos intercuartílicos de tierra y de mar en el ecuador y a  $\pm 30^\circ$ .

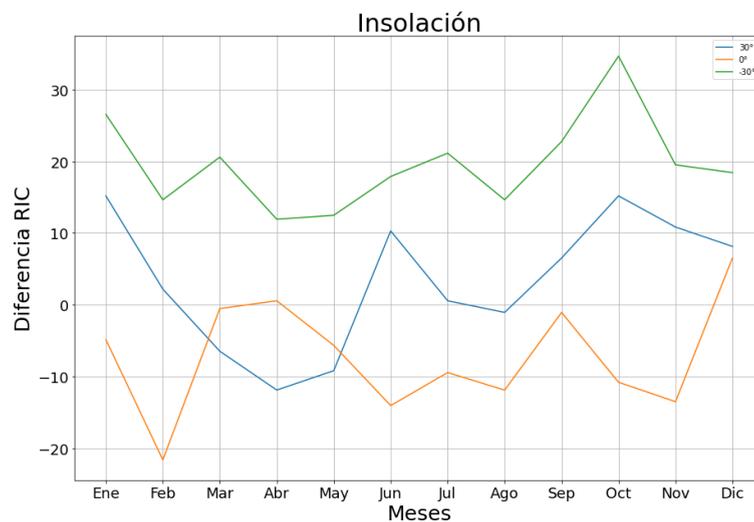


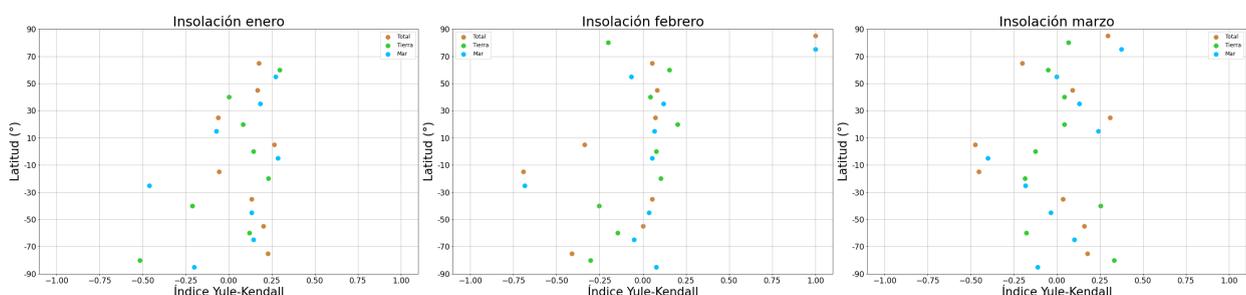
Figura 16: Diferencia rango intercuartílico insolación tierra y mar.

En la mayor parte de los datos del ecuador el rango intercuartílico de los datos de mar es superior al de los datos de tierra, destacando marzo, abril y septiembre, en el que los valores son casi iguales, y diciembre, donde los valores de tierra son superiores a los de mar.

Además, a  $\pm 30^\circ$  los valores del rango intercuartílico son mayores para tierra que para mar, excepto en mayo, abril y mayo para  $30^\circ$ , cuyos valores son negativos y agosto, en el cual la diferencia es 0. En ambas latitudes se alcanza la mayor diferencia entre los rangos intercuartílicos en octubre.

#### 4.2.1.3. Índice de Yule-Kendall

Calculamos el índice de Yule-Kendall de cada intervalo de  $20^\circ$  centrado en el ecuador y lo representamos en la Figura 17.



## 4 RESULTADOS

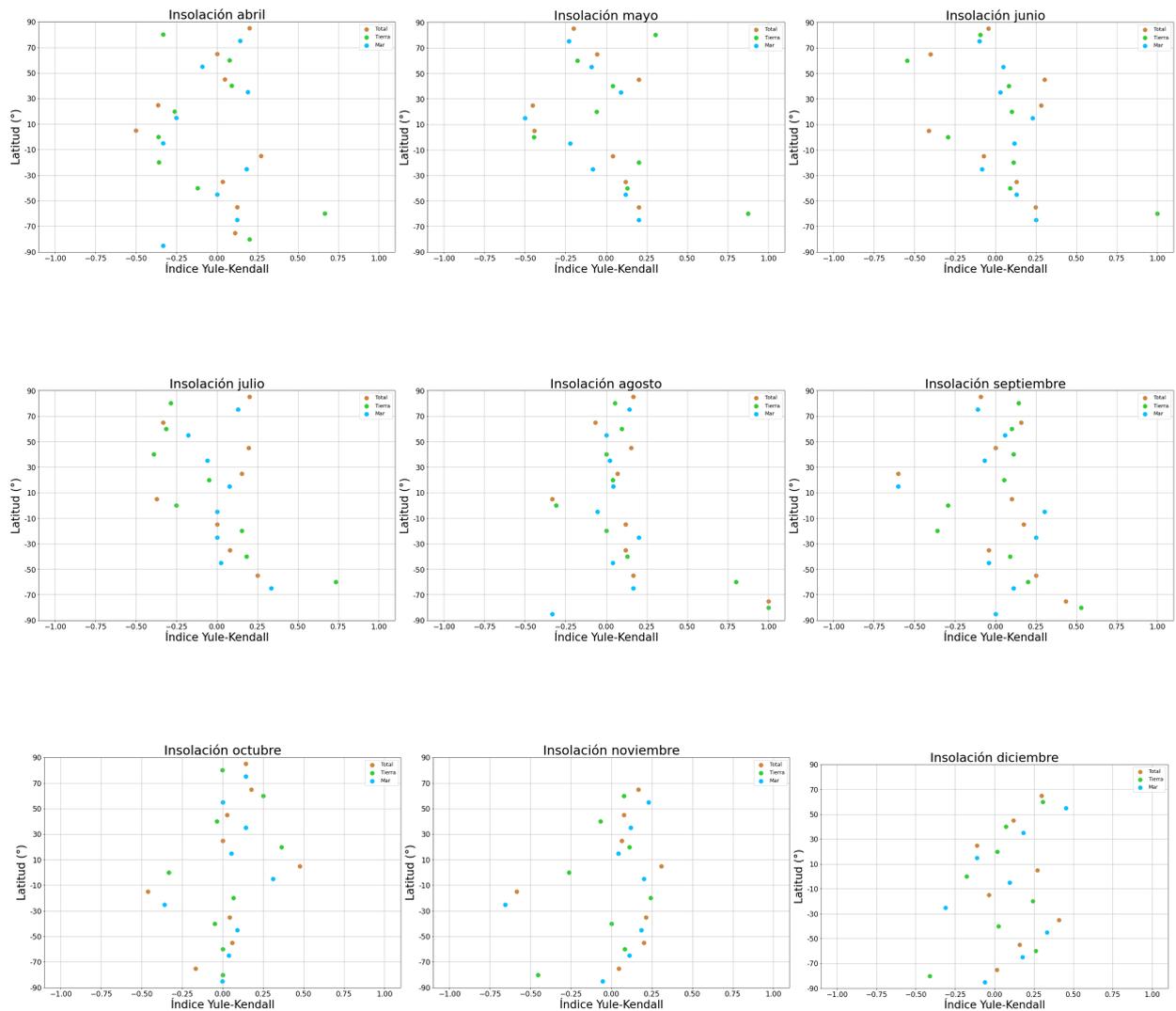


Figura 17: Índice de Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar.

Si comparamos las gráficas de marzo y septiembre podemos apreciar varias similitudes. En la gráfica de marzo el valor mínimo se alcanza en los datos totales del intervalo del ecuador,  $-0.47$ , mientras que en la gráfica de septiembre el valor mínimo se alcanza en los datos de mar y total del intervalo de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ,  $-0.6$ . Por otro lado, en marzo se alcanzan los valores máximos en los datos de mar del polo norte y en septiembre en los datos de tierra del polo sur.

Además, podemos observar que de noviembre a enero no hay datos en el polo norte y en febrero los valores máximos se encuentran en los puntos total y de mar del polo norte, 1, mientras que de mayo a julio no hay valores en el polo sur y en agosto los valores máximos se encuentran en los puntos de tierra y total del polo sur, 1.

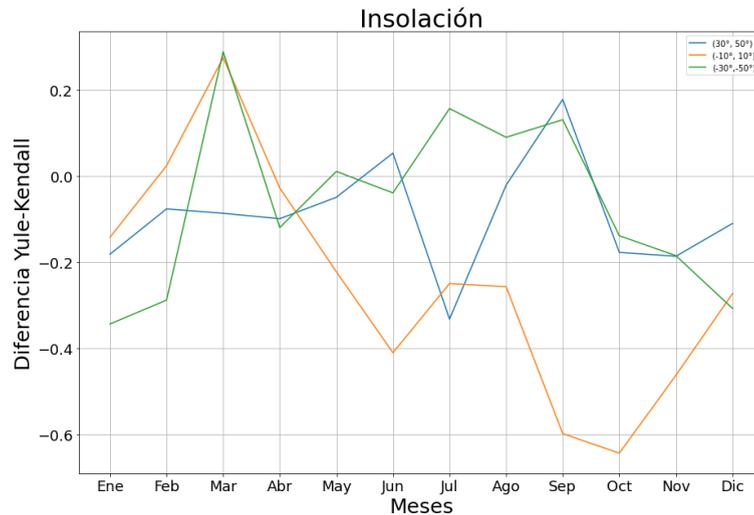


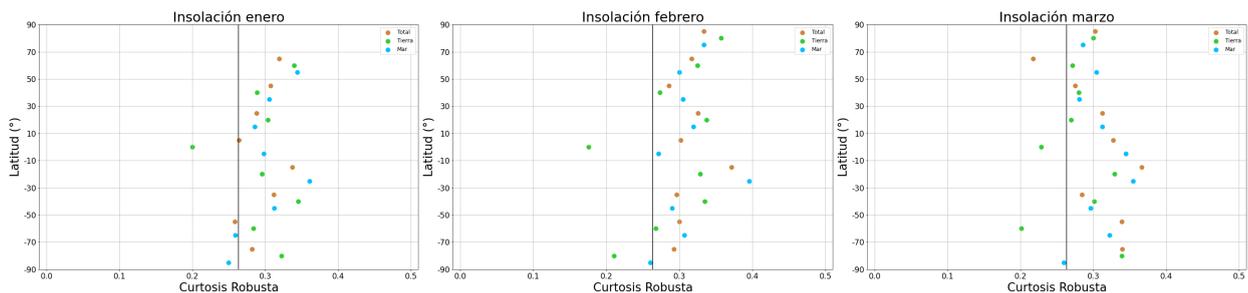
Figura 18: Diferencia índice Yule-Kendall insolación tierra y mar.

En la Figura 18 se representa la diferencia entre los valores del índice de Yule-Kendall de tierra y de mar.

Encontramos el máximo absoluto en los datos del intervalo de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$  de marzo, siendo este superior a 0.2 y prácticamente igual al valor de los datos del ecuador. Por otro lado, el máximo absoluto de los datos del intervalo de  $30^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  se da en el mes de septiembre y es ligeramente inferior a 0.2. El mínimo absoluto se encuentra en los datos del ecuador en octubre y es superior a -0.6, es decir, la curtosis robusta de los datos de mar es muy superior a la de los datos de tierra.

#### 4.2.1.4. Curtosis robusta

Calculamos la curtosis robusta de cada intervalo de  $20^{\circ}$  centrado en el ecuador y la representamos en la Figura 19.



## 4 RESULTADOS

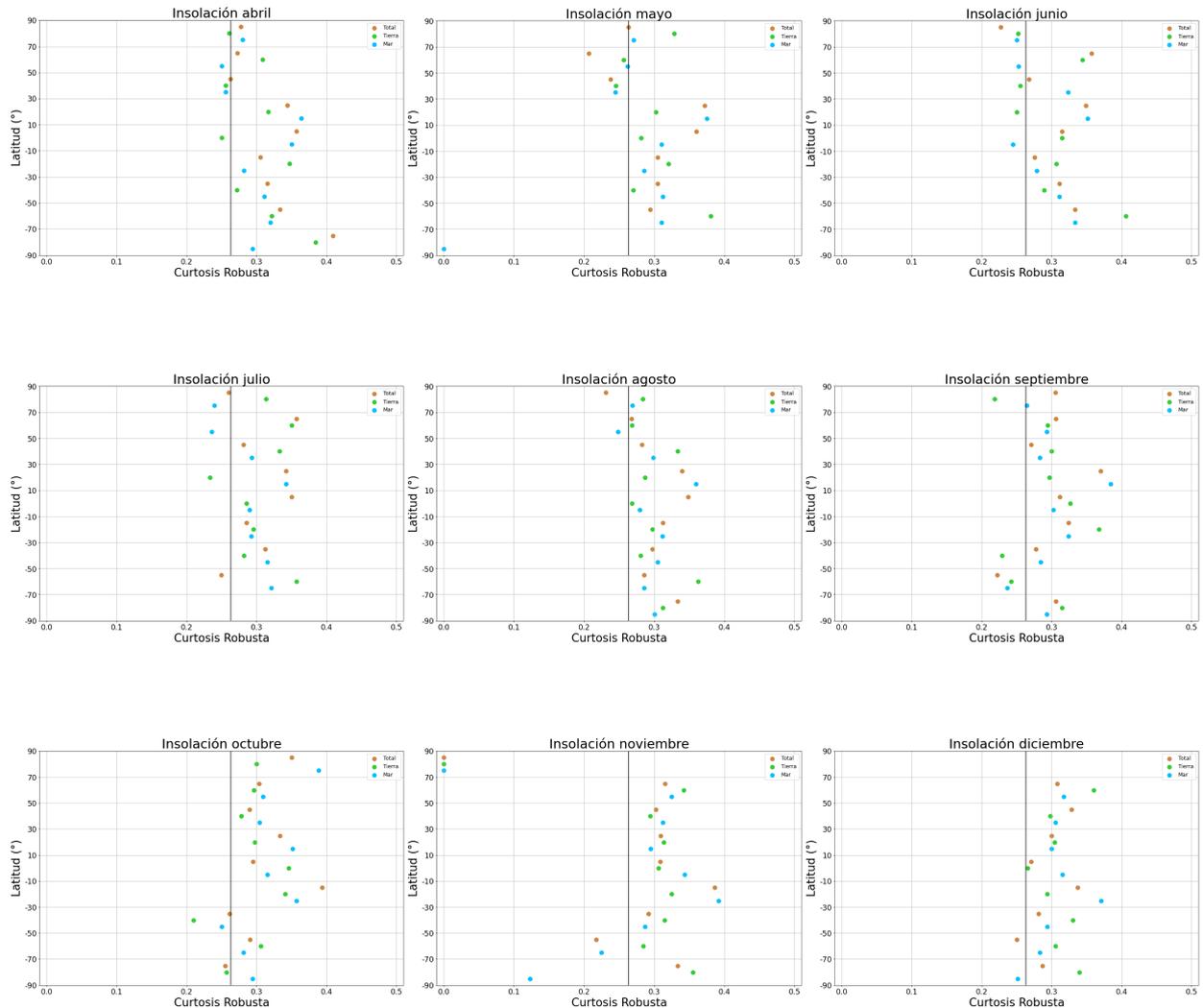


Figura 19: Curtosis robusta insolación total, tierra y mar.

Podemos observar en la Figura 19 que a grandes rasgos la mayor parte de los valores observados son mayores de 0.263, es decir, tienen forma platocúrtica.

Si observamos la evolución temporal podemos ver que en el intervalo de diciembre a mayo destaca el valor de la curtosis robusta de los datos de tierra en el ecuador, los cuales aumentan desde 0.27 en diciembre hasta 0.36 en mayo.

Además, podemos observar que en mayo en el polo sur solo existen valores para la curva de mar, la cual es 0, mientras que en junio no hay valores en el polo sur. Por otro lado, en noviembre, los valores de las tres curvas en el polo norte son 0 y en diciembre no existen valores en el polo norte. Esto se debe a que los valores del primer y noveno decil son iguales.

Representamos la evolución temporal de la diferencia de los datos de tierra y mar de los intervalos de  $-10^\circ$  a  $10^\circ$  y de  $\pm 30^\circ$  a  $\pm 50^\circ$  en la Figura 20.

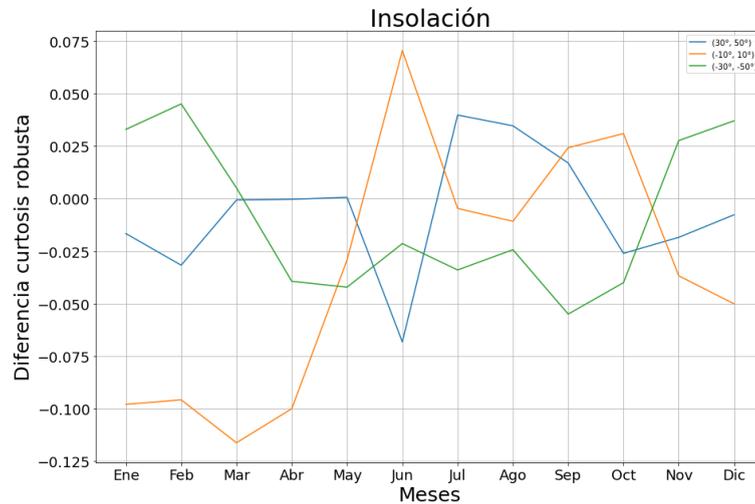


Figura 20: Diferencia curtosis robusta insolación tierra y mar.

Podemos destacar el máximo absoluto, el cual se encuentra en los datos del ecuador del mes de junio, alcanzando un valor ligeramente inferior a 0.075.

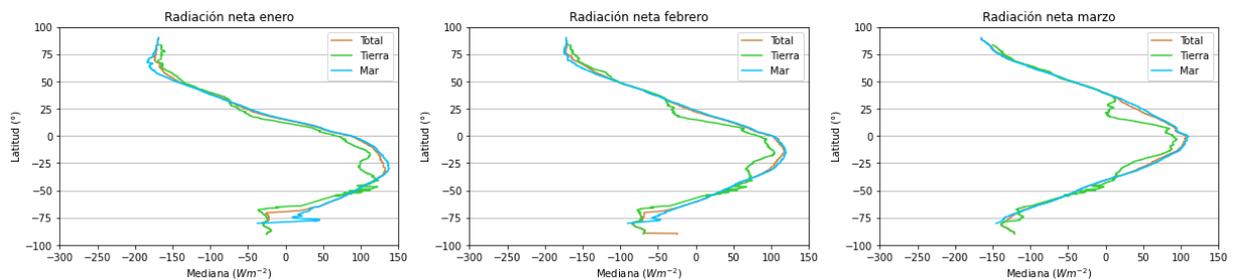
Si se observa la Figura 20 podemos observar que la mayor parte de los datos de los intervalos de  $\pm 30^\circ$  a  $\pm 50^\circ$  se encuentran entre -0.05 y 0.05, por lo que podemos concluir que los datos de tierra y mar son muy similares. Por otro lado, los datos del ecuador varían en un intervalo mucho mas amplio, entre -0.125 y 0.075.

#### 4.2.2. Radiación neta

Calculamos los 4 índices estadísticos con los datos mensuales descargados.

##### 4.2.2.1. Mediana

Representamos la latitud en función de la mediana calculada para cada mes en la Figura 21.



## 4 RESULTADOS

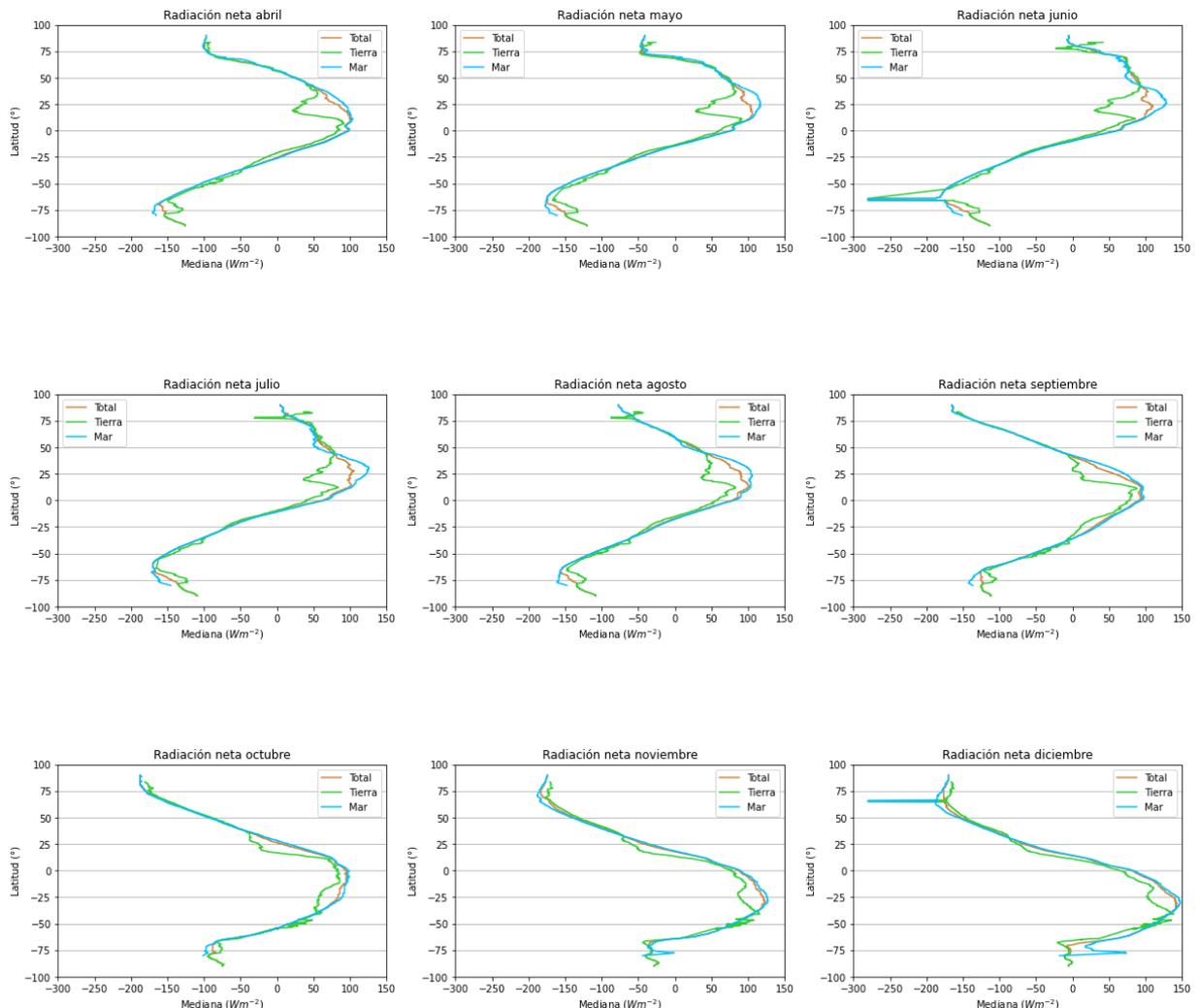


Figura 21: Mediana radiación neta total, tierra y mar.

A diferencia del caso de la mediana de la insolación la tendencia de las 3 líneas no es igual, sino que la línea de tierra presenta un mínimo ligeramente por encima el ecuador en los meses de abril a agosto, pero las variaciones de un mes al siguiente son suaves, por lo que vamos a estudiar la evolución temporal.

Nos centramos en los cuatro meses más representativos: marzo, junio, septiembre y diciembre.

Al igual que en el apartado de la insolación podemos apreciar que en los meses marzo y septiembre ambas gráficas son muy similares. Como ya hemos mencionado, en estos meses la insolación es prácticamente igual en ambos hemisferios, lo que resulta en gráficas simétricas respecto a un eje en el ecuador.

En ambas gráficas la curva de mar y la total coinciden y la curva de tierra muestra valores inferiores entre  $-40^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  aproximadamente, que siguen la misma tendencia en

ambas, apareciendo un mínimo relativo de  $0 \text{ W}/m^2$  en ambas gráficas.

Los mínimos se encuentran en los polos, estando el mínimo absoluto de ambas gráficas en el polo norte y diferenciándose un máximo relativo de los valores de tierra en el polo sur.

Centrándonos ahora en junio y diciembre vemos que las gráficas tienen simetría impar, al igual que ocurriría con la insolación. Sabemos que durante estos meses la declinación de la Tierra es máxima frente al ecuador celeste y por tanto la insolación incide en hemisferios diferentes.

En ambas gráficas el máximo de la curva de mar se encuentra en  $\pm 25^\circ$  y la línea de tierra presenta un mínimo relativo en esa misma latitud. En cambio, en la gráfica de junio la curva total presenta un mínimo relativo a  $25^\circ$  que no aparece en la gráfica de diciembre. Cabe destacar la presencia de un valor atípico simétrico en ambas gráficas situado en  $\pm 65^\circ$ .

Observamos una diferencia principal frente a la mediana de la insolación, la presencia de datos negativos. A partir de aproximadamente  $\pm 10^\circ$  todos los valores de la mediana de la radiación neta son negativos, lo que implica que la radiación se está reflejando.

Por último, vemos que se producen 2 mínimos: uno con valores negativos elevados en el círculo polar que alcanza la radiación y otro cuyo valor es 0 en el círculo polar en el que la radiación solar no llega debido a la declinación de la Tierra.

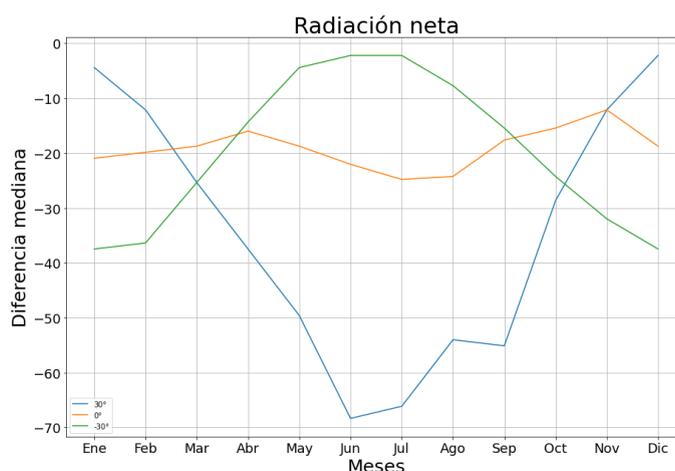


Figura 22: Diferencia mediana radiación neta tierra y mar.

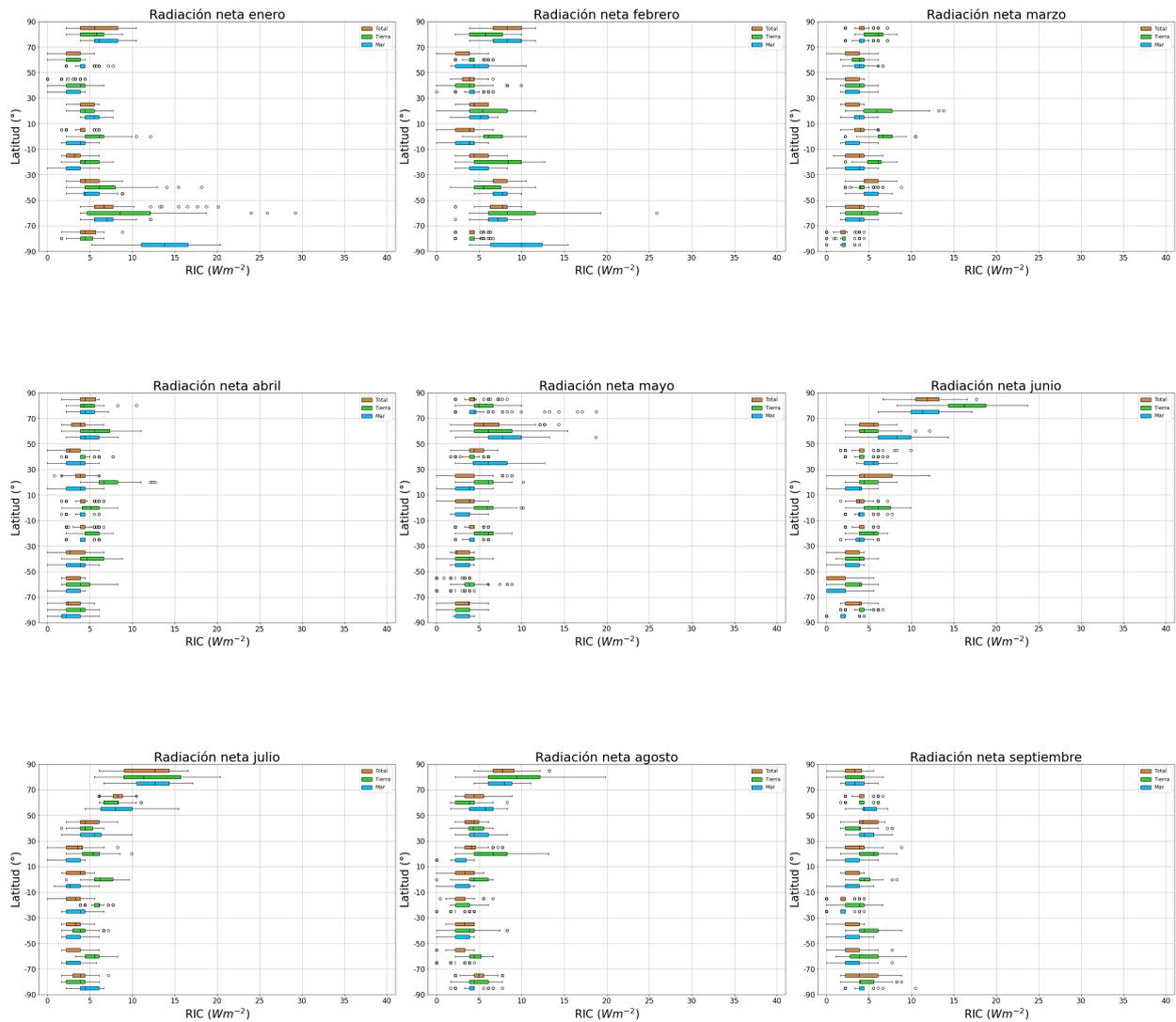
Podemos observar en la Figura 22 de la diferencia de medianas de la radiación neta de tierra y de mar que la curva del ecuador se mantiene prácticamente constante a lo largo del año. Por otro lado, la curva de  $30^\circ$  tiene forma de parábola convexa y la curva de  $-30^\circ$  tiene forma de parábola cóncava, alcanzando ambas sus vértices en los meses de junio y julio.

## 4 RESULTADOS

Además, se puede apreciar que todos los datos son negativos, por lo que los datos de la mediana de mar son superiores a los de la mediana de tierra.

### 4.2.2.2. Rango intercuartílico

Realizamos los diagramas de cajas y bigotes de los datos del rango intercuartílico y los representamos en la Figura 23 para los diferentes intervalos de latitud.



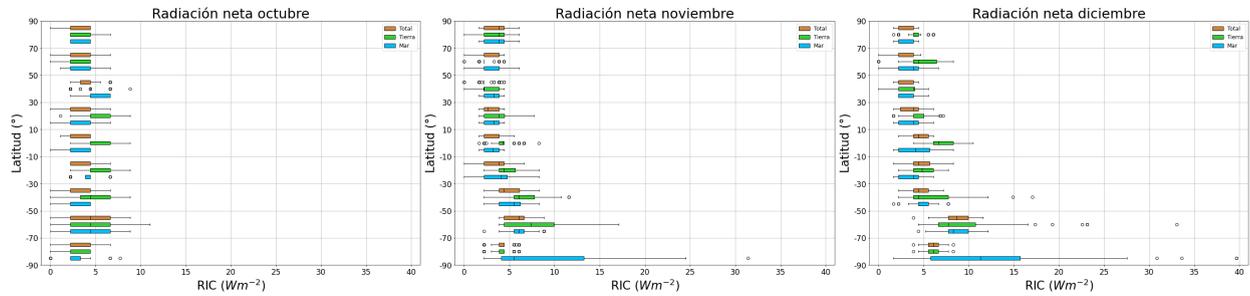


Figura 23: Rango intercuartílico radiación neta total, tierra y mar.

A simple vista podemos observar que las gráficas de los meses en los que la insolación incide de la misma manera en los dos hemisferios tienen forma rectangular, con anchuras similares en todas las latitudes. Por otro lado, en los meses en los que la declinación de la Tierra es mayor frente al ecuador celeste, las cajas en los polos varían su anchura y posición.

Observamos las gráficas de marzo y septiembre y vemos que son muy similares.

En la gráfica de marzo los valores más elevados se alcanzan en dos valores atípicos de la caja de tierra del intervalo de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ , pero el resto de cajas tiene valores de entre 0 y  $9 \text{ W/m}^2$ . En la gráfica de septiembre el valor más elevado es un valor atípico de mar del polo sur, pero el resto de cajas, al igual que en la gráfica de marzo tienen valores entre 0 y  $9 \text{ W/m}^2$ .

En rasgos generales podemos concluir que por debajo de los  $30^{\circ}$  de latitud los valores del rango intercuartílico son superiores en tierra que en mar.

Las gráficas de junio y diciembre tienen simetría impar y alcanzan valores mucho más elevados.

En la gráfica de junio los valores más altos se alcanzan en el polo norte, donde las cajas son más anchas y están situadas más a la derecha, alcanzándose valores de casi  $30 \text{ W/m}^2$ . Las cajas más estrechas se encuentran en el polo sur. En la gráfica de diciembre las cajas más anchas se encuentran en el polo sur, destacando en este caso el RIC de mar, que alcanza valores de casi  $40 \text{ W/m}^2$ .

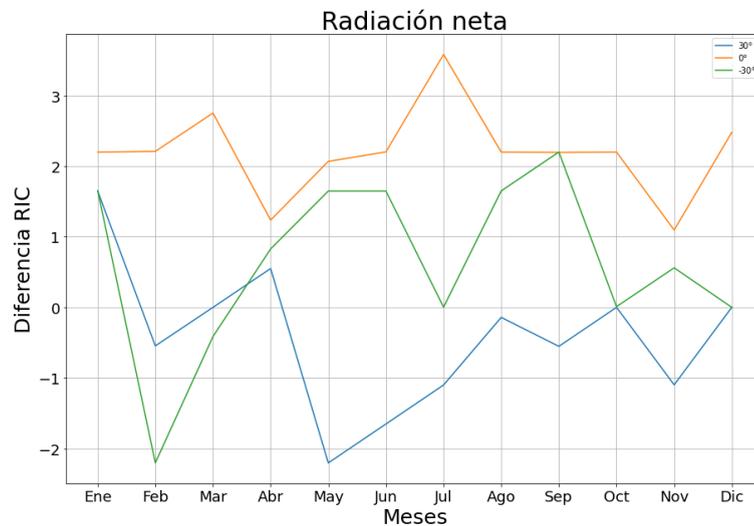
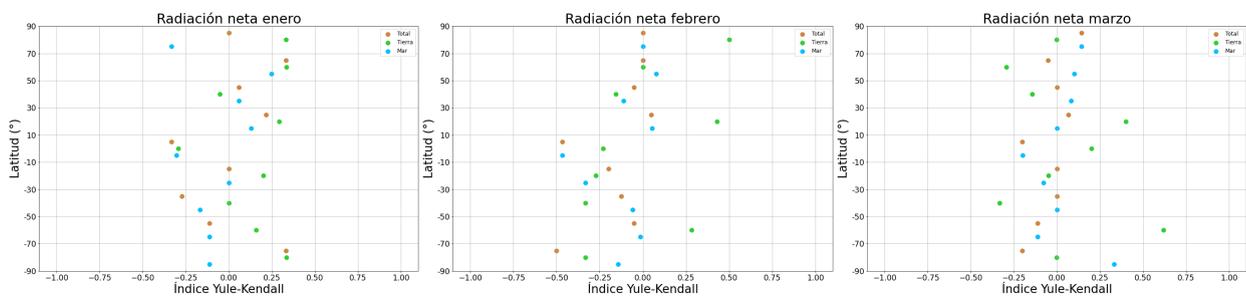


Figura 24: Diferencia rango intercuartílico radiación neta tierra y mar.

Si observamos la Figura 24 podemos apreciar que todos los datos del ecuador son positivos y prácticamente constantes a lo largo del año, encontrándose su máximo absoluto en el mes de julio. Fijándonos ahora en los datos de  $\pm 30^\circ$  podemos observar que aunque para  $-30^\circ$  se alcanzan datos negativos en febrero y marzo el resto de datos son negativos, mientras que para  $30^\circ$  solo se alcanzan datos positivos en enero y marzo.

#### 4.2.2.3. Índice de Yule-Kendall

Calculamos el índice de Yule-Kendall de cada intervalo de  $20^\circ$  centrado en el ecuador y lo representamos en la Figura 25.



## 4 RESULTADOS

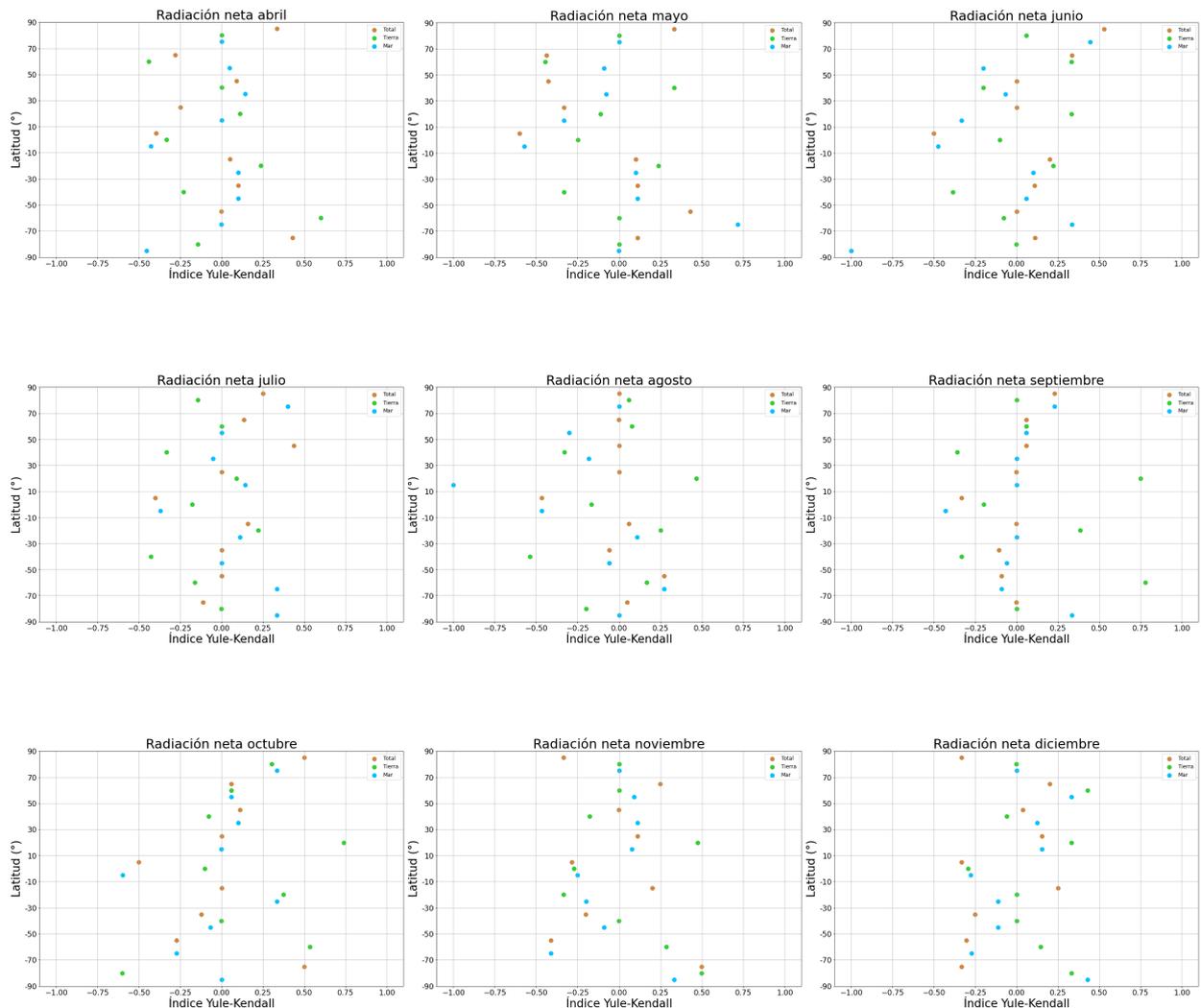


Figura 25: Índice de Yule-Kendall radiación neta total, tierra y mar.

Si comparamos las gráficas de marzo y septiembre podemos ver varias similitudes. En ambas gráficas los valores máximos se alcanzan por los puntos de tierra, en el intervalo de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ , un máximo relativo de 0.4 para marzo y 0.75 para septiembre, y en el intervalo de  $-50^{\circ}$  a  $-70^{\circ}$ , un máximo absoluto de 0.62 para marzo y 0.78 para septiembre. Además, podemos observar que en ambas gráficas existen un mínimo relativo de los datos de tierra en el intervalo de  $-30^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ , de -0.33 para marzo y para septiembre. Por otro lado, también se produce un mínimo absoluto de los puntos de mar y total en el ecuador, de -0.2 para marzo y -0.43 y -0.33 para septiembre.

Por otro lado, podemos observar que a lo largo de todo el año se produce un mínimo absoluto de los datos de mar y total en el ecuador, el cual solo varía el mes de noviembre, en el que el mínimo absoluto se sitúa en el intervalo de  $-50^{\circ}$  a  $-70^{\circ}$ , 0.41, y en el ecuador se produce un mínimo relativo, y en el mes de agosto, en el que el mínimo de los datos de mar se encuentra en el intervalo de  $10^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ , -1.

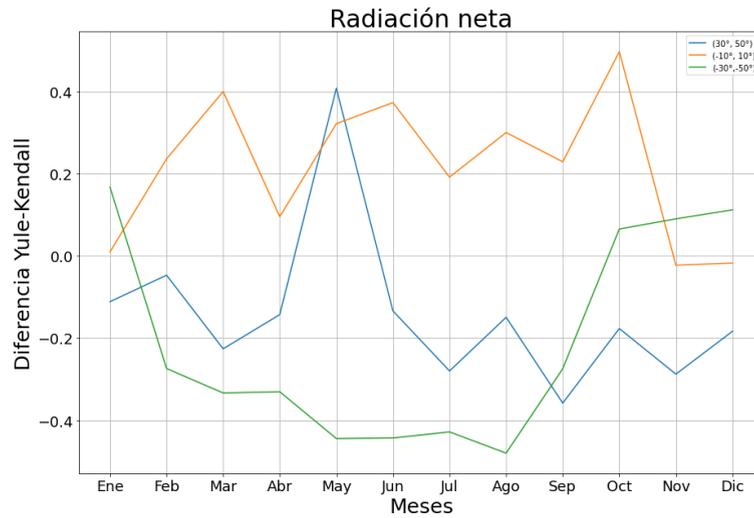
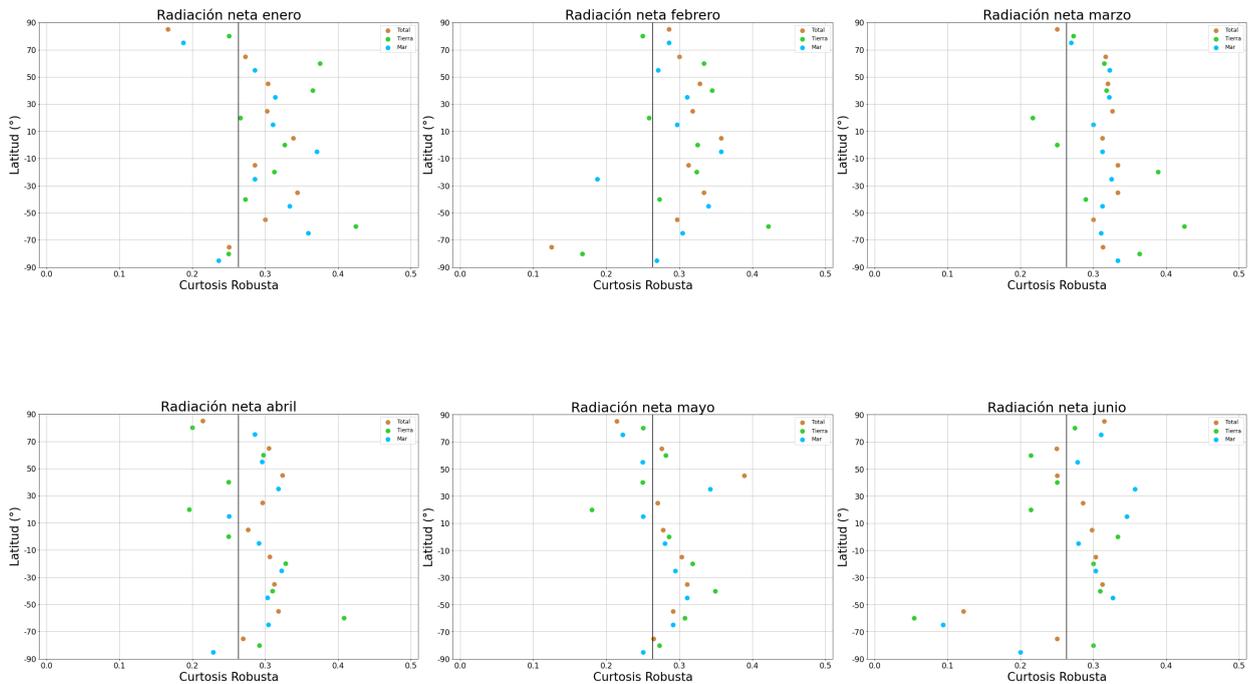


Figura 26: Diferencia índice Yule-Kendall radiación neta tierra y mar.

Si observamos la gráfica podemos observar que la mayor parte de los datos del intervalo de  $\pm 30^\circ$  a  $\pm 50^\circ$  son negativos, destacando mayo para el intervalo de  $30^\circ$  a  $50^\circ$ . Por otro lado, la mayor parte de los datos del ecuador son positivos.

#### 4.2.2.4. Curtosis robusta

Calculamos la curtosis robusta de cada intervalo de  $20^\circ$  centrado en el ecuador y la representamos en la Figura 27 para diferentes valores de la latitud.



## 4 RESULTADOS

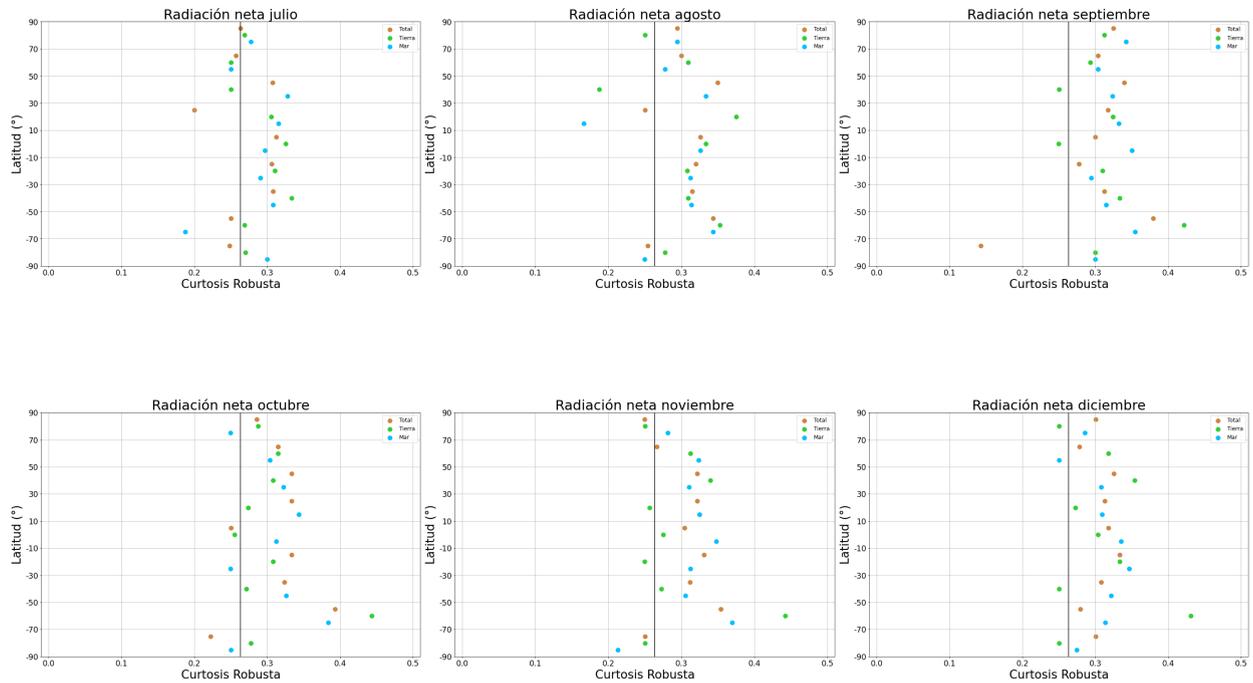


Figura 27: Curtosis robusta radiación neta total, tierra y mar.

Al igual que en el estudio de la insolación, podemos observar que a grandes rasgos la mayor parte de los valores observados tienen tendencia platocúrtica, son mayores de 0.263.

Si nos fijamos en la evolución temporal podemos ver que en el intervalo de septiembre a abril destaca el valor de la curtosis robusta de los datos de tierra en el intervalo de  $-70^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ , siendo este superior a 0.4 y el mayor valor alcanzado en todas las gráficas. Por otro lado, en junio podemos observar que el mínimo absoluto de las 3 puntos se encuentra en el intervalo de  $-70^{\circ}$  a  $-50^{\circ}$ , 0.05, mientras que en diciembre se alcanza el valor máximo en el punto de tierra del intervalo de  $-50^{\circ}$  a  $-70^{\circ}$ , 0.43.

Por último, a diferencia del estudio de la curtosis robusta de la insolación, destaca la existencia de valores en todos los intervalos de latitudes.

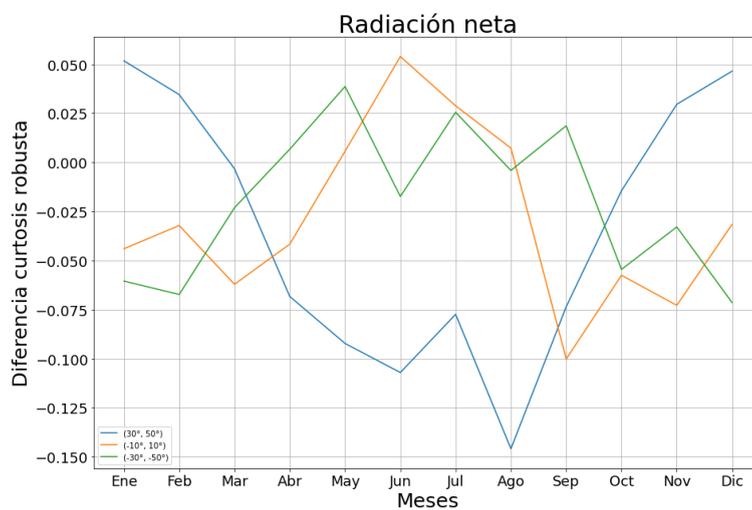


Figura 28: Diferencia curtosis robusta radiación neta tierra y mar.

La Figura 28 muestra la diferencia entre la curtosis robusta de la radiación neta de tierra y mar. A partir de la Figura se puede apreciar que la curva del intervalo de  $30^\circ$  a  $50^\circ$  tiene la tendencia contraria a las otras dos curvas. El valor más elevado es casi -0.150, en la curva de  $30^\circ$  a  $50^\circ$ .

### 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un estudio de la insolación y la radiación neta en función de la latitud en el planeta Tierra. Para ello se han analizado los ficheros de datos obtenidos de la NASA Earth Observations (NEO) desde julio de 2006 hasta junio de 2020.

Se ha dividido el proyecto en dos estudios diferentes: un análisis global de ambas magnitudes durante los 15 años estudiados y un análisis mensual de ambas magnitudes y su evolución temporal a lo largo del año. El estudio tiene una base estadística en la cual se han analizado la mediana, el rango intercuartílico, el índice de Yule-Kendall y la curtosis robusta.

Después del análisis y la representación gráfica de los diferentes índices estadísticos hemos llegado a las siguientes conclusiones:

- En el estudio global hemos podido observar que la insolación alcanza sus máximos absolutos en el trópico de Cáncer y de Capricornio, no en el ecuador, como sería lógico esperar, donde se produce un mínimo relativo, aunque el valor es alto. A partir de esas latitudes sufre una disminución hasta los mínimos absolutos en los círculos polares ártico y antártico y un aumento desde estos hasta  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ . El estudio global de la radiación neta muestra el mismo mínimo relativo en el ecuador, y dos máximos absolutos a  $\pm 10^\circ$  del mínimo, a partir de los cuales la radiación neta disminuye.
- En el estudio de la insolación, el rango intercuartílico es mínimo en el ecuador, constante entre  $\pm 40^\circ$  y  $\pm 60^\circ$  y máximo en los polos, lo cual se explica con la declinación de la Tierra, mientras que en el caso de la radiación neta el mínimo sigue en el ecuador pero los máximos se encuentran a latitudes entre  $\pm 40^\circ$  y  $\pm 60^\circ$ .
- Se ha podido observar que la asimetría de los datos globales de la insolación es negativa en las latitudes centrales, es decir, que los datos se encuentran desplazados hacia la izquierda de la mediana, lo cual también ocurre para los datos de la radiación neta. En cambio, para latitudes más elevadas la asimetría es positiva, tanto para la insolación como para la radiación neta.
- Hemos podido comprobar que tanto para la insolación como para la radiación neta la distribución de los datos tiene forma leptocúrtica, es decir, los valores están muy concentrados en torno a la mediana.
- En el estudio mensual hemos visto que tanto la evolución temporal de la mediana de la insolación como la evolución temporal de la mediana de la radiación neta varían suavemente de mes a mes. Además, hemos podido comprobar que los máximos se siguen formando en los trópicos en el caso de la insolación, mientras que en el caso de la radiación neta se forman en los trópicos en los meses de los solsticios y en el ecuador en los meses de los equinoccios, lo que se explica porque en el estudio global de la mediana de la radiación neta los máximos estaban situados entre los trópicos y el ecuador.

- El rango intercuartílico de la insolación tiene sus máximos en los trópicos en los meses de los equinoccios y en los polos en los meses de los solsticios, mientras que en el estudio de la radiación neta destacan los máximos en los polos.
- Del estudio del índice de Yule-Kendall de la insolación se ha deducido que para latitudes intermedias la asimetría es negativa, mientras que para la radiación neta la tendencia de las latitudes intermedias es positiva.
- Finalmente, se ha observado en el estudio de la curtosis robusta que tanto para la insolación como para la radiación neta, para latitudes intermedias, la distribución de los datos es leptocúrtica.

## 6. FUTURAS LÍNEAS DE ESTUDIO

Como ya sabemos la insolación y la radiación neta tienen un papel principal en procesos agrícolas, hidrológicos... Gracias a este estudio se ha podido comprobar en qué zonas la insolación es mayor de manera global, lo cual se puede aplicar al estudio de los paneles fotovoltaicos. Las placas fotovoltaicas convierten la radiación solar directamente en electricidad y requieren poco mantenimiento, pero se ven afectadas por factores como la localización geográfica, la intensidad de la radiación incidente, la climatología, la composición de la atmósfera... por lo que este estudio se podría ampliar con otros relativos al resto de factores mencionados, pudiéndose así seleccionar localizaciones óptimas para los paneles.

Por otro lado, se podrían realizar estudios más detallados de cada índice estadístico que incluyan mapas por regiones en los cuales no se realice la mediana de las longitudes, sino que dependan de ambas magnitudes, la longitud y la latitud.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CERES – *Clouds and the Earth’s Radiant Energy System*. URL: <https://ceres.larc.nasa.gov/> (visitado 23-09-2021).
- [2] *Climate and Earth’s Energy Budget*. 14 de ene. de 2009. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance> (visitado 18-06-2021).
- [3] *Basics of Space Flight - Solar System Exploration: NASA Science*. NASA Solar System Exploration. URL: <https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter2-1/> (visitado 05-12-2021).
- [4] *Efecto de La Disminución de Calor Consiguiente de La Inclinación de Los Rayos Solares En Invierno — Geoimatge*. URL: <http://www.ub.edu/geoimatge/es/content/effecto-de-la-disminuci%C3%B3n-de-calor-consiguiente-de-la-inclinaci%C3%B3n-de-los-rayos-solares-en> (visitado 05-12-2021).
- [5] AEMET-Agencia Estatal de Meteorología. *Albedo terrestre*. MeteoGlosario Visual. URL: [https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/354\\_albedo-terrestre](https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/354_albedo-terrestre) (visitado 15-08-2021).
- [6] *Albedo (1 Month) — NASA*. Albedo (1 month) — NASA. 2 de nov. de 2021. URL: [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MCD43C3\\_M\\_BSA](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MCD43C3_M_BSA) (visitado 15-08-2021).
- [7] Wilks, D.S. «Introduction». En: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier, 2019, págs. 3-6. ISBN: 978-0-12-815823-4. DOI: [10.1016/B978-0-12-815823-4.00001-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815823-4.00001-8).
- [8] Wilks, D.S. «Empirical Distributions and Exploratory Data Analysis». En: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier, 2019, págs. 23-75. ISBN: 978-0-12-815823-4. DOI: [10.1016/B978-0-12-815823-4.00003-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815823-4.00003-1).
- [9] *NASA Earth Observations (NEO)*. URL: <https://neo.gsfc.nasa.gov/> (visitado 09-03-2021).
- [10] *Solar Insolation (1 Month) — NASA*. Solar Insolation (1 month) — NASA. 9 de mar. de 2021. URL: [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_INSOL\\_M](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_INSOL_M) (visitado 09-03-2021).
- [11] *Net Radiation (1 Month) — NASA*. Net Radiation (1 month) — NASA. 28 de nov. de 2021. URL: [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES\\_NETFLUX\\_M](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=CERES_NETFLUX_M) (visitado 09-03-2021).
- [12] Sachs, L. *Applied Statistics: A Handbook Of Techniques*. Springer-Verlag New York Inc. 707 págs. ISBN: 13: 978-1-4684-0125-7.
- [13] Manzano, V. «Comprensión y medida del concepto de simetría». En: *anales de psicología* 17 (2001), pág. 12.
- [14] Garner, H. *Clojure for Data Science: Statistics, Big Data, and Machine Learning for Clojure Programmers*. 2015. ISBN: 978-1-78439-750-0.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- [15] Hubert, M. y Vandervieren, E. «An Adjusted Boxplot for Skewed Distributions». En: *Computational Statistics & Data Analysis* 52.12 (ago. de 2008), págs. 5186-5201. ISSN: 01679473. DOI: [10.1016/j.csda.2007.11.008](https://doi.org/10.1016/j.csda.2007.11.008).
- [16] *Seeing Equinoxes and Solstices from Space*. URL: <https://visibleearth.nasa.gov/images/52248/seeing-equinoxes-and-solstices-from-space> (visitado 16-11-2021).
- [17] *A World of Sunlight and Heat*. 22 de jun. de 2001. URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/1528/a-world-of-sunlight-and-heat> (visitado 15-03-2021).
- [18] del Pino, A. «La insolación en la isla de La Palma». Universidad de La Laguna, 2014. 51 págs.
- [19] Wilks, D.S. «Review of Probability». En: *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Elsevier, 2019, págs. 7-19. ISBN: 978-0-12-815823-4. DOI: [10.1016/B978-0-12-815823-4.00002-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815823-4.00002-X). URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B978012815823400002X> (visitado 28-11-2021).
- [20] *Topography — NASA*. Topography — NASA. 16 de ago. de 2021. URL: [https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=SRTM\\_RAMP2\\_TOP0](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=SRTM_RAMP2_TOP0) (visitado 28-11-2021).
- [21] Pan, X., Liu, Y. y Fan, X. «Comparative Assessment of Satellite-Retrieved Surface Net Radiation: An Examination on CERES and SRB Datasets in China». En: *Remote Sensing* 7.4 (21 de abr. de 2015), págs. 4899-4918. ISSN: 2072-4292. DOI: [10.3390/rs70404899](https://doi.org/10.3390/rs70404899).
- [22] Jia, A. y col. «Comprehensive Assessment of Global Surface Net Radiation Products and Uncertainty Analysis». En: *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 123.4 (27 de feb. de 2018), págs. 1970-1989. ISSN: 2169-897X, 2169-8996. DOI: [10.1002/2017JD027903](https://doi.org/10.1002/2017JD027903).
- [23] Loeb, N. G. y col. «Observed Changes in Top-of-the-Atmosphere Radiation and Upper-Ocean Heating Consistent within Uncertainty». En: *Nature Geoscience* 5.2 (feb. de 2012), págs. 110-113. ISSN: 1752-0894, 1752-0908. DOI: [10.1038/ngeo1375](https://doi.org/10.1038/ngeo1375).
- [24] Otkin, J. A. y col. «Validation of GOES-Based Insolation Estimates Using Data from the U.S. Climate Reference Network». En: *Journal of Hydrometeorology* 6.4 (1 de ago. de 2005), págs. 460-475. ISSN: 1525-7541, 1525-755X. DOI: [10.1175/JHM440.1](https://doi.org/10.1175/JHM440.1).
- [25] El Kenawy, A. M., Hereher, M. E. y Robaa, S. M. «An Assessment of the Accuracy of MODIS Land Surface Temperature over Egypt Using Ground-Based Measurements». En: *Remote Sensing* 11.20 (12 de oct. de 2019), pág. 2369. ISSN: 2072-4292. DOI: [10.3390/rs11202369](https://doi.org/10.3390/rs11202369).
- [26] Mellit, A. y Benghane, M., eds. *A Practical Guide for Advanced Methods in Solar Photovoltaic Systems*. Vol. 128. Advanced Structured Materials. Cham: Springer International Publishing, 2020. ISBN: 978-3-030-43472-4 978-3-030-43473-1.