
	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 1 de 24



IDEAM

**Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales**

**FICHA METODOLÓGICA PARA LA
OPERACIÓN ESTADÍSTICA
“INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE”**

	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 2 de 24


FICHA METODOLÓGICA

Nombre de la operación estadística y sigla	Operación Estadística: Información de la Radiación Global Recibida en Superficie
Entidad responsable	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
Tipo de operación estadística	Muestreo no probabilístico.
Antecedentes	<p>El seguimiento a la presente operación estadística inició con la instalación de los primeros sensores que medían la radiación global, a inicios de la década de los setentas, por medio de actinógrafos ubicados en estaciones convencionales, como por ejemplo la de Ingenio Manuelita, la cual tiene la serie histórica más antigua (desde el año 1974). Durante la década de los ochentas se instalaron cerca de 80 actinógrafos, los cuales dejaron de funcionar entre los años 2003 y 2005. Hasta esta fecha se gestionó información en forma horaria y en los años 1993 y 2005 se realizaron las primeras versiones del Atlas de radiación global.</p> <p>Posteriormente, en el año 2005 entra en funcionamiento la Red nacional de estaciones automáticas satelitales, en la cual hay instalados cerca de 160 piranómetros, con los cuales se le hace actualmente el seguimiento a la radiación global. Desde este año se ha venido gestionando información a escala horaria de esta variable, lo cual sirvió para generar la nueva versión virtual del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (cuyo lanzamiento se realizó en el año 2015), así como en su versión en PDF (cuyo lanzamiento se realizó en abril del 2018).</p>
Objetivo general	Generar información estadística y productos confiables de la radiación global en superficie, a través de los datos obtenidos por la red nacional de estaciones del IDEAM (automáticas y convencionales), para establecer su variación espacio temporal a nivel nacional y ser entregada oportunamente a los diferentes usuarios, destacándose el sector energético, agrícola y académico.
Objetivos específicos	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar lineamientos para la operación, calibración y mantenimiento de la red nacional de medición de la radiación global en Colombia. - Establecer criterios de validación de los datos y de aplicación del factor de ajuste de calibración para generar información confiable y oportuna. - Proporcionar información de radiación global de alta calidad, agregada a nivel diario, mensual y anual, al igual que promedios horarios mensuales para un año en particular o a nivel multianual, de todos los sensores de la red. - Almacenar sistemáticamente la información generada de la radiación global, en la base de datos del IDEAM (DHIME), para ponerla a disposición del público en general. - Generar sistemáticamente el indicador de la radiación global acumulada diaria en las principales ciudades del país, en la página web del Instituto, quedando a disposición del público en general.
Alcance temático	<p>La aplicación de la presente guía metodológica se centra en las mediciones de la radiación global, realizadas tanto en estaciones meteorológicas convencionales, como automáticas satelitales en superficie, que hacen parte de la red nacional de medición del IDEAM, siguiendo las recomendaciones dadas por la OMM y teniendo la trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación de Davos (Suiza), para que los datos generados, que hacen parte de sus series históricas, sean comparables e intercambiables con los miembros de la OMM y además sean confiables para los usuarios que los utilicen. Esta información actualmente se agrega a nivel diario, mensual, anual y multianual, y se publica a través de tablas de datos e información geográfica.</p> <p>A través del proceso de generación de información de la radiación global se realiza la evaluación de los potenciales de esta variable, lo que permite gestionar nuevo conocimiento relacionado con la cuantificación de la disponibilidad de las energías renovables en Colombia.</p>

**Conceptos
básicos**

- **Absorción:** la absorción de energía por un determinado gas tiene lugar cuando la frecuencia de la radiación electromagnética es similar a la frecuencia vibracional molecular del gas. Cuando un gas absorbe energía, esta se transforma en movimiento molecular interno que produce un aumento de temperatura. La atmósfera es un fluido constituido por diferentes tipos de gases y cada uno de ellos se comporta de manera diferente, de tal manera, que absorben la energía selectivamente para diferentes longitudes de onda y en algunos casos son transparentes para ciertos rangos del espectro. La atmósfera principalmente tiene bajo poder de absorción en la parte visible del espectro, pero tiene un significativo poder de absorción de radiación ultravioleta o radiación de onda corta procedente del Sol y el principal responsable de esto es el ozono, así mismo, la atmósfera tiene buena capacidad para absorber la radiación infrarroja o de onda larga procedente de la Tierra y los responsables en este caso son el vapor de agua, el dióxido de carbono y otros gases traza como el metano y el óxido nitroso. Estos gases son importantes en el calentamiento de la atmósfera, por ejemplo, la absorción de radiación solar por el ozono proporciona la energía que calienta la estratosfera y la mesosfera.
- **Actinógrafo:** es un instrumento para registrar la radiación global que funciona mediante un sensor termomecánico, protegido por una cúpula en vidrio. El actinógrafo se diferencia de un piranómetro por que el sensor es una lámina bimetálica y el del piranómetro es una termopila.
- **Atenuación de la radiación solar:** la radiación solar al pasar por la atmósfera sufre un proceso de debilitamiento por la dispersión (debida a los aerosoles), la reflexión (por las nubes) y la absorción (por las moléculas de gases y por partículas en suspensión), por lo tanto, la radiación solar que incide en la superficie terrestre (océano o continente) es menor a la del tope de la atmósfera (ver figura 1). Esto depende de la longitud de onda de la energía transmitida y del tamaño y naturaleza de la sustancia que modifica la radiación. La superficie de la Tierra, suelos, océanos, y también la atmósfera, absorbe energía solar y la vuelven a irradiar en forma de calor (radiación de onda larga) en todas las direcciones.
- **Clima:** es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, en un periodo y región dados, y controlado por factores forzantes y determinantes, y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, litosfera, criósfera, biosfera y antropósfera).
- **Constante solar:** en el tope de la atmósfera, a una distancia promedio de 150×10^6 Km del Sol, el flujo de energía de onda corta interceptada por una superficie normal a la dirección del Sol, en vatios por metro cuadrado (W/m^2), es llamada constante solar. Este valor da una idea de los valores que se registran en el tope de la atmósfera y de los que finalmente llegan a la superficie de la Tierra durante el día como consecuencia de las “pérdidas” de radiación por fenómenos como la reflexión, dispersión y absorción (procesos de atenuación) durante su trayectoria. Según la Referencia Radiométrica Mundial (WRR por sus siglas en inglés - World Radiometric Reference) del Centro Mundial de Radiación (WRC por sus siglas en inglés - World Radiation Center), la constante solar tiene un valor aproximado de: $I_0=1.367 W/m^2$.
- **Dispersión:** la radiación solar viaja en línea recta, pero los gases y partículas en la atmósfera pueden desviar esta energía, lo que se llama dispersión. La dispersión ocurre cuando un fotón afecta a un obstáculo sin ser absorbido, cambiando solamente la dirección del recorrido de ese fotón. La dispersión depende de la longitud de onda, en el sentido de que cuanto más corta sea, mayor será la dispersión. El proceso de la dispersión explica cómo una habitación sin luz solar directa está iluminada, debido a que le llega luz difusa o radiación difusa.
- **Elemento:** aspecto del clima que se puede describir de forma estadística, como la temperatura, la precipitación o la radiación solar (OMM, 2017).
- **Energía solar:** es la radiación solar aprovechada para producir agua caliente y la generación de electricidad a través de colectores planos, células fotovoltaicas o plantas solares termoelectricas.

- Estaciones Meteorológicas: se entiende como estación meteorológica, el sitio donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de las diferentes variables meteorológicas, usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio.
- Irradiación solar: se refiere a la tasa de transferencia de energía por radiación electromagnética (la cual tiene unidades de energía por unidad de tiempo y es medida en joule por segundo, equivalente a vatios, que es una unidad de potencia eléctrica) por unidad de área. Esta magnitud de radiación instantánea está expresada en unidades de potencia por unidad de superficie y es medida en vatios por metro cuadrado. Cuando la irradiancia es integrada en el tiempo como $\left(\frac{\text{Energía}}{\text{Área}}\right)$ su unidad es el kWh/m² por día (si es integrada en el día). Esta última es la que se denomina irradiación solar global acumulada diaria, parámetro del que se genera el indicador de esta operación estadística.
- Normal climatológica: en climatología se utilizan los valores medios para definir y comparar el clima. La normal climatológica es una medida utilizada con este propósito y representa los valores medios de los datos climatológicos calculadas para los siguientes períodos consecutivos de 30 años: 1 de enero de 1981 a 31 de diciembre de 2010, 1 de enero de 1991 a 31 de diciembre de 2020, y así sucesivamente (OMM, 2017).
- Parámetro: indicador estadístico de un elemento climático. En la mayoría de los casos se trata de la media aritmética, aunque también puede incluir valores tales como la desviación típica, los puntos de percentil, el número de veces que se excede un umbral o los valores extremos (OMM, 2017).
- Piranómetro: es el instrumento más usado en la medición de la radiación solar. Mide la radiación semiesférica directa y difusa (la suma de estas dos es la radiación global) que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, obtenida a través de la diferencia de calentamiento de dos sectores pintados alternativamente de blanco y negro en un pequeño disco plano. Cuando el aparato es expuesto a la radiación solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente generándose un voltaje eléctrico proporcional a la radiación solar incidente. En la variación de la temperatura puede intervenir el viento, la lluvia y las pérdidas térmicas de la radiación al ambiente. Por lo tanto, el piranómetro tiene instalado una cúpula de vidrio óptico transparente que protege el detector, permite la transmisión isotrópica del componente solar y sirve para filtrar la radiación entre las longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2800 nanómetros.
- Pirheliómetros: son instrumentos usados para la medición de la radiación solar directa. Esto se consigue colocando el sensor normalmente en el foco solar, bien sea manualmente o sobre un montaje ecuatorial.
- Radiación de onda corta: la radiación solar extraterrestre se halla dentro del intervalo espectral comprendido entre 0,1 y 4,0 μm y se denomina radiación de onda corta. Una parte de la radiación solar extraterrestre penetra a través de la atmósfera y llega a la superficie terrestre, mientras que otra parte se dispersa y/o es absorbida en la atmósfera por las moléculas gaseosas, las partículas de aerosoles y las gotas de agua y cristales de hielo presentes en las nubes.
- Radiación difusa (H_d): es la componente de la radiación solar que al encontrar pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera en su camino hacia la Tierra e interactuar con las nubes, es difundida en todas las direcciones. También es definida como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie horizontal desde todos los lugares de la atmósfera diferente

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 5 de 24

de la radiación solar directa. Cuando no hay nubes, la radiación difusa se produce por medio del proceso de difusión a través de partículas atmosféricas.

- Radiación directa (H_b): es la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra en forma de rayos provenientes del Sol sin haber sufrido difusión, ni reflexión alguna. Esta radiación llega a la superficie de la Tierra, sin cambios de dirección.
- Radiación global (H): la radiación global es toda la radiación que llega a la Tierra y que se mide sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, resultado de la componente vertical de la radiación directa más la radiación difusa. El aporte de cada componente a la radiación global, varía con la altura del Sol, la transparencia de la atmósfera y la nubosidad.
- Radiación solar: la radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y se genera en las reacciones del hidrógeno en el núcleo del Sol por fusión nuclear y es emitida por la superficie solar. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima.
- Radiación solar extraterrestre: es la radiación solar que incide en el límite de la atmósfera terrestre.
- Radiación terrestre: la radiación terrestre es la energía electromagnética de onda larga emitida por la superficie terrestre y por los gases, los aerosoles y las nubes de la atmósfera, y es también parcialmente absorbida en la atmósfera.
- Radiación ultravioleta: el Sol emite una gran cantidad de energía a la Tierra, de la cual sólo entre un 6% a 7% corresponde a la radiación ultravioleta (UV). Esta radiación es una forma de energía radiante que cubre el rango de longitudes de onda entre los 100 y los 400 nanómetros (0,10 μm y 0,4 μm) y usualmente es clasificada en tres categorías (constituida por longitudes de onda ascendentes que van desde el UV-C, UV-B y la UV-A) de acuerdo con la longitud de onda (mientras más corta sea la longitud de onda de la radiación UV, biológicamente es más perjudicial).
- Reflexión (Albedo): la capacidad de reflexión o fracción de la radiación reflejada por la superficie de la Tierra o cualquier otra superficie se denomina Albedo. El albedo planetario es en promedio de un 30%. El albedo es la relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre una superficie horizontal.
- Transparencia de la atmósfera: se refiere a la claridad del cielo y se cuantifica como transmitancia, porcentaje de intensidad lumínica que atraviesa la muestra, en este caso la atmósfera (para esto se utiliza un espectrofotómetro). En astronomía se asocia a la capacidad de observación de astros débiles según su brillantez o magnitud. Los factores que afectan la transparencia del cielo son: el vapor de agua o nubosidad y las partículas suspendidas como polvo, polen, humos industriales y vehiculares o sea la contaminación ambiental en general.
- Transmitancia óptica: se define como la fracción de luz incidente, a una longitud de onda especificada, que pasa a través de una muestra, en este caso la atmósfera.

Variables La variable (o elemento, según la OMM, 2017) en la cual se basa la presente Operación Estadística es la radiación global. A partir de su medición y después de realizar la gestión del dato correspondiente, se generan los respectivos indicadores.

Indicadores A continuación, se explica detalladamente cada uno de los cálculos intermedios que se tienen en cuenta para determinar los siguientes promedios horarios y mensuales de la radiación global en las

	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 6 de 24

estaciones automáticas (generados desde los más sencillos hasta los más agregados) y obtenidos a partir de datos horarios:

- Promedio horario de la radiación global por mes
- Promedio horario mensual de la radiación global por año
- Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria
- Promedio horario mensual multianual de la radiación global

Y los siguientes promedios mensuales de la radiación global, son los obtenidos en estaciones convencionales a partir de datos diarios:

- Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año
- Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria

Estos promedios de los datos de radiación global generados por las estaciones automáticas y convencionales, aparecen con el mismo título como reportes internos en la base de datos DHIME y se espera que a partir del año 2022 estén disponibles para los usuarios externos.

Estaciones Automáticas


Los datos de radiación global que se miden en las estaciones automáticas y a los cuales se les generan los siguientes promedios, se encuentran en forma horaria. El objeto de las estructuras de cálculo que se presentan a continuación, es el de aprovechar la totalidad de los datos horarios de las estaciones automáticas, para generar finalmente los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, los cuales, son los que finalmente se utilizan para realizar los mapas que sirven para la evaluación de los potenciales de esta variable en el país, lo que permite gestionar nuevo conocimiento relacionado con la cuantificación de la disponibilidad de las energías renovables en Colombia. Esta misma estructura de cálculo está implementada en la base de datos DHIME, generando estos reportes a través de los promedios mencionados anteriormente.

*** Promedio horario de la radiación global por mes**

Para calcular este parámetro se deben promediar los valores de radiación global de un mismo lapso de tiempo (la misma hora) para todos los días, de un mes determinado, en una estación específica (hay una tabla para cada mes de cada año). A manera de ejemplo, en la tabla 1 se muestra el cálculo de estos promedios para el mes de enero del año 2005, en cualquier estación, los cuales se generarían y presentarían en la última columna de la tabla.

Tabla 1. Estructura para el cálculo del Promedio horario de la radiación global para el mes Ejemplo enero de 2005 (PHRGM - enero 2005)

Hora	Día						Promedio Horario para el mes correspondiente (PHRGM - Enero 2005)
	1	2	..	...	...	31	
0 – 1	Valor de la radiación para la hora 1 del día 1 de Enero del año 2005	Valor de la radiación para la hora 1 del día 2 de Enero del año 2005					A1 = Promedio de todas las horas 1 de todos los días del mes de Enero del año 2005
1 – 2	Valor de la radiación para la hora 2 del día 1 de Enero del año 2005	Valor de la radiación para la hora 2 del día 2 de Enero del año 2005					A2 = Promedio de todas las horas 2 de todos los días del mes de Enero del año 2005
:	:	:					:

	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 7 de 24

23 - 24	Valor de la radiación para la hora 24 del día 1 de Enero del año 2005	Valor de la radiación para la hora 24 del día 2 de Enero del año 2005								A24 = Promedio de todas las horas 24 de todos los días del mes de Enero del año 2005
---------	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

Nota: El número de columnas dependerá de la cantidad de días del mes correspondiente (28, 29, 30 o 31)

*** Promedio horario mensual de la radiación global por año**

Una vez obtenidos los promedios para cada hora en un mes determinado, se presentan esos mismos promedios, para todos los meses de un año en particular, en una tabla. También se hace la sumatoria de los valores comprendidos en el rango entre las 5-6 y las 18-19 horas de dicho mes, que es el periodo horario en el cual se presenta radiación solar durante el día. Con esta sumatoria se obtiene el promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes respectivo.

A manera de ejemplo, en la tabla 2 se muestra el cálculo de la radiación global acumulada diaria para los meses de enero y febrero del año 2005 en cualquier estación, los cuales se generarían y presentarían en la última fila de la tabla.

**Tabla 2. Estructura para el cálculo del promedio horario mensual de la radiación global por año
Ejemplo año 2005 (PHMRGA - 2005)**

Hora	Mes					
	Enero	Febrero	..	..	..	Diciembre
0 - 1	A1 Enero 2005 = Promedio de todas las horas 1 de todos los días del mes de Enero (viene de PHRGM - Enero 2005)	A1 Febrero 2005 = Promedio de todas las horas 1 de todos los días del mes de Febrero (viene de PHRGM - Febrero 2005)	..	..	..	..
1 - 2	A2 Enero 2005= Promedio de todas las horas 2 de todos los días del mes de Enero (viene de PHRGM - Enero 2005)	A2 Febrero 2005= Promedio de todas las horas 2 de todos los días del mes de Febrero (viene de PHRGM - Febrero 2005)	..	..	..	..
:	:	:
23 - 24	A24 Enero 2005= Promedio de todas las horas 24 de todos los días del mes de Enero (viene de PHRGM - Enero 2005)	A24 Febrero 2005 = Promedio de todas las horas 24 de todos los días del mes de Febrero (viene de PHRGM - Febrero 2005)	..	..	..	..
Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria	B1 Enero 2005 = Sumatoria de las horas del mes entre las 5-6 y las 18-19 (Enero 2005)	B2 Febrero 2005 = Sumatoria de las horas del mes entre las 5-6 y las 18-19 (Febrero 2005)	..	..	..	..

*** Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria**

Una vez se obtiene el promedio mensual de la radiación global acumulada diaria de un mes en particular, este valor se promedia con los resultados correspondientes para los mismos meses de los

otros años que comprenden la serie histórica de la estación, para obtener el promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria.

A manera de ejemplo, en la tabla 3 se muestra el cálculo del promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para los meses de enero y febrero en cualquier estación, en este caso para el periodo 2005 – 2020, los cuales se generarían y presentarían en la última fila de la tabla. Adicionalmente, se calcula el promedio de la radiación global acumulada diaria para cada año, el cual se presenta en la última columna de tabla, así como el promedio anual multianual de la radiación global acumulada diaria, el cual se presenta en la última fila de la última columna y se calcula al promediar los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria de los 12 meses y no con los promedios de la radiación global acumulada diaria para cada año. Estos valores corresponden al resultado estadístico esperado en la guía “Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie” de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, (DANE 2020).

Los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, de las estaciones seleccionadas son los valores que finalmente hacen parte del indicador de esta variable, cuyo título es: Promedios mensuales de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para las principales ciudades del país. Las fichas técnicas completas se pueden consultar en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/clima>.

Tabla 3. Estructura para el cálculo del promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria. Ejemplo serie histórica 2005 a 2020

Año	Mes						Promedio anual de la radiación global acumulada diaria
	Enero	Febrero	..	..	..	Diciembre	
2005	B1 (viene del acumulado de Enero de PHMRGA 2005)	B2 (viene del acumulado de Febrero de PHMRGA 2005)					D 2005 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 2005
2006	B1 (viene del acumulado de Enero de PHMRGA 2006)	B2 (viene del acumulado de Febrero de PHMRGA 2006)					D 2006 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 2006
:	:	:					:
2020	B1 (viene del acumulado de Enero de PHMRGA 2020)	B2 (viene del acumulado de Febrero de PHMRGA 2020)					D 2020 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 2020
Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria (de toda la serie)	C1 Enero = promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para enero	C2 Febrero = promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para febrero					Promedio anual multianual de la radiación global acumulada diaria

* **Promedio horario mensual multianual de la radiación global**

En forma similar a lo que se presenta en la tabla 2, relacionada con el Promedio horario mensual de la radiación global por año, se promedian los valores de la radiación global en la misma hora, para los mismos meses, en todos los años disponibles de la serie histórica, para así obtener los Promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global. Adicionalmente y tal como se hace en la tabla 2, se hace la sumatoria de los valores comprendidos en el periodo entre las 5-6 y las 18-19 horas de dicho mes, para obtener el promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria de toda la serie. Este promedio debe ser igual al obtenido en la tabla 3, calculado a partir de los promedios mensuales.

A manera de ejemplo, en la tabla 4, se presenta la forma en que se deben calcular dichos valores, en todos los rangos horarios de cada mes, para los años comprendidos entre 2005 y 2020, en cualquier estación.

Tabla 4. Estructura para el cálculo del promedio horario mensual multianual de la radiación global

Hora	Mes					
	Enero	Febrero	..	..	..	Diciembre
0 – 1	Promedio de la radiación global de todas las horas 1, de todos los meses de Enero, de toda la serie histórica	Promedio de la radiación global de todas las horas 1, de todos los meses de Febrero, de toda la serie histórica	..	..	..	..
1 – 2	Promedio de la radiación global de todas las horas 2, de todos los meses de Enero, de toda la serie histórica	Promedio de la radiación global de todas las horas 2, de todos los meses de Febrero, de toda la serie histórica	..	..	..	..
:	:	:
23 - 24	Promedio de la radiación global de todas las horas 24, de todos los meses de Enero, de toda la serie histórica	Promedio de la radiación global de todas las horas 24, de todos los meses de Febrero, de toda la serie histórica	..	..	..	..
Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria	E1 = Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para enero	E2 = Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para febrero	..	..	..	..

Estaciones convencionales

Como se ha mencionado anteriormente, los diferentes promedios de la radiación global para estaciones convencionales, se obtienen a partir de gráficas que generan valores acumulados diarios. También en estos casos, el objeto de las estructuras de cálculo que se presentan a continuación, es el de generar los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria. Estas estructuras de cálculo están implementadas en la base de datos DHIME, para generar estos promedios a través de reportes.

	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 10 de 24

* **Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año**

En las estaciones convencionales se promedian los valores acumulados diarios de la radiación global en un mes, para obtener el Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria. A manera de ejemplo, en la tabla 5 se muestra como se calcula dicho valor durante el mes de enero y febrero para el año de 1990, en cualquier estación.

Tabla 5. Estructura para el cálculo del promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año

Día	Mes					
	Enero	Febrero	..	..	..	Diciembre
1	Radiación global acumulada diaria (día 1 del mes de Enero del año 1990)	Radiación global acumulada diaria (día 1 del mes de Febrero del año 1990)				
2	Radiación global acumulada diaria (día 2 del mes de Enero del año 1990)	Radiación global acumulada diaria (día 2 del mes de Febrero del año 1990)				
:	:	:				
31	Radiación global acumulada diaria (día 31 del mes de Enero del año 1990)					
Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria	F1 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Enero año 1990	F2 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Febrero año 1990				

* **Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria**

Una vez se obtiene el promedio mensual de la radiación global acumulada diaria de un mes en un año en particular, este valor se promedia con los resultados correspondientes para los mismos meses de los otros años que comprenden la serie histórica de la estación, para obtener el promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria.

A manera de ejemplo, en la última fila de la tabla 6, se muestra la manera en que se debe calcular el promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria, para los años comprendidos entre 1990 y 2000 en cualquier estación. Adicionalmente, se calcula el promedio de la radiación global acumulada diaria para cada año, el cual se presenta en la última columna de tabla, así como el promedio anual multianual de la radiación global acumulada diaria, el cual se presenta en la última fila de la última columna y se calcula al promediar los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria de los 12 meses y no con los promedios de la radiación global acumulada diaria para cada año. También este valor corresponde al resultado estadístico esperado

en la guía “Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie” de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, (DANE 2020).


Tabla 6. Estructura para el cálculo de los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria

Año	Mes						Promedio anual de la radiación global acumulada diaria
	Enero	Febrero	..	..	..	Diciembre	
1990	F1 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Enero año 1990	F2 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Febrero año 1990					D 1990 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 1990
1991	F1 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Enero año 1991	F2 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Febrero año 1991					D 1991 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 1991
:	:	:					:
2000	F1 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Enero año 2000	F2 = Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria del mes de Febrero año 2000					D 2000 = promedio anual de la radiación global acumulada diaria del año 2000
Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria (de toda la serie)	C1 Enero = promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para enero	C2 Febrero=promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para febrero					Promedio anual multianual de la radiación global acumulada diaria

Parámetros No aplica.

Estándares estadísticos empleados En la sección 1.1.4 (Identificación de conceptos) de la Metodología para la Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, se exponen algunos conceptos estandarizados que, de manera conjunta, ayudan a construir un marco de referencia armónico en relación al uso final de la radiación global (OMM, 2017) y (OCDE, 2020). En dicha sección también se detallan los referentes internacionales y nacionales existentes para la operación estadística y el papel desempeñado por cada uno.

Adicionalmente, se tienen en cuenta las recomendaciones dadas por la OMM en sus diferentes guías, directrices y manuales, en donde se destaca la Guía N.º 8 (OMM, 2017), la cual muestra la

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 12 de 24

metodología para la medición y calibración de los piranómetros, así como la nomenclatura y otros aspectos que este organismo define en relación a la variable radiación solar global. Los elementos de este documento de la OMM, se trabajan paralelamente con estándares manejados a nivel mundial, los cuales son promovidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO por sus siglas en inglés - International Organization for Standardization).

Entre las series ISO enfocadas a la medición de la radiación solar global, con fines energéticos se encuentran:

- ISO 9059 (1990). Energía Solar - Calibración de pirheliómetros en campo por comparación con un pirheliómetro de referencia.
- ISO/TR 9901(1990). Energía Solar - Piranómetros en campo: práctica recomendada de uso.
- ISO 9847 (1992). Energía Solar - Calibración de piranómetros en campo por comparación con un piranómetro de referencia.
- ISO 9846 (1993). Energía Solar - Calibración de un piranómetro usando un pirheliómetro.
- ISO 9060 (2018). Energía Solar - Especificación y clasificación de instrumentos para medir la radiación solar hemisférica y la radiación solar directa.

Universo de estudio El universo de estudio es la atmosfera.

Población objetivo La población objetivo de la operación estadística se define como “La atmósfera sobre el territorio colombiano con una superficie continental e insular de 1.141.748 km² (según IGAC)”.

Unidades estadísticas **Unidad de Observación.** La unidad de observación corresponde a la atmósfera medida en el punto de monitoreo de la estación meteorológica en un tiempo determinado.

Unidad de muestreo. No aplica.

Unidad de Análisis. La unidad de análisis corresponde a la estación meteorológica.

Marco (censal o muestral) No aplica el marco estadístico ni la selección de la muestra, ya que la población objetivo es la radiación global que atraviesa la atmósfera y llega a la superficie del territorio colombiano.


Fuentes La fuente de los datos de la radiación global es la red nacional de estaciones del IDEAM, la cual es de tipo básico, es decir, está destinada al conocimiento general de la climatología. La fuente son los sensores instalados en estaciones convencionales (principalmente actinógrafos y algunos piranómetros) y en estaciones automáticas satelitales (piranómetros) en superficie. Los sensores de estas últimas estaciones, los cuales se empezaron a instalar en el país desde el año 2005, son los que actualmente se encuentran funcionando, ya que en ese mismo año se decidió desmontar los actinógrafos que el IDEAM tenía en operación en estaciones convencionales.

Tamaño de muestra No aplica.

Diseño muestral La metodología estadística definida para la presente operación estadística es del tipo de muestreo no probabilístico, debido a que no se toma en cuenta algún algoritmo aleatorio para la selección de los puntos de emplazamiento de las estaciones; es decir, no es posible conocer las probabilidades de selección a priori.

La selección de la muestra se hace con el objetivo de realizar seguimiento a elementos atmosféricos y para el caso de la radiación global, la muestra corresponde a la porción de la atmósfera sobre la cual tiene influencia una estación de medición.

La magnitud promedio de cobertura de las mediciones de la radiación global, de acuerdo a técnicos de empresas fabricantes de piranómetros, como Kipp & Zonen, se podría estimar de entre 30 a 40 km en terreno plano y para zonas montañosas depende de sus características, tales como la forma, su cercanía, entre otras.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 13 de 24

Debido a que dicho elemento meteorológico no puede ser medido en todos los puntos del espacio e intervalos de tiempo en forma continua, se define una red de medición (Red de estaciones meteorológicas para Colombia) de acuerdo a criterios científicos, técnicos y logísticos los cuales se describen a continuación:

Propósito de las mediciones: Corresponde a la respuesta en datos o información a diversas necesidades:

- Estudios del clima, así como para la generación de datos y productos a los sectores productivos.
- Evaluación de los potenciales de esta variable, lo que permite gestionar nuevo conocimiento relacionado con la cuantificación de la disponibilidad de las energías renovables en Colombia.

Condiciones de infraestructura de la red de estaciones meteorológicas: En la “Guía para la operación y mantenimiento en las estaciones meteorológicas convencionales” del IDEAM, se establecen los siguientes requisitos que deben satisfacer los sensores meteorológicos en estaciones convencionales: exactitud, sensibilidad, especificidad de respuesta, linealidad de la respuesta y la Confiabilidad. En el caso de la radiación global, se especifican dichos requisitos para el elemento Brillo Solar (esta es una forma alternativa para hacerle el seguimiento a la radiación solar). Adicionalmente se presentan en el anexo 9 de la Metodología de la Operación Estadística Radiación Global Recibida en Superficie, una ficha con las especificaciones técnicas que deben tener los sensores que miden la radiación global en la red nacional de estaciones automáticas del IDEAM, según el estándar ISO 9060 (2018) y la recomendación de la OMM (OMM, 2017).

Locación: Se define la representatividad de la red a partir de los siguientes criterios de locación:

- La determinación de estaciones redundantes permite a los administradores de las redes considerar posibles opciones para optimizarlas.
- La densidad y distribución de las estaciones climatológicas que se establecerán en una red terrestre de una zona dada dependen de los elementos meteorológicos que vayan a observarse, la topografía y la utilización de las tierras en la zona y las necesidades de información de los elementos climáticos concretos en cuestión.
- Las estaciones deberán estar localizadas de manera que proporcionen características climáticas representativas que se ajusten a todos los tipos de terreno.
- La red de estaciones climatológicas principal deberá tener una separación media máxima de 500 kilómetros y entre las estaciones en altitud para fines climáticos deberá haber una separación media máxima de 1.000 kilómetros.
- Se deberá establecer y mantener en funcionamiento por lo menos una estación climatológica de referencia para determinar las tendencias climáticas.

Emplazamiento: Las siguientes consideraciones se aplican a la elección del emplazamiento y a los requisitos de exposición de los instrumentos de una estación sinóptica o climatológica típica en una red regional o nacional (OMM, 2017):

- Los instrumentos exteriores deberían instalarse en terreno llano, en lo posible con una dimensión no inferior a 25 metros por 25 metros cuando haya muchas instalaciones, pero en los casos en los que haya relativamente pocas instalaciones (ver figura 2) el terreno puede ser mucho más pequeño, por ejemplo, de 10 m por 7 m (el recinto). El terreno debería estar cubierto de hierba corta o de una superficie representativa de la localidad, rodeada de una cerca o estacas para impedir la entrada de personas no autorizadas. La figura 2 muestra un ejemplo de la distribución de una estación (tomado de OMM, 2010).
- No debería haber laderas empinadas en las proximidades.
- El emplazamiento debería estar lo suficientemente alejado de árboles, edificios, muros u otros obstáculos.
- El registrador de radiación solar, ha de exponerse de manera que satisfagan sus requisitos y, preferentemente, en el mismo lugar (mástil) que los demás instrumentos tales como el pluviómetro, el anemómetro, etc.

- Cuando haya árboles o edificios a cierta distancia del entorno del recinto de instrumentos que impidan divisar con suficiente amplitud el horizonte, deberían elegirse otros puntos para las observaciones de radiación solar.

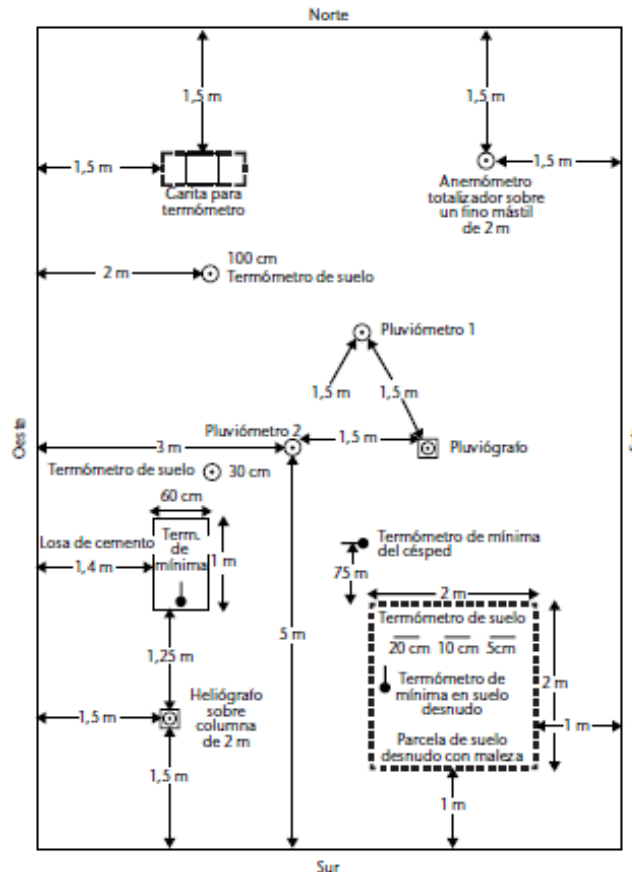


Figura 1. Disposición de una estación de observación en el hemisferio norte que muestra las distancias mínimas entre las instalaciones. Fuente: Tomado de OMM, 2010

Algunas de las consideraciones anteriormente señaladas, son en cierto modo contradictorias y requieren soluciones intermedias, debido a lo anterior, a continuación, se ofrece información pormenorizada sobre la instalación de los piranómetros y por ende la correcta medición de la variable.

Precisión

La precisión está dada con el factor obtenido en el proceso de calibración, el cual recibe el nombre de “factor de ajuste” y es aceptado únicamente si se encuentra dentro del rango de error permisible para el tipo de medición respectiva (no mayor al 5%).


Mantenimiento de la muestra

Instalación y mantenimiento de los piranómetros

Según la Guía N.º 8 de la OMM (OMM, 2017), se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- “El emplazamiento elegido para colocar un piranómetro debería estar libre de obstáculos por encima del plano del sensor y ser fácilmente accesible. Si no es posible reunir esas condiciones, el emplazamiento debería estar lo más libre posible de obstáculos que pudieran arrojar sombra en algún momento del año. El piranómetro no debería estar situado cerca de paredes de color claro o de otros objetos que pudieran reflejar sobre él la energía solar; tampoco se debería exponer a fuentes de radiación artificial.

- *En la mayoría de los lugares, una azotea plana constituye un buen lugar para instalar el soporte del radiómetro. Si ello no fuera posible, se debería utilizar un soporte instalado a cierta distancia de los edificios o de otros obstáculos.*
- *Antes de empezar a instalar un piranómetro debería efectuarse un reconocimiento del lugar, cada vez que se modifique la ubicación de aquel o se produzca algún cambio apreciable en relación con los obstáculos de los alrededores.*
- *En la descripción de la estación debería figurar la altitud del piranómetro sobre el nivel del mar (es decir, la altitud de la estación más la altura del piranómetro sobre el suelo), así como su longitud y latitud geográficas.*
- *La posibilidad de acceder a los instrumentos para inspeccionarlos con frecuencia es probablemente la consideración más importante a la hora de seleccionar un emplazamiento.*
- *El piranómetro debería estar sujeto firmemente al soporte que se utilice, valiéndose para ello de los orificios practicados en las patas del trípode o en la placa de sustentación (ver figura 3). Se deberían adoptar siempre las precauciones necesarias para evitar que el instrumento esté sometido a golpes o vibraciones mecánicas durante la instalación.*
- *En la instalación debería orientarse el piranómetro de manera que los cables que emergen o el conector estén situados al norte de la superficie receptora en el hemisferio norte (y al sur de la misma en el hemisferio austral). Con esto se reducirá al mínimo el calentamiento de las conexiones eléctricas por el Sol. Si hay torres en las inmediaciones, el instrumento debería situarse en el lado de la torre que mira al ecuador, y lo más lejos posible de ella.*
- *No debería permitirse que la radiación reflejada del suelo o de la base irradie el cuerpo del instrumento desde abajo. Puede utilizarse un dispositivo cilíndrico que proporcione sombra, pero hay que tener cuidado de no perturbar la ventilación natural, que deberá ser suficiente para mantener el cuerpo del instrumento a la temperatura ambiente.*
- *A continuación debería asegurarse ligeramente el piranómetro con tornillos o clavijas de sujeción, y nivelarlo con ayuda de los tornillos niveladores y del nivel de burbuja proporcionados con el instrumento. Después habría que apretar los tornillos de sujeción, procurando no alterar el montaje, para que conforme a las indicaciones del nivel de burbuja, la superficie receptora se mantenga en posición horizontal.*
- *El soporte o plataforma debería ser suficientemente rígido para que el instrumento esté protegido de los golpes fuertes y para que no se altere la posición horizontal de la superficie receptora, especialmente en períodos de viento fuerte y de energía solar intensa.*
- *El cable de conexión del piranómetro con su registrador debería disponer de un conductor doble y ser impermeable. El cable tendría que estar fijado firmemente al soporte con el fin de reducir al mínimo las roturas o las desconexiones intermitentes en caso de viento. Siempre que sea posible, el cable debería estar adecuadamente protegido bajo el suelo cuando el registrador esté situado a cierta distancia del instrumento. Se recomienda utilizar cables apantallados, conectando a tierra el piranómetro, el cable y el registrador con un conductor de baja resistencia. Al igual que en otros tipos de dispositivos termoelectrónicos, conviene obtener una unión permanente cobre-cobre entre todas las conexiones antes de soldarlas. Todas las uniones expuestas deberán ser impermeables y estar protegidas de cualquier daño físico. Una vez identificada la polaridad del circuito, podrá conectarse la otra extremidad del cable al sistema de recopilación de datos, con arreglo a las instrucciones pertinentes.*
- *Los piranómetros de funcionamiento continuo deberían inspeccionarse como mínimo una vez al día, y posiblemente con mayor frecuencia, por ejemplo, cuando se efectúen observaciones meteorológicas. Durante esas inspecciones, debería limpiarse y secarse la cúpula de vidrio del instrumento (teniendo cuidado para no alterar las mediciones de rutina durante el período diurno). Una comprobación diaria debería permitir asegurarse de que el instrumento esté nivelado, de que no se haya formado condensación en el interior de la cúpula, y de que las superficies del detector se mantengan negras.*
- *Si sobre la cúpula se forma un depósito de arena o de suciedad debido a la contaminación local, la limpieza debería efectuarse con mucha suavidad, preferiblemente después de haber soplado la mayor parte del material menos adherido o tras humedecerlo un poco, para evitar que se raye la superficie, ya que esta acción abrasiva puede alterar apreciablemente las propiedades*

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 16 de 24

originales de transmisión del material. Los desecantes deberían estar cargados de material activo (por lo general, un gel de sílice que cambia de color) en todo momento.

La posición de una estación indicada en el modelo del geode terrestre 1996 (EGM96) del Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS-84) debe conocerse y registrarse con precisión. Las coordenadas de una estación son la latitud, la longitud y la altura de la estación sobre el nivel medio del mar (en metros).

Para llevar un control en cuanto a las labores de instalación, operación y mantenimiento de las estaciones meteorológicas y los piranómetros del IDEAM, se debe tener en cuenta lineamientos institucionales, que se establecen en los siguientes procedimientos:

- M-GDI-H-P008 Procedimiento de Instalación, Operación y Mantenimiento de Equipos Electrónicos En Estaciones Hidrometeorológicas Automáticas (IDEAM, 2020c).
- M-GDI-H-P010 Procedimiento de Instalación y Puesta en Funcionamiento de Equipos Electrónicos en Estaciones Hidrometeorológicas Automáticas Nuevas (IDEAM, 2020d).

De igual forma se lleva el registro de la información asociada en los siguientes formatos:

- M-GDI-H-F039 Formato Inspección de Estaciones Meteorológicas
- M-GDI-H-F003 Formato Hoja de Inspección Estación Automática Hidrometeorológica

Por otro lado, para asegurar el correcto funcionamiento, operación de la medición de la variable e radiación global, se realiza adicionalmente la calibración del sensor, siguiendo estrictos estándares nacionales e internacionales.

Cualquier variable o magnitud sujeta a medición, requiere la calibración del instrumento o sensor con el cual se obtiene.

La calibración es el proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia. Dicho procedimiento de comparación, genera un factor que ajusta los datos medidos.

La forma cuantitativa para aceptar las diferentes series de tiempo de radiación global y por ende los indicadores estadísticos producidos a partir de dicha información es a través de la corrección de los datos validados por medio de un factor de ajuste, el cual brinda precisión y exactitud en todos los resultados posteriormente obtenidos. Dicho valor, es obtenido por medio de un riguroso proceso de calibración de todos los sensores correspondientes a la red de estaciones automáticas del IDEAM. Este valor recibe el nombre de factor de ajuste y es aceptado únicamente si se encuentra dentro del rango de error permisible para el tipo de medición respectiva (no mayor al 5%). Una vez calculado el factor que cumpla la anterior condición, esta se procede a aplicar sobre los datos obtenidos en la medición que se realizó con el instrumento respectivo.

Información auxiliar

Análisis realizados

Una vez identificados los diferentes promedios y las herramientas a partir de las cuales estos son generados, se proceden a analizar en forma descriptiva los resultados estadísticos obtenidos, por medio de los siguientes instrumentos:

- Análisis de los resultados en las estaciones del IDEAM:

- A través de los promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global, se permite hacer un análisis del comportamiento de la radiación global en las primeras horas de Sol en el día (de 5 a 7 a.m.) y hacia las últimas horas (de 5 a 7 p.m.), para ver la influencia del verano e invierno del hemisferio norte en la intensidad de la radiación a esas horas. También se determina el máximo valor horario de la radiación durante el día, para cada uno de los meses del año.
 - Mediante los promedios mensuales de la radiación global acumulada diaria, se puede verificar que tan alejados o no están dichos resultados, respecto a los valores correspondientes a otros años y a los promedios mensuales multianuales en la misma estación.
 - Recurriendo a los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, se puede verificar que tan alejados o no están los anteriores resultados, respecto a los valores correspondientes a otras estaciones del IDEAM (automáticas y convencionales) que estén ubicadas cerca a la estación.
- Comparación con otras fuentes: a través de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, se puede verificar que tan alejados o no están los resultados del IDEAM, respecto a los valores correspondientes a otras fuentes que estén ubicadas cerca a la estación.
 - Comparación con otras variables meteorológicas: debido a que existe una relación directa entre los valores de radiación global con los de brillo solar y en forma inversa con la variable precipitación, se pretende contrastar los promedios mensuales y anuales multianuales disponibles para estas tres variables. Cuando no exista valores de brillo solar y precipitación en el mismo lugar, se toman los de la estación más cercana.

Debido a que el brillo solar o heliofanía corresponde a las horas de Sol al día (HSD), su relación con la radiación global es mucho más fuerte que con cualquier otra variable.


- Verificar el comportamiento de los promedios mensuales y anuales con base a eventos meteorológicos: en algunos casos, es necesario analizar con mayor detenimiento los promedios de radiación global, asociándolos a la ocurrencia de fenómenos de variabilidad climática (principalmente El Niño o La Niña). Por otro lado, aunque existen condiciones predominantes durante el año, asociados a periodos secos y de lluvias, no siempre se puede asociar y casi que estandarizar todos los resultados y comportamientos a estas temporadas.

Con base a lo anterior, en estos análisis entra a desempeñar un papel muy importante el criterio técnico y la experiencia de varios años, de los profesionales que han trabajado con esta variable, para examinar con detenimiento dichas situaciones.

- Comparación con estaciones modeladas: es posible obtener información de radiación global a partir de los datos de brillo solar, mediante la aplicación del Modelo Ångström-Prezcott de primer grado. Después de su aplicación a las series históricas diarias de brillo solar, se pueden obtener las series históricas de la radiación acumulada diaria y comparar los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global de estaciones modeladas con los de estaciones automáticas o convencionales del IDEAM.

Bases de datos

DHIME: este portal permite el acceso a las herramientas de gestión de series temporales, datos de laboratorio, acceso bajo demanda a datos oficiales, apoyado en mapas inteligentes, herramientas analíticas y geoinformación del IDEAM. DHIME es una plataforma que integra diferentes productos de software y está compuesta por las siguientes aplicaciones (ver figura 15):

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 18 de 24

- Aquarius: pertenece a la firma Aquatics Informatics, líder global en el desarrollo de software para la gestión de datos hidrometeorológicos. Dado que es una plataforma por la cual el IDEAM paga una licencia, no se tiene la documentación de su desarrollo, ya que estos son exclusivos del propietario.
- ArcGIS: es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, agrupando bajo el nombre genérico ArcGIS varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica.
- Módulo personalizado: usado para extender las funcionalidades a la medida de las que no son cubiertas por los anteriores productos, como son: Catálogo de estaciones, Módulo de administración y operación de red, funcionalidades utilizadas internamente por los equipos de hidrología y meteorología y reportes personalizados.

Cobertura geográfica

La cobertura geográfica para la operación estadística es nacional.

Periodo de referencia

De acuerdo al tipo de estación, convencional o automática, se obtienen datos de radiación global en forma diaria u horaria respectivamente.

Se cuenta con información diaria desde el año 1974 (estación Ingenio Manuelita, que es el sensor más antiguo en ser instalado), generada en los actinógrafos de las estaciones convencionales, los cuales dejaron de funcionar entre los años 2003 y 2005.

Los datos que están en forma horaria (y por ende sus promedios horarios), se encuentran disponibles a partir del año 2005, cuando entro en funcionamiento la red de piranómetros del IDEAM (instalados en estaciones automáticas). Dichos sensores una vez miden los datos, los transmiten satelitalmente, quedando finalmente almacenados y disponibles en el software HYDRAS 3 del Instituto.

Para ambos casos, tanto para estaciones convencionales como automáticas, el periodo exacto al cual pertenece la información se puede identificar en los títulos de los cuadros de resultados y, depende de los siguientes aspectos:

- El tipo de salida de la información: la información se publica en cuadros de resultados, información geográfica y datos meteorológicos en línea. Cada uno de estos resultados corresponden a un periodo diferente para cada estación.


- La fecha de instalación de la estación y su estado: la red meteorológica nacional es dinámica, a través del tiempo se han instalado nuevas estaciones y otras se han suspendido, lo cual hace variable el periodo de referencia para cada una de ellas. Es importante tener en cuenta que la información recolectada de radiación global, se mantiene disponible al público aun cuando la estación se encuentre suspendida y haya sido calibrado el sensor de radiación.

Periodo y periodicidad de recolección

Periodo de recolección

Los sensores de radiación de las estaciones automáticas del IDEAM tienen una frecuencia de lectura en minutos y agregan la información a nivel dosminutal (cada dos minutos, pero esto solo se hace en algunas estaciones de aeropuertos) y horario. Los datos minútales se promedian entre sí, para obtener de esta manera un único valor representativo de la hora a la que pertenecen, el cual es el que finalmente se reporta en la serie de tiempo.

De acuerdo a como se configure la plataforma de medición, se puede reportar además de las series de tiempo horarias, los datos de manera dosminutal y diezminutal.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 19 de 24

A partir del año 2004, no se hace recolección de datos de radiación solar global provenientes de actinógrafos, los cuales estaban instalados en estaciones convencionales (mecánicas). Los actinógrafos generaban durante el día una gráfica, la cual representaba la radiación global acumulada diaria.

Método de recolección o acopio

Métodos de recolección de datos

En la operación estadística no se usan instrumentos de lectura directa o registradores, a través de los cuales se obtenga información que deba ser ingresada manualmente en formatos, para luego ser transmitida a alguna plataforma.

Actualmente el instrumento o sensor con el que se mide la variable radiación global de forma automática es el piranómetro, el cual también puede ser configurado para que los datos, además de ser reportados de forma horaria, lo hagan de manera dosminutal. Este elemento se mide en Wh/m².

Los piranómetros ubicados en cada una de las estaciones del IDEAM capturan la variable y los resultados correspondientes a estas mediciones son enviados automáticamente a un sistema receptor de datos y a una base de datos central.

A continuación, se hace la descripción de los radiómetros, nombre genérico que se le da al grupo de instrumentos que miden la radiación solar, entre los que se encuentran los piranómetros (actualmente en funcionamiento), pirheliómetros y actinógrafos.

Instrumentos de medida de la radiación solar

La radiación solar se mide en forma directa utilizando instrumentos que reciben el nombre de radiómetros y en forma indirecta, mediante modelos matemáticos de estimación que correlacionan la radiación global con el brillo solar.

Los radiómetros solares como los piranómetros y los pirheliómetros, según sus características, pueden servir para medir la radiación solar incidente global (directa más difusa), la directa (procedente del rayo solar), la difusa y la neta. Los radiómetros se pueden clasificar según diversos criterios: el tipo de variable que se pretende medir, el campo de visión, la respuesta espectral, etc.

- Piranómetro

Es el instrumento más usado en la medición de la radiación solar (ver figura 2). Mide la radiación semiesférica directa y difusa (la suma de estas dos es la radiación global) sobre una superficie horizontal en un ángulo de 180 grados, obtenida a través de la diferencia de calentamiento de dos sectores pintados alternativamente de blanco y negro en un pequeño disco plano. Cuando el aparato es expuesto a la radiación solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos. Esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente generándose un voltaje eléctrico proporcional a la radiación solar incidente. En la variación de la temperatura puede intervenir el viento, la lluvia y las pérdidas térmicas de la radiación al ambiente. Por lo tanto, el piranómetro tiene instalado una cúpula de vidrio óptico transparente para proteger el detector, que permite la transmisión isotrópica.

del componente solar y sirve para filtrar la radiación entre las longitudes de onda que oscilan aproximadamente entre 280 y 2800 nanómetros.



a. Piranómetro Blanco y Negro Eppley (BWP)



b. Piranómetro espectral de precisión Eppley (PSP)



c. Piranómetro CMP11 (Fuente: Thies Klima)

Figura 2. Piranómetros. Fuente: Tomado de IDEAM, (IDEAM, 2018)

Un piranómetro acondicionado con una banda o disco parasol, que suprime la radiación directa, puede medir la radiación difusa.

De acuerdo con las especificaciones de la OMM existen varias clases de piranómetros, los cuales son clasificados por la ISO 9060 en patrones secundarios, de primera y segunda clase. Generalmente, los de primera emplean una termopila como elemento de detección. Los de segunda, emplean las fotocélulas como elemento de detección y son menos costosos que los otros tipos de piranómetros empleados generalmente. Los piranómetros de primera clase son los usados normalmente para medir la radiación solar global. Un ejemplo de piranómetro de primera clase es el blanco y negro Eppley de la figura 2(a) y otro de patrón secundario es el espectral de precisión Eppley (ver figura 2(b)).

El sensor en todas las estaciones satelitales del IDEAM es el piranómetro CMP 11 de la empresa alemana Adolf Thies GmbH & Co. KG, mostrado en la figura 2(c).

Se pueden usar filtros en lugar de la bóveda de cristal para medir la radiación en diversos intervalos espectrales como, por ejemplo, la radiación ultravioleta. En las aplicaciones que requieren datos de radiación ultravioleta no se deben emplear los piranómetros de principio fotovoltaico debido a que estos no son sensibles a la radiación UV (IDEAM, 2018).


Desagregación de resultados

Desagregación geográfica. No aplica. Los fenómenos meteorológicos son independientes a la desagregación o división territorial.

Desagregación temática. Los resultados son presentados con la siguiente desagregación: la radiación global acumulada diaria se presenta por medio del indicador de la radiación global acumulada diaria, en las principales ciudades del país.

Frecuencia de entrega de resultados

Las series de tiempo en DHIME y los promedios mensuales y anuales multianuales de radiación global recibida en superficie de la página web del IDEAM, se actualizan de forma anual. Por otro lado, los mapas de radiación global del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, se actualizan aproximadamente cada 10 años.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 21 de 24

Periodos disponibles para los resultados

Macrodatos. Se determinan los siguientes promedios horarios y mensuales de la radiación global en las estaciones automáticas (generados desde los más sencillos hasta los más agregados) y obtenidos a partir de datos horarios:

- Promedio horario de la radiación global por mes
- Promedio horario mensual de la radiación global por año
- Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria
- Promedio horario mensual multianual de la radiación global

Y los siguientes promedios mensuales de la radiación global, son los obtenidos en estaciones convencionales a partir de datos diarios:

- Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año
- Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria

Hasta este momento, para la elaboración de los cuadros de salida son tomadas en cuenta las series históricas para 119 estaciones automáticas (con información comprendida entre los años 2005 y 2019) y 34 estaciones convencionales (aproximadamente con información comprendida entre los años 1970 y 2004).

Microdatos anonimizados. No aplica.

Medios de difusión y acceso


La comunicación y difusión de la información se hace a través de los siguientes medios de carácter institucional:

- * **Página web del IDEAM**

En lo relacionado con la radiación global, en la página web se publica:

- Cuadro de salida: Contiene la información para el principal cuadro de resultados. Estos indicadores hacen referencia a la información estadística esperada por el SEN del DANE, los cuales son actualizados y puesto a disposición del público anualmente, en la siguiente página web: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>, específicamente en la parte de: Indicadores y estadísticas ambientales; Consulte los indicadores y estadísticas ambientales; Clima; Promedio mensual de la irradiación global acumulada diaria recibida en superficie; Tabla de datos, en donde finalmente se encuentra la opción de seleccionar y descargar la anterior información en formato Excel. Las estaciones para las cuales se presentan estos resultados se relacionan en la tabla 18.
- Gráficas: Contienen los diagramas de barras, con los resultados mes a mes para las estaciones que conforman el principal cuadro de resultados de la operación estadística. La anterior información, puede ser consultada a través de la siguiente página web: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>, específicamente en la parte de: Indicadores y estadísticas ambientales; Consulte los indicadores y estadísticas ambientales; Clima, Promedio mensual de la irradiación global acumulada diaria recibida en superficie; Gráfica, en donde además de existir la opción de imprimir, se encuentra la posibilidad de descargar las imágenes en los siguientes formatos: png, jpeg, pdf y svg.

Como elemento adicional a la información de tipo estadístico, en la Página Web del IDEAM, específicamente en la sección de la Química de la Atmósfera, se presenta para la radiación global: información técnica de esta variable, el Programa Nacional de Radiación Solar, la variación espacio – temporal, aspectos relacionados con la calibración y la Referencia Mundial de Radiación, productos de seguimiento, entre otros temas. La anterior información puede ser consultada en: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	<p>FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE</p>	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 22 de 24

* **Plataforma DHIME del IDEAM**

En esta página se pueden descargar:

- Datos meteorológicos en línea: La plataforma DHIME, cuenta con un módulo de consulta que permite la difusión de la información. El control y acceso están definidos por los requerimientos y bajo las Políticas de seguridad y privacidad de la información con que cuenta el IDEAM.

Las series de tiempo validadas, tanto para estaciones automáticas como convencionales, quedan disponibles para la descarga de usuarios externos a través del siguiente link: <http://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/>, seleccionando la opción “Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos”.

En el “Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos DHIME”, el cual se encuentra como documento relacionado, se explica al usuario externo la forma general para descargar las series de tiempo.

- Cuadros de salida: En esta parte se tiene que hacer la siguiente discriminación:
Para estaciones automáticas: Promedio horario de la radiación global por mes, Promedio horario mensual de la radiación global por año, Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria, Promedio horario mensual multianual de la radiación global. Para estaciones convencionales: Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año y Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria.


Los anteriores reportes son manejados internamente por el Instituto en el portal DHIME, a través del siguiente link: <http://dhime.ideam.gov.co/webgis/home/>, seleccionando la opción “Módulo personalizado”, que se encuentra la parte inferior derecha de la página. Se espera que a partir del año 2022 los usuarios externos puedan acceder a estos resultados.

Como elemento adicional, el DHIME cuenta con un Portal Geográfico que sirve como punto de encuentro de usuarios donde se accede a la información de microdatos y metadatos, consultas que pueden ser realizadas de acuerdo a diferentes criterios de selección temporales y geográficos, que pueden ser descargadas en archivos planos para facilitar el uso por parte de los usuarios finales.

* **Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia**


Dicho documento del IDEAM y la UPME, puede ser consultado a través de los siguientes enlaces web:

- <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/atlas-de-colombia> (Tanto la versión PDF como la virtual).
- https://drive.google.com/drive/folders/1lupz5gcz7fVy-595*3ybNVJ-5zkDA-6T?usp=sharing (Versión PDF. Si no puede acceder al Drive, copie la dirección y péguela en Google Chrome)
- <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>. (Versión virtual).

	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 23 de 24

Ficha Metodológica para la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie

Fecha	Versión	Datos del autor o de quien ajustó la guía	Descripción de los ajustes
Noviembre de 2022	2,0	<p>Nombre funcionario: Henry Oswaldo Benavides Ballesteros</p> <p>Cargo: Profesional Especializado del Grupo de Clima y Agrometeorología Contratista Contratista</p> <p>Dependencia: Subdirección de Meteorología</p> <p>Entidad: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM</p> <p>Correo electrónico: hbenavides@ideam.gov.co</p> <p>Teléfono: 57 (1) 3527160 Ext.1402</p> <p>Dirección: Calle 25D No. 96B – 70, Bogotá D. C., Colombia</p> <p>Cítese como: Benavides, H. O., Ayala, L. y Sepúlveda U. D. (2021). Ficha Metodológica para la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie (Versión 1,0). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.</p>	Elaboración de la segunda versión de la Ficha Metodológica para la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie.
Agosto de 2021	1,0	<p>Nombre funcionario: Henry Oswaldo Benavides Ballesteros Leonardo Ayala Poveda Uriel Dionisio Sepúlveda Plazas</p> <p>Cargo: Profesional Especializado del Grupo de Clima y Agrometeorología Contratista Contratista</p> <p>Dependencia: Subdirección de Meteorología</p> <p>Entidad: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM</p> <p>Correo electrónico: hbenavides@ideam.gov.co</p> <p>Teléfono: 57 (1) 3527160 Ext.1402</p> <p>Dirección: Calle 25D No. 96B – 70, Bogotá D. C., Colombia</p> <p>Cítese como:</p>	Elaboración de la primera versión de la Ficha Metodológica para la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	FICHA METODOLÓGICA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	Código: M-GCI-F004
		Versión: 02
		Fecha: 30/11/2022
		Página: 24 de 24

		Benavides, H. O., Ayala, L. y Sepúlveda U. D. (2021). Ficha Metodológica para la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie (Versión 1,0). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.	
--	--	---	--

<p>ELABORÓ:</p> <p>Henry Oswaldo Benavides Ballesteros Profesional Especializado del Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología</p>	<p>REVISÓ:</p> <p>Helmer Alexis Guzmán López Coordinador del Grupo de Climatología y Agrometeorología Subdirección de Meteorología</p>	<p>APROBÓ:</p> <p>Hugo Armando Saavedra Umba Subdirector de Meteorología Subdirección de Meteorología</p>
--	--	---