



**METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 2

FECHA : 30/11/2022

Página: 1 de 135



IDEAM

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

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

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 2 de 135

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. FASE 1. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES.....	10
1.1.1. Identificar necesidades.....	10
1.1.2. Consulta y confirmación de necesidades.....	14
1.1.2.1. Variables requeridas por los usuarios.....	15
1.1.3. Definición de objetivos.....	16
1.1.4. Identificación de conceptos.....	16
1.1.5. Comprobación de la disponibilidad de datos.....	28
1.1.6. Exploración de la metodología estadística.....	29
1.1.7. Plan General.....	30
1.2 FASE 2. DISEÑO.....	31
1.2.1. Diseño temático.....	31
1.2.1.1. Necesidades de Información.....	31
1.2.1.2. Formulación de objetivos.....	31
1.2.1.3. Alcance.....	31
1.2.1.4. Marco de referencia.....	31
1.2.1.5. Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos.....	32
1.2.1.6. Plan de resultados.....	38
1.2.1.7. Estándares estadísticos utilizados.....	39
1.2.1.8. Diseño del cuestionario.....	40
1.2.1.9. Normas, especificaciones o reglas de edición e imputación de datos.....	40
1.2.2. Diseño estadístico.....	40
1.2.3. Diseño de la recolección/ acopio.....	47
1.2.3.1. Métodos de recolección de datos.....	48
1.2.3.2. Métodos de acopio de datos.....	58
1.2.3.3. Estructura de trabajo y planes de capacitación.....	68
1.2.4. Diseño del procesamiento y análisis.....	72
1.2.4.1. Diseño del procesamiento.....	72
1.2.4.2. Diseño del análisis.....	79
1.2.5. Diseño de la difusión y comunicación.....	82
1.2.5.1. Diseño de los sistemas de salida.....	82
1.2.5.2. Diseño de productos de comunicación y difusión.....	85
1.2.5.3. Entrega de productos.....	87
1.2.5.4. Estrategia de servicio.....	89
1.2.6. Diseño de los sistemas de producción y flujos de trabajo.....	90
1.2.7. Diseño de la evaluación de las fases del proceso.....	93
1.3 FASE 3. CONSTRUCCIÓN.....	97
1.3.1. Conformación del marco estadístico y selección de la muestra.....	97
1.3.2. Construcción de instrumentos de recolección/acopio.....	97

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 3 de 135

1.3.2.1. Registros gráficos	97
1.3.2.2. Procedimiento para la construcción y mantenimiento de los instrumentos de recolección.....	97
1.3.3. Construcción o mejora de componentes para el procesamiento y análisis	98
1.3.4. Construcción o mejora de componentes de difusión /comunicación	99
1.3.5. Configuración de flujos de trabajo	99
1.3.5.1. Flujos de trabajo	99
1.3.5.2. Mapa de riesgos	100
1.3.6. Pruebas al sistema de producción.....	101
1.3.7. Prueba piloto del proceso estadístico.....	102
1.3.8. Evaluación del diseño y la construcción	102
1.3.9. Finalización del sistema de producción	103
1.4 FASE 4. RECOLECCIÓN/ ACOPIO	104
1.4.1. Preparación de la recolección/acopio.....	104
1.4.1.1. Acopio de archivos o bases de datos del IDEAM.....	104
1.4.1.2. Acopio de archivos o bases de datos de otras fuentes	104
1.4.2. Ejecución de la recolección/acopio.....	105
1.4.2.1 Acopio de archivos o bases de datos del IDEAM.....	105
1.4.2.2. Acopio de archivos o bases de datos de otras fuentes	105
1.4.3. Cierre de la recolección / acopio	106
1.4.4. Evaluación de la recolección/ acopio.....	106
1.5 FASE 5. PROCESAMIENTO	107
1.5.1. Integración de datos	107
1.5.2. Clasificación y codificación	107
1.5.3. Revisión y validación	107
1.5.3.1. Datos del IDEAM	107
1.5.3.2. Datos de otras fuentes.....	108
1.5.4. Edición e imputación.....	108
1.5.5. Derivación de nuevas variables y unidades	108
1.5.6. Cálculo de ponderadores.....	108
1.5.7. Cálculo de agregaciones	109
1.5.8. Finalización de los archivos de datos	109
1.5.9. Evaluación del procesamiento.....	110
1.6 FASE 6. ANÁLISIS	111
1.6.1. Preparación de borradores de resultados	111
1.6.2. Validación de los resultados	111
1.6.2.1. Validación de los resultados en forma cuantitativa.....	112
1.6.2.2. Validación de los resultados en forma cualitativa.....	112
1.6.3. Interpretación y explicación de los resultados	114
1.6.4. Aplicación del control a la divulgación	115
1.6.5. Finalización de resultados	115
1.6.6. Evaluación del análisis	116

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 4 de 135

- 1.7 FASE 7. DIFUSIÓN 116
 - 1.7.1. Actualización de los sistemas de salida 116
 - 1.7.2. Generación de productos de difusión/ comunicación 117
 - 1.7.3. Gestión de la publicación de productos de difusión/ comunicación 117
 - 1.7.4. Promoción de productos de difusión/ comunicación 117
 - 1.7.5. Gestión de soportes de usuarios 118
 - 1.7.6. Evaluación de la difusión 118

- 1.8 FASE 8 EVALUACIÓN 119
 - 1.8.1. Concentración de insumos para la evaluación 119
 - 1.8.2. Evaluación 119
 - 1.8.3. Determinación de un plan de acción o mejora 119

- 2. DOCUMENTOS RELACIONADOS 122

- 3. BIBLIOGRAFÍA..... 123

- 4. ANEXOS..... 125

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 5 de 135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de los principales usuarios	11
Tabla 2. Resultados estadísticos esperados por el DANE	14
Tabla 3. Variables requeridas por los usuarios	15
Tabla 4. Marco legal de la operación estadística en Colombia	24
Tabla 5. Estructura para el cálculo del Promedio horario de la radiación global para el mes	33
Tabla 6. Estructura para el cálculo del promedio horario mensual de la radiación global por año	34
Tabla 7. Estructura para el cálculo del promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria.	35
Tabla 8. Estructura para el cálculo del promedio horario mensual multianual	36
de la radiación global.....	36
Tabla 9. Estructura para el cálculo del promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año.....	37
Tabla 10. Estructura para el cálculo de los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria.....	38
Tabla 11. Distribución de las áreas operativas del IDEAM.....	52
Tabla 12. Programas informáticos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME.....	66
Tabla 13. Infraestructura informática utilizada por HYDRAS 3.....	66
Tabla 14. Infraestructura informática utilizada en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME.....	67
Tabla 15. Esquema base de datos utilizada por HYDRAS 3.....	67
Tabla 16. Esquema base de datos utilizadas en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME.....	68
Tabla 17. Intervalos usados en los mapas de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global recibida en superficie.....	85
Tabla 18. Indicadores de evaluación para las fases de la Operación Estadística Radiación Global	93
Tabla 19. Evaluación y seguimiento de la Operación Estadística Radiación Global.....	95
Tabla 20. Indicador para la evaluación de la Operación Estadística Radiación Global	119
Tabla 21. Indicadores aplicados en cada una de las fases de la Operación Estadística	120

LISTA DE FIGURAS

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 6 de 135

Figura 1. Atenuación de la radiación solar por la atmósfera terrestre.	20
Figura 2. Disposición de una estación de observación en el hemisferio norte que muestra las distancias mínimas entre las instalaciones.....	44
Figura 3. Piranómetros.	49
Figura 4. Pirheliómetro de cavidad absoluta, serie PMO-6.	50
Figura 5. Pirheliómetro Eppley de incidencia normal.	50
Figura 6. Actinógrafo bimetálico, tipo Robitzsch-Fuess 58dc.....	51
Figura 7. Segunda jornada de calibración de piranómetros en Cartagena.	53
Figura 8. a) Piranómetro destapado (mide radiación global) y b) tapado (mide radiación difusa).....	55
Figura 9. Geometría de los rayos solares.....	55
Figura 10. Gráfica de correlación de los valores de Insenh contra ΔmV	56
Figura 11. Gráfica de correlación entre la irradiancia del sensor de referencia y la del logosens de la estación del aeropuerto de Yopal en el año 2014.	57
Figura 12. Gráfica de actinógrafo. Arriba gráfica del actinógrafo de la estación Nazareth en La Guajira para el 21 de julio de 1992. Abajo, área bajo la curva	57
Figura 13. Esquema general para el almacenamiento y transferencia de datos a través de HYDRAS 3.....	59
Figura 14. Página de presentación HYDRAS 3.....	60
Figura 15. Módulos de la plataforma DHIME.....	61
Figura 16. Procesos apoyados por DHIME	63
Figura 17. Sistema de producción y flujos de trabajo para la Operación Estadística Radiación Global del IDEAM	100
Figura 18. Mapa de riesgos para la Operación Estadística Radiación Global del IDEAM. ..	101
Figura 19. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para la estación Metromedellín.	113
Figura 20. Mapa con los Promedios anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para Colombia (actualizado al año 2017).	114

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 7 de 135

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Promedio horario de la radiación global por mes	125
Anexo 2. Promedio horario mensual de la radiación global por año	126
Anexo 3. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria	127
Anexo 4. Promedio horario mensual multianual de la radiación global	128
Anexo 5. Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año	129
Anexo 6. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para estaciones convencionales	130
Anexo 7. Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país	131
Anexo 8. Formato de Migración a DHIME para las series de tiempo históricas	132
Anexo 9. Requerimientos técnicos del sensor de radiación global	133

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 2
		FECHA : 30/11/2022
		Página: 8 de 135

LISTA DE ABREVIATURAS

CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
 CENICAFÉ: Centro Nacional de Investigaciones de Café
 CENICAÑA: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
 COMPES: Consejo Nacional de Política Económica y Social
 CPIQ: Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia
 CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas
 DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística
 DHIME: Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos
 DCP: Data Collection Platforms
 DNP: Departamento Nacional de Planeación
 EMAS: Estaciones Meteorológicas Automáticas Satelitales
 EPM: Empresas Públicas de Medellín
 EPSA: Empresa de Energía del Pacífico S.A.
 FEDEARROZ: Federación Nacional de Arroceros
 FNCE: Fuentes no Convencionales de Energía
 FULL: Fundación Universitaria Los Libertadores
 HIMAT: Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras
 IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
 IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
 IPSE: Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas
 ISO: International Organization for Standardization
 MNSC: Marco Nacional de Servicios Climáticos
 NASA: National Aeronautics and Space Administration
 OCDE: Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
 OMM: Organización Meteorológica Mundial
 ONU: Organización de Naciones Unidas
 PEN: Plan Estadístico Nacional
 SCMH; Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología y Meteorología
 SINA: Sistema Nacional Ambiental
 SEN: Sistema Estadístico Nacional
 UPME: Unidad de Planeación Minero Energética
 UPRA: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
 WRC: World Radiation Center
 WRR: World Radiometric Reference

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 9 de 135

1. INTRODUCCIÓN

La presente metodología de la operación estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, se realizó tomando como referencia el documento del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) “Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional (SEN), actualización 2020-2022, versión 2”, cuyo objetivo es orientar a las entidades del SEN en prácticas estandarizadas dentro de la producción estadística.

En este documento se desarrollan las ocho fases sugeridas y se exponen los subprocesos y actividades relacionadas con esta operación estadística, la cual, ha sido categorizada como **de muestreo no probabilístico**.

La aplicación de esta metodología 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 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), siguiendo las recomendaciones dadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y teniendo la trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación de Davos (Suiza), para que los datos generados 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 mensual y anual y se publica a través de tablas de datos, gráficas, cuadros de salida, información geográfica, en la página web institucional (sección de indicadores ambientales y de química de la atmósfera) y por medio del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (en sus versiones virtual y PDF).

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. Así mismo es un insumo para estudios en otras áreas, tales como, el cambio y la variabilidad climática, la calidad del aire, la química de la atmósfera, modelos climáticos y de predicción del tiempo y otros sectores entre los cuales se destacan, el agropecuario, salud e infraestructura.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 10 de 135

1.1. FASE 1. DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE NECESIDADES

Esta fase presenta la necesidad de realizar la operación estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie. También incluye los objetivos (general y específicos), el marco teórico, conceptual y normativo relevante a la radiación global, los referentes nacionales e internacionales, el alcance y algunas generalidades de la disponibilidad de datos, la metodología estadística a emplear y la elaboración del Plan General.

1.1.1. Identificar necesidades

La principal necesidad que se quiere satisfacer con esta operación estadística, es la de dar a conocer la gestión completa de la información (gestión del dato) y de las estadísticas de la radiación global producidas por el IDEAM, para cuantificar la disponibilidad de la energía solar en el territorio nacional, que se obtiene al estimar los promedios mensuales de la radiación solar que incide sobre el territorio colombiano a lo largo del año, lo cual facilita la identificación de regiones estratégicas con potenciales recursos para la solución de necesidades energéticas en la población.

Cada vez más se ha promovido el desarrollo y la utilización de las Fuentes no Convencionales de Energía (FNCE), principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético (IDEAM, 2018). La anterior iniciativa, de gran interés nacional, finalmente es materializada por el Congreso de la República de Colombia a través de la Ley 1715 de 2014, por la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional y se realizan importantes estímulos para su fomento y uso eficiente.

Siguiendo los lineamientos anteriores, algunos de los principales usuarios externos de información de la radiación global son:

- Los que desarrollan soluciones energéticas principalmente en las zonas no interconectadas a la red nacional, al igual que en el resto del país, porque facilita la información necesaria para el dimensionamiento de sistemas y soluciones tecnológicas solares, así como para el abastecimiento de energía eléctrica (en iluminación, comunicaciones, refrigeración y bombeo de agua).
- Los que diseñan soluciones para el suministro de calor, asociadas al calentamiento de agua o aire, el secado de productos agrícolas, climatización, entre otras aplicaciones.
- El sector agrícola para el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, el análisis de la evaporación e irrigación.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 11 de 135

- Otros usuarios particulares que solicitan la información para implementar el diseño de edificaciones energéticamente eficientes y otros de infraestructura.
- Finalmente, la información también es requerida por el sector académico y empresarial, con el objeto de seguir fomentando la investigación, precisamente en el campo de la generación de energía fotovoltaica, en estudios de variabilidad, cambio climático e implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos).

En el IDEAM hay usuarios internos que utilizan la información de la radiación global en la corrida de modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima, así como en estudios de agrometeorología y otros asociados con estudios climáticos.

a) Directorio de usuarios

A continuación, se presentan los principales usuarios de la información de radiación global:

Tabla 1. Caracterización de los principales usuarios

Entidad	Datos de contacto	Sector	Temáticas de Interés
Ministerio de Minas y Energía	José Muñoz (Dirección de energía) https://www.minenergia.gov.co/	Público/ Energético	Mapas, gráficos Potencialidad del recurso hídrico. Seguimiento a fenómenos niño y niña.
Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)	Henry Josué Zapata Lesmes https://www1.upme.gov.co/	Público/ Energético	Estudios y modelos de disponibilidad de potenciales energéticos renovables (sol, viento, agua, biomasa, océanos, geotermia) históricos, actuales, pronósticos de corto, mediano y largo plazo.
Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE)	Isabel Bustamante (Directora Centro Nacional de Monitoreo IPSE) https://ipse.gov.co/	Público/ Energético	Mapas y boletines del recurso solar, viento e hídrico, biomasa. Con énfasis en zonas no interconectadas.
Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	https://www.creg.gov.co/	Público/ Energético	Protocolos para la validación de series históricas de variables meteorológicas, con énfasis en radiación y viento.
Departamento Nacional de Planeación (DNP)	https://www.dnp.gov.co/	Público/ Rama Ejecutiva	Atlas de modelos de disponibilidad.
CELSIA-EPSA	https://www.celsia.com/es/	Privado/ Energético	En la producción de energía con plantas solares, la empresa utiliza la información que suministran agencias europeas sobre radiación.
Unidad de Planificación Rural	https://www.upra.gov.co/ 552 9820 Ext: 1361	Público/ Agropecuario	Comportamiento de la radiación global para el mejor desarrollo y programación de los cultivos.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 12 de 135

Agropecuaria (UPRA)			Espacialización de la radiación global para el sector agricultura.
Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ)	Diego Quintero email: diegoquintero@fedearroz.com.co	Privado/ Agropecuario	Comportamiento de la radiación en zonas arroceras.

Fuente: Adaptado de (IDEAM, 2017)

b) Necesidades de información

Después de hacer una estricta revisión de la información de radiación Global disponible en otras fuentes, se detectaron las siguientes limitantes.

- Muchas de estas fuentes reportan información generalmente sobredimensionada, debido a que se generaron datos con sensores que no fueron calibrados previamente en terreno o se obtuvieron de forma satelital, sin tener en cuenta la radiación que realmente llega a la superficie, o porque a los datos no se les aplicaron los criterios de validación apropiados, como es el caso de la página de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA por sus siglas en inglés - National Aeronautics and Space Administration), SolarGis, entre otras.
- El acceso a los datos e información de radiación global que generan algunas fuentes no es gratuito, lo cual dificulta su obtención por algunos sectores que no disponen de recursos económicos, como es el caso de particulares e investigadores, yendo en contra de iniciativas que promueven el libre acceso a la información.
- Existen fuentes que presentan información de radiación global con una baja resolución temporal y espacial de los datos que reportan.

c) Mecanismos de consulta desarrollados

De acuerdo a la razón de ser del IDEAM, relacionada con la generación de información para la toma de decisiones, tal como se establece en su planeación estratégica (IDEAM, 2020), el Instituto tiene definidos claramente mecanismos para conocer las necesidades de información meteorológica en diferentes escenarios y sectores del país, los cuales se mencionan a continuación:

- Marco Nacional de Servicios Climáticos (MNSC): El IDEAM ha enfocado su estrategia hacia la prestación de Servicios Climáticos, alineándose a las directrices internacionales emanadas por la OMM y basándose en los antecedentes citados. Prestar Servicios Climáticos consiste en elaborar y poner a disposición de nuestros usuarios, productos (información histórica, en tiempo real y anticipada) sobre el tiempo, clima, la variabilidad climática y el cambio climático, para que tomen decisiones climáticamente inteligentes en diferentes contextos a nivel nacional.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 13 de 135

El siguiente paso para consolidar esta estrategia consiste en la implementación del MNSC en compañía de los socios y actores nacionales más relevantes, con la finalidad de proveer mecanismos para la coordinación y la colaboración, que permitan un diálogo permanente y continuo en la identificación y priorización de las necesidades, y el establecimiento de una cadena coherente de valor para la coproducción y aplicación de los servicios climáticos.

En este sentido durante los meses de agosto y septiembre de 2017 se realizó la etapa de Evaluación de la Capacidad Nacional, en la que el IDEAM evidenció su oferta de servicios climáticos en términos de datos, productos y servicios.

En septiembre y octubre de 2017 se realizó el Taller de Consulta Nacional, en el que, desde el nivel directivo al nivel técnico, se dio a conocer la estrategia del Marco y se identificó conjuntamente los usuarios y los proveedores de los servicios climáticos, así como las necesidades de cada esfera priorizada (sector), para evidenciar la importancia de establecer una cadena de valor entre los actores. En el caso del sector energético se definieron las necesidades de datos, productos y servicios de los dos principales actores que participaron en el taller: i) empresas generadoras de energía e ii) institucionalidad pública. Las memorias del taller se presentan como evidencia.

- Las Mesas Técnicas Agroclimáticas: Son una iniciativa promovida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, en asocio con otras entidades, entre ellas el IDEAM. Estas mesas son un espacio de discusión en el que participan los gremios, el sector asegurador, los centros de investigación, la academia, entre otros, que se realiza mensualmente, para analizar la condición actual y futura del clima, desde el monitoreo y pronóstico del tiempo hasta la predicción en la escala mensual y trimestral, como insumo en la planificación y desarrollo de las actividades agropecuarias. También se analiza las necesidades de información por parte de este sector.
- Mesas de trabajo del IDEAM con el sector energético: buscan apoyar la toma de decisiones climáticamente inteligentes, en procura de un manejo integral de los recursos naturales, necesarios para un adecuado suministro de gas y energía eléctrica a nivel nacional. Dirigir al país, hacia prácticas energéticas sostenibles y adaptadas al clima permite avanzar en la extensión de actividades productivas amigables con el medio ambiente. A través del trabajo conjunto con los tomadores de decisión, en los ámbitos regional y nacional se procura optimizar la producción energética, minimizando las pérdidas asociadas a la variabilidad del comportamiento climático, mediante la transferencia oportuna de los análisis océano-atmosféricos. El IDEAM ha realizado algunas encuestas para conocer de primera mano las necesidades de los usuarios, que han participado en estas mesas de trabajo.
- También se han llegado a formalizar algunos acuerdos con entidades públicas y privadas para la entrega de información relacionada con la radiación global (UPME, XM, IPSE, ministerios, universidades, entre otras).
- Solicitudes de información meteorológica que hacen los usuarios al IDEAM, a través de los medios dispuestos para tal fin, tales como la página web, atención presencial y correo electrónico. Al respecto, el grupo de Servicio al Ciudadano elabora y pone a disposición del

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 14 de 135

público el informe de nivel de satisfacción del usuario y la caracterización de usuarios la cual puede ser consultada en <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana>.

- Las PQRS relacionadas a las necesidades de información de radiación solar, han tenido un incremento año a año, asociado con el interés al uso de este recurso renovable como fuente de energía. El tipo de información que se pide con mayor frecuencia son las series históricas de datos validadas y ajustadas con la constante de calibración y en segunda medida el acceso a los datos agregados y a los mapas nacionales que se presentan en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.
- El IDEAM anualmente identifica los sectores y tipos de usuarios que utilizan la información de la entidad. Es así que a través del documento “Caracterización de Usuarios”, (IDEAM, 2021b), se hace la clasificación y el perfilamiento de los interesados en los productos generados por el Instituto, así como de las dependencias a las que va dirigidas las PQRS, entre otros criterios, correspondientes a la vigencia 2020. En el documento, además, se puede destacar que la Subdirección de Meteorología, es la segunda dependencia del Instituto que más PQRS atiende, sin contar las que son redireccionadas desde el Grupo de Atención al Ciudadano. Por otro lado, los sectores de la ciudadanía, en los que esta Subdirección concentró sus eventos y actividades, corresponden a entidades públicas, seguido por el sector eléctrico con un 27,6% y 22,4% respectivamente.

1.1.2. Consulta y confirmación de necesidades

El resultado estadístico esperado en la operación estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, son los “Promedios mensuales multianuales de la radiación global” (DANE 2020a, Anexo B), y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados estadísticos esperados por el DANE

ENTIDAD RESPONSABLE	NOMBRE DE OPERACIÓN ESTADÍSTICA	OBJETIVO	PRINCIPALES RESULTADOS ESTADÍSTICOS
INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM)	Información de la Radiación Global Recibida en Superficie	Generar información sobre el comportamiento de la radiación global recibida en superficie durante el año en las principales ciudades del país, con el propósito de contribuir al conocimiento de la disponibilidad de la energía solar en el territorio nacional estratégicas, con potenciales del recurso, para la solución de necesidades energéticas de la población y para otros usos.	Promedio mensual multianual de la irradiación global acumulada diaria recibida en superficie y el promedio anual multianual de la irradiación global acumulada diaria recibida en superficie.

Fuente: Plan Estadístico Nacional 2020-2022

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 15 de 135

1.1.2.1. Variables requeridas por los usuarios

De acuerdo a las estrategias para llevar a cabo las consultas a usuarios (entidades públicas, privadas y sectores académicos y particulares), tal como se explicó en el numeral 1.1.1. (Identificación de necesidades), se pudo determinar que además de los Promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, el otro resultado estadístico esperado son las series de tiempo de la radiación global, de acuerdo al siguiente orden de importancia: horarias, diarias y dosminutales.

Finalmente, en la siguiente tabla se sintetizan todos los resultados estadísticos esperados.

Tabla 3. Variables requeridas por los usuarios

Solicitante	Resultado estadístico solicitado y/o esperado
Plan Estadístico Nacional	Promedios mensuales multianuales de la radiación global
Usuarios	Series de tiempo de radiación global, de acuerdo al siguiente orden de importancia: horarias, diarias y dosminutales.

Fuente: Elaboración propia

- Rango: la presente operación estadística involucra 119 estaciones automáticas del total de 160, que tienen instalado sensor de radiación global en el IDEAM y 34 convencionales, distribuidas a lo largo del territorio nacional. Sin embargo, en la página web del IDEAM, el resultado estadístico se presenta para 26 estaciones ubicadas en las principales ciudades del territorio nacional (ver listado en el anexo 7).

La información de radiación global tiene un impacto directo en la política pública, ya que este es un insumo fundamental para el fomento y desarrollo de las energías renovables en el país, a través del diseño de las diferentes tecnologías para el aprovechamiento de este recurso, que se ha venido impulsando en gran manera durante los últimos años, desde el marco normativo, financiero y de gestión pública, por medio de Conpes, planes de gobierno, leyes, entre otros. Lo anterior se ve reflejado en el Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050 (UPME, 2015), donde se presentan escenarios que contemplan el desarrollo de la radiación global en la canasta energética.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 16 de 135

1.1.3. Definición de objetivos

a) 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.

b) Objetivos específicos

- 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 de la constante 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.

1.1.4. Identificación de conceptos

Inicialmente es necesario confirmar que la operación estadística parta de una necesidad, la cual sea realmente congruente a lo establecido por referentes con aval internacional y que sean autoridad en la materia, para que además justifiquen la razón de ser de la operación estadística.

Con base a lo anterior, se trata de armonizar los conceptos que manejan dos importantes referentes internacionales. Uno de ellos la OMM, cuyo representante en Colombia es el IDEAM y por otro lado la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE).

La OMM es el organismo internacional que tiene como objetivo asegurar y facilitar la cooperación entre los servicios meteorológicos nacionales, promover y unificar los instrumentos de medida y los métodos de observación. Dicha organización dispone de la “Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos” (Guía N.º 8 de la OMM, 2017), la cual a su vez hace la siguiente referencia en cuanto a los propósitos relacionados con la medición de la variable de radiación:

“Los diversos flujos de radiación recibidos y emitidos por la superficie terrestre son algunas de las variables más importantes de la economía térmica de la Tierra en su totalidad, y de

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 17 de 135

cualquier punto de su superficie o de la atmósfera. Las mediciones de la radiación se emplean para:

- a) Estudiar las transformaciones de la energía en el sistema Tierra-atmósfera, así como sus variaciones en el tiempo y en el espacio;*
- b) Analizar las propiedades y distribución de los componentes de la atmósfera, como los aerosoles, el vapor de agua, el ozono, etc.;*
- e) Estudiar la distribución y variaciones de la radiación incidente, saliente y neta;*
- d) Responder a las necesidades de la biología, la medicina, la agricultura, la arquitectura y la industria en materia de radiación;*
- e) Verificar las mediciones de la radiación efectuadas por satélite, así como los algoritmos utilizados.”*

Para estas aplicaciones se requieren series periódicas de datos de los componentes de la radiación solar y terrestre en la superficie, recopilados por una vasta red de observación, así como la obtención de mediciones representativas de la radiación neta. Además de la publicación de las series de valores recopiladas por las diversas estaciones de observación, es esencial establecer climatologías de la radiación completas para evaluar de manera más precisa las variaciones diarias y estacionales de los distintos componentes radiativos del balance térmico general y, en consecuencia, para comprender mejor su relación con otros elementos meteorológicos” (OMM, 2017, p. 239).

La Guía N.º 8 de la OMM presenta de manera completa cada uno de los procedimientos con los cuales se recomienda medir los diferentes tipos de radiación solar, difusa, directa y reflejada y a su vez la radiación global que es la suma de la difusa y la directa.

Por otro lado, el Sistema Estadístico Nacional del DANE maneja la definición de energía solar, que a su vez es tomada de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE, en el Glossary of Statistical Terms), que manifiesta:

Energía solar: “Radiación solar aprovechada para producir agua caliente y la generación de electricidad a través de colectores planos, células fotovoltaicas o plantas solares termoeléctricas” (OCDE, 2020).

La anterior definición está enfocada hacia el uso de la radiación solar como fuente de energía. Sin embargo, es conveniente aclarar que la radiación global abarca otros campos de acción, en los cuales es utilizada en gran manera, como son la agricultura, salud, infraestructura, entre otros.

A continuación se expone el marco teórico, conceptual, legal y los referentes nacionales e internacionales de la operación estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, así como el alcance temático de la presente metodología.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 18 de 135

a) Marco teórico

El Sol es la principal fuente de energía para todos los procesos que ocurren en el sistema Tierra - atmósfera – océano. Más del 99,9 % de la energía que este sistema recibe proviene del Sol. Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en las áreas de ingeniería, arquitectura, agricultura, ganadería, salud humana y meteorología, dentro de las cuales se destacan: su empleo como fuente alternativa de energía en la generación de electricidad y en el diseño y uso de sistemas de calentamiento de agua, el diseño de edificios e infraestructura, el monitoreo del crecimiento de plantas, la deshidratación de alimentos, el análisis de la evaporación e irrigación, implicaciones en la salud (ej. cáncer de piel o tratamientos curativos), su importante rol en los modelos de calidad del aire y de predicción del tiempo y el clima y muchas otras aplicaciones y usos que emplean la radiación solar como una de sus fuentes de energía.

Además, conocer la disponibilidad de la radiación global en el territorio nacional es fundamental para el desarrollo sostenible del país, ya que su utilización en la generación de energía, sistemas de calentamiento y otras aplicaciones, puede remplazar el consumo de combustibles fósiles, que generan un impacto en diferentes temas de actualidad, a saber: calentamiento global, calidad del aire en centros poblados, lluvia ácida, generación de aerosoles, entre otros. El empleo de la radiación solar como recurso, también contribuye al desarrollo en zonas alejadas de las redes nacionales de transporte y distribución de energía.

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.

Las ondas electromagnéticas son producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, por lo que pueden atravesar el espacio y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (μ) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda\mu = C$ (donde C es la velocidad de la luz), son importantes para determinar su energía, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de $C = 299792$ km/s. La energía de una fracción diminuta de radiación, llamada fotón, es inversamente proporcional a su longitud de onda, entonces a menor longitud de onda mayor contenido energético

El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera. Mientras que el máximo de energía radiante del Sol se produce en $\lambda \sim 0,5 \mu\text{m}$, para la Tierra se presenta en $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 19 de 135

La energía emitida por el Sol se encuentra en los rangos de banda del ultravioleta, visible y el infrarrojo cercano. Aproximadamente un 99% de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra está contenida en la región entre 0,2 a 2,8 μm y se denomina radiación de onda corta, mientras que la mayor parte de la radiación terrestre se encuentra en la región entre 5,0 a 100,0 μm .

La región visible (entre $0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,7 \mu\text{m}$) corresponde a la radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano e incluye los colores: violeta (0,42 μm ó 420 nm), azul (0,48 μm), verde (0,52 μm), amarillo (0,57 μm), naranja (0,60 μm) y rojo (0,70 μm). La luz de color violeta es más energética que la luz de color rojo, porque tiene una longitud de onda más pequeña. La radiación con las longitudes de onda más corta que la correspondiente a la luz de color violeta es denominada radiación ultravioleta, la cual está entre 0,10 μm y 0,4 μm . Las hojas y las plantas se ven verdes, porque reflejan energía en longitudes de onda verde del espectro, con $\lambda \approx 0,55 \mu\text{m}$. La radiación en el rango visible del espectro, para el caso de las plantas, se define como “radiación fotosintéticamente activa”, PAR (por sus siglas en inglés). El rango del infrarrojo cercano de la radiación emitida por el Sol, se encuentra entre 0,70 μm y 4,0 μm .

A cada región le corresponde una fracción de la energía total incidente en la parte superior de la atmósfera (denominada radiación solar extraterrestre) distribuida así: 7,2% al ultravioleta; 47,2% al visible y 45,6% al infrarrojo cercano.

La disponibilidad de energía procedente del Sol depende de la localización geográfica de un punto en la Tierra (latitud, longitud, elevación), además de factores astronómicos como la época del año y la duración del día. Todos estos factores pueden ser determinados con menor o mayor grado de exactitud para estimar la cantidad de energía solar disponible. Sin embargo, el factor que afecta mayormente su disponibilidad efectiva son las nubes y otras condiciones meteorológicas (como la presencia de aerosoles), factores que varían según el lugar y el momento del día.

Los parámetros fundamentales que inciden en la cantidad de radiación disponible en la superficie terrestre son:

- La transparencia de la atmósfera, caracterizada por su “coeficiente de extinción” o por su “transmisividad”.
- La nubosidad y aspectos geográficos del sitio.
- El día del año y su duración astronómica (duración en horas desde la salida hasta la puesta del Sol).
- La elevación del Sol en el horizonte.
- La “heliofanía”, definida como el tiempo en horas durante el cual el Sol tiene un brillo solar efectivo.

El efecto de atenuación de la radiación solar al atravesar la atmósfera se muestra en la figura 1. La radiación que finalmente llega a la superficie de la Tierra se clasifica en radiación directa, difusa y global.

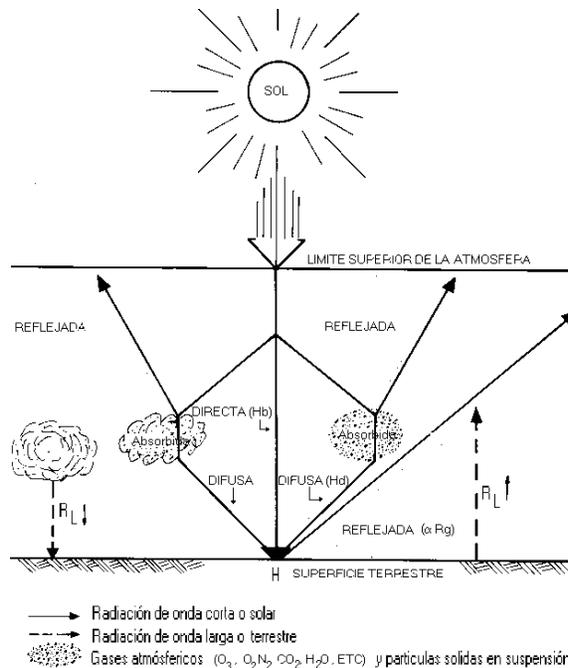


Figura 1. Atenuación de la radiación solar por la atmósfera terrestre.

Fuente: Tomado de IDEAM, (2005b)

b) Marco conceptual

Los principales conceptos y definiciones han sido adaptados por el IDEAM, teniendo en cuenta las definiciones de la OMM y otras fuentes relacionadas con el tema y se presentan a continuación:

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 nítrico. 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 21 de 135

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 termoeléctricas.

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

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 22 de 135

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 $\left(\frac{\text{Energía}}{\text{Area}}\right)$ 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 (Hd): 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

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 23 de 135

diferente 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.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 24 de 135

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.

c) Marco legal o normativo

Además de las regulaciones de la OMM, la normatividad relacionada con elementos climáticos en Colombia es muy numerosa y abarca desde leyes especiales hasta decretos y resoluciones de diversos organismos que regulan las materias. Una síntesis de la normatividad aplicable en el tema se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Marco legal de la operación estadística en Colombia

Norma	Aspectos relevantes
Constitución Política de Colombia	Capítulo 3 - De los derechos colectivos y del ambiente.
Ley 36 de 1961	Aprobación del Convenio de participación de Colombia en la Organización Meteorológica Mundial, ratificada el 5 de enero de 1962.
Decreto Ley 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Se crea el Sistema de Información Ambiental (Título IV)
Decreto 2858 de 1981	Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto-Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.
Ley 99 de 1993	Sistema Nacional Ambiental - Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.
Artículo 17 de la Ley 99 de 1993	El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, es un establecimiento público de carácter nacional adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con autonomía administrativa, personería jurídica y patrimonio independiente, encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio.
Decreto 1277 de 1994	Organización IDEAM - Por el cual se organiza y establece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM
Decreto 1603 de 1994	Artículo 2. "...Operar bajo la dirección del IDEAM, el Sistema de Información Ambiental, en coordinación con las Corporaciones, entes territoriales, centros poblados y demás instituciones del SINA, de acuerdo con las directrices que fije el Ministerio del Medio Ambiente."
Decreto 1683/97-UPME, Ley 143/94	Por el cual se crea la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Establecer la manera de satisfacer los requerimientos de energía teniendo en cuenta los recursos energéticos existentes, convencionales y no convencionales.
Creación del IPSE, 1999	Se crea el IPSE para promover, fomentar, desarrollar e implementar soluciones energéticas mediante esquemas empresariales eficientes, viables financieramente y sostenibles en el largo plazo, procurando la satisfacción de las necesidades energéticas de las Zonas No Interconectadas, ZNI, apoyando técnicamente a las entidades definidas por el Ministerio de Minas y Energía.
Artículo 13 del Decreto 291 de 2004: Funciones asignadas a la Subdirección de Meteorología del IDEAM	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar la investigación básica sobre meteorología para el mejor manejo de los recursos biofísicos del país. 2. Adelantar la investigación aplicada como apoyo a los sectores agrícola, de transporte, ambiental, marítimo y demás sectores económicos. 12. Aportar los criterios técnico-científicos para la instalación y operación de las estaciones meteorológicas de todo tipo: climatológicas, aeronáuticas, agrometeorológicas,, del instituto.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 25 de 135

	<p>13. Elaborar las guías y manuales sobre normalización y estándares de las observaciones meteorológicas y de los instrumentos, así como de las prácticas, procedimientos y metodologías para la toma de datos.</p> <p>14. Recolectar y procesar los datos de radiación ultravioleta y de ozono.</p> <p>15. Definir los protocolos de medición de las variables meteorológicas.</p> <p>17. Aplicar los estándares y la normatividad internacional de la OMM, para la instalación, operación y mantenimiento de las redes de estaciones meteorológicas de Colombia.</p> <p>19. Planear el desarrollo de las infraestructuras meteorológicas dentro del IDEAM para darle apoyo a los diferentes sectores de la economía nacional.</p> <p>20. Estructurar la información climática para el Sistema de Información Ambiental.</p>
Resolución 0281 del 22 de diciembre de 2006	Se crea el Grupo de trabajo de Climatología y Agrometeorología”, adscrito a la Subdirección de Meteorología, con el fin de analizar, caracterizar y regionalizar el clima nacional; determinar la variabilidad y el cambio climático del país en las escalas estacional, intraestacional, interanual, decadal e interdecadal; entre otras funciones. Estas actividades se enmarcan dentro del macroproceso de generación de nuevo conocimiento en Meteorología y dentro del macroproyecto de los servicios climáticos que prestará el IDEAM a los sectores económicos (agrícola, energía, salud, recursos hídricos y gestión del riesgo) con valor agregado.
Ley 1715 del 2014	Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional y se realizan importantes estímulos para el fomento de las energías renovables y el uso eficiente de la energía, cuya reglamentación impacta fuertemente el desarrollo de la utilización de estos recursos.
Decreto 1076 de 2015	Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Incorpora en un único decreto las disposiciones sobre el SIAC en cuanto al acceso a la información ambiental, la organización del IDEAM (Dec. 1277/1994) y del Sistema de Información Ambiental – SIA (Dec. 1600/1994).
Artículo 1.2.1.1.1. del Decreto 1076 de 2015: Objetivos del IDEAM	<p>4. “Obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, para el manejo y aprovechamiento de los recursos biofísicos de la Nación.....”.</p> <p>5. Establecer y poner en funcionamiento las infraestructuras oceanográficas, mareográficas, meteorológicas e hidrológicas nacionales para proveer informaciones, predicciones, avisos y servicios de asesoramiento a la comunidad.</p> <p>9. Realizar los estudios e investigaciones ambientales que permitan conocer los efectos del desarrollo socioeconómico sobre la naturaleza, sus procesos, el medio ambiente y los recursos naturales renovables y proponer indicadores ambientales.</p>

Fuente: Adaptadas de (DANE, 2013) y otras del IDEAM

d) Referentes internacionales

Los programas de medición se ejecutan bajo estándares internacionales de la OMM, entidad perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) con sede en Ginebra (Suiza), creada en 1946 para apoyar los servicios meteorológicos de los países, promover la cooperación entre ellos y estandarizar los instrumentos de medida y los métodos de observación. Colombia es país miembro de la OMM desde el 5 de enero de 1962. Inicialmente es aprobado un convenio con la OMM mediante la Ley 36 de 1961 y después es ratificada su participación el 5 de enero de 1962. Como país signatario del convenio debe cumplir con sus regulaciones en estas materias, así como otros 184 Estados y 6 territorios que también son miembros de la OMM. El IDEAM es el representante oficial del país ante este Organismo.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 26 de 135

El convenio facilita el intercambio libre y sin restricciones de datos, información, productos y servicios en tiempo real y en tiempo no real sobre aspectos relacionados con la hidrología y la meteorología, para velar por la seguridad y la protección de la sociedad, el bienestar económico y la protección del medio ambiente.

Mediante resoluciones y recomendaciones, la OMM fija políticas sobre la práctica del intercambio de datos y productos meteorológicos y afines, incluidas las directrices sobre relaciones en actividades meteorológicas comerciales, intercambio de datos y productos hidrológicos, métodos de observación, etc.

e) Referentes nacionales

En Colombia la legislación ambiental ha tenido un importante desarrollo en las últimas tres décadas, en especial, a partir de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medioambiente Humano de Estocolmo de 1972, cuyos principios se acogieron en el Código de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974). Éste se constituyó en uno de los primeros esfuerzos en Iberoamérica para expedir una normatividad integral sobre el medio ambiente.

Luego, en 1991, como fruto de la nueva Constitución Política colombiana, se redimensionó la protección medio ambiental, elevándola a la categoría de derecho colectivo y dotándola de mecanismos de protección por parte de los ciudadanos, en particular, a través de las acciones populares o de grupo y, excepcionalmente, del uso de las acciones de tutela y de cumplimiento.

En desarrollo de los nuevos preceptos constitucionales, y de acuerdo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo, de Río de Janeiro en 1992, se expidió la Ley 99 de 1993, que conformó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y creó el Ministerio del Medio Ambiente como su ente rector y los institutos de investigación entre ellos el IDEAM.

Específicamente en el tema de las observaciones meteorológicas, en 1969 con el propósito de estandarizar las mediciones y las observaciones y consolidar una red básica nacional de estaciones meteorológicas e hidrológicas, se organizó el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología (SCMH), con el aval de la OMM. Con el apoyo económico, técnico, científico y de gestión, la OMM y el SCMH comenzaron en la década de 1970, la instalación de estaciones meteorológicas e hidrológicas en el territorio colombiano. El SCMH planificó el desarrollo de la red básica nacional y consolidó una red meteorológica nacional compuesta por estaciones sinópticas, de radiosondas, climatológicas, agrometeorológicas, hidrométricas, pluviométricas y mareográficas.

Más adelante, en el año de 1976 el SCMH se convirtió en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT y en 1993, por medio de la Ley 99 se creó el IDEAM (antiguos SCMH e HIMAT). Mediante el Decreto 1277 de 1994 se le asignaron al IDEAM, entre otras funciones, la de obtener, almacenar, analizar, estudiar, procesar y divulgar la información básica sobre diversos aspectos biofísicos, dentro de los cuales se encuentra la meteorología, con el fin de dar manejo y aprovechamiento de los recursos.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 27 de 135

Respecto a la operación estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, el IDEAM es la entidad oficial encargada, a nivel nacional, para hacer el seguimiento a esta variable meteorológica y cuenta con la red más grande de estaciones y de mayor cobertura en el país. El IDEAM adquirió a principios de la década de los noventa un patrón nacional, del tipo pirheliómetro de cavidad Absoluta, serie PMO-6, con el cual calibró la totalidad de los sensores que estaban funcionando en su momento. Actualmente ese patrón no cuenta con certificación vigente de la Referencia Mundial de Radiación Solar (WRR), dada por el Centro Mundial de Radiación Solar de Davos (WRC), Suiza.

En el país, la (FULL) es la única entidad en el país, que cuenta con un patrón nacional del tipo pirheliómetro de Cavidad Absoluta de primer orden de precisión, con certificación vigente de la WRR, dada por el WRC de Davos, Suiza. Este pirheliómetro de incidencia normal, fue adquirido en el año 2013 y a finales del 2017 se envió a dicho centro para su calibración (cuyo certificado de calibración estará vigente hasta el año 2022) y se ha utilizado en los talleres de calibración de instrumentos radiométricos, en los cuales se han calibrado piranómetros subpatrón. Esta Universidad cuenta con el grupo de investigación en Energía Solar, el cual lidera el ingeniero Ovidio Simbaqueva quien fue funcionario del IDEAM y estuvo encargado del programa nacional de radiación en el Instituto durante más de 20 años. Con el apoyo de la FULL, el IDEAM ha realizado cerca de 200 jornadas de calibración de sensores de radiación global de las EMAS del Instituto desde el año 2014 y se han organizado tres talleres para la calibración de instrumentos radiométricos, en los cuales se han calibrado subpatrones (piranómetros), que miden en todo el ancho del espectro de la banda solar y que se utilizan para la calibración en terreno de los sensores de radiación global del IDEAM, lo cual ha mejorado la disponibilidad de la información de la radiación global en el país, que se ha utilizado en la actualización del Atlas Virtual de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (cuyo lanzamiento se realizó en el año 2015) y de su versión en PDF (cuyo lanzamiento se realizó en abril del 2018).

f) Alcance Temático

La aplicación de la presente metodología 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.

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.

 IDEAM <small>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</small>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 28 de 135

1.1.5. Comprobación de la disponibilidad de datos

Para la generación de información acerca de la radiación global, el IDEAM cuenta con una amplia red de sensores instalados en estaciones convencionales (principalmente actinógrafos y algunos piranómetros) y en estaciones automáticas satelitales (piranómetros) en superficie. Los sensores de estas últimas estaciones y que el IDEAM ha instalado en el país desde el año 2005, son los que actualmente se encuentran funcionando, ya que se decidió desmontar los actinógrafos que el IDEAM tenía en operación en estaciones convencionales, por las dificultades que se tenían en la evaluación de las gráficas generadas por estos, lo que hacía que los datos generados no tuvieran una buena disponibilidad.

Los actinógrafos generan información de radiación global acumulada diaria, mientras que los piranómetros de las estaciones convencionales y las automáticas satelitales 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; posteriormente la información horaria se agrega a nivel diario, mensual y anual.

En Colombia existen varias entidades que miden la radiación global y cuya información es confiable, ya que cuentan con una gran cantidad de estaciones, a las cuales le realizan calibraciones periódicas, estas son: Cenicaña, Cenicafé, la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el IPSE y Fedearroz. Teniendo en cuenta el alcance descrito en la sección anterior, la presente metodología se enmarca en las mediciones de la radiación global, realizadas tanto en estaciones meteorológicas convencionales, como automáticas satelitales en superficie del IDEAM, que hacen parte de la red nacional de medición, siguiendo las recomendaciones dadas por la OMM y teniendo la trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación de Davos (Suiza).

Otras entidades, tanto oficiales como particulares, que estén realizando mediciones de radiación global o deseen realizarlas a futuro, pueden tener como guía el presente documento, para que sigan los procedimientos y recomendaciones descritos y así los datos generados puedan ser confiables y comparables.

Los datos generados por la red de estaciones automáticas del IDEAM, cuentan con una buena cobertura espacial, aunque puede ser mejorada con la instalación de más sensores en puntos estratégicos de la región Caribe, Pacífica, Orinoquía y Amazonía, así como con la calibración de sensores a los que nunca se les ha realizado la calibración (cerca de 40). Estos datos se generan en forma continua, ya que, como son generados por Estaciones Meteorológicas Automáticas Satelitales (EMAS), que son las que actualmente están funcionando en el IDEAM, transmiten permanentemente desde que no existan fallas en la estaciones o en la transmisión de los datos, la cual es vía satelital. Después de realizarles los controles de calidad respectivos, aplicar los criterios de validación y la constante de calibración, los datos de radiación global se encuentran disponibles a todos los usuarios de manera gratuita.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 29 de 135

1.1.6. Exploración de la metodología estadística

Esta sección establece los elementos básicos para el diseño estadístico, tales como: el universo de estudio y la población objetivo sobre los cuales se fundamenta la operación estadística. También fija la periodicidad, los niveles de cobertura geográfica, el método de recolección de datos y presenta la definición de las unidades estadísticas: observación y análisis. **La metodología estadística definida para la presente operación estadística es del tipo de muestreo no probabilístico.**

a) Universo

El universo de estudio es la atmósfera.

b) 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)”.

c) 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 Análisis**

La unidad de análisis corresponde a la estación meteorológica.

d) Cobertura geográfica

La cobertura geográfica para la operación estadística es nacional.

e) Marco estadístico

No aplica.

f) Fuente de datos

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.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 30 de 135

La relación de las estaciones que componen la red hidrometeorológica se encuentra en el Catálogo Nacional de Estaciones, en el cual se incluye la siguiente información por cada estación: nombre, código, tipo, categoría, tecnología, estado, localización, área operativa a la que pertenece entre otros y puede ser consultada en el siguiente enlace <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>.

Las estaciones automáticas que portan los sensores de radiación global, son las que actualmente miden este elemento meteorológico, enviando los datos vía satélite a la sede central del IDEAM, donde softwares receptores de datos, como HYDRAS 3 y Polaris, los almacenan para posteriormente ser descargados y aplicarles los criterios de validación y la constante de calibración para que estos sean confiables, oportunos y estén disponibles a los usuarios.

g) Periodicidad

Esta Operación Estadística se ejecuta anualmente y la generación de información acerca de la radiación global se hace a través de:

- Información agregada de la radiación global: los actinógrafos generan información de radiación global acumulada diaria, mientras que los piranómetros de las estaciones convencionales y las automáticas satelitales 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; posteriormente la información horaria se agrega a nivel diario, mensual y anual.
- Indicadores meteorológicos: se define el indicador de la radiación global acumulada diaria en las principales ciudades del país.

El indicador y la información agregada de la radiación global se generan para un grupo de estaciones las cuales fueron seleccionadas en razón a que tienen el mayor número de las siguientes características: i) tecnología adecuada para capturar el dato, ii) generan datos precisos, ya que estos cumplieron los criterios de validación y el sensor de radiación ha sido calibrado, por lo que a los datos se les aplicó la constante de calibración iii) disponen de datos históricos que permitan análisis de series de tiempo, o iv) garantizan su permanencia en el tiempo.

1.1.7. Plan General

Los recursos técnicos, tecnológicos, informáticos, financieros y humanos para el desarrollo de la operación estadística, se especifican en el “Formato plan de actividades, presupuesto y cronograma de las operaciones estadísticas” (ver como evidencia documental) y, además, son descritos detalladamente en la sección de diseño del presente documento.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 31 de 135

1.2 FASE 2. DISEÑO

Esta fase de la metodología presenta el diseño de la operación estadística de la Información de la Radiación Global Recibida en Superficie. El diseño determina los métodos y los procedimientos con los que se reunirán, procesarán y analizarán los datos para cumplir los objetivos y satisfacer las necesidades de información. Los diseños se validan y a su vez se pueden ajustar de acuerdo con los resultados de las otras fases que se describen en la presente metodología, de la misma manera los diseños también se actualizan con el rediseño de la operación estadística a partir de nuevas necesidades de información y el cambio de las existentes.

1.2.1. Diseño temático

Esta sección presenta las necesidades de información que se han consultado y analizado, las cuales han permitido formular los objetivos de la operación estadística e incluye: el alcance, la contextualización y la delimitación del objeto de estudio desde el punto de vista teórico, conceptual, normativo, soportado con referentes nacionales e internacionales. Igualmente, contiene la definición de la variable, la construcción de los indicadores estadísticos y el plan de resultados. Asimismo, relaciona los estándares estadísticos que requiere la operación estadística para lograr la integración de los datos, la comparabilidad y la interoperabilidad de los sistemas de información.

1.2.1.1. Necesidades de Información

Para consultar este tema remítase a las secciones 1.1.1 y 1.1.2.

1.2.1.2. Formulación de objetivos

Para consultar este tema remítase a la sección 1.1.3.

1.2.1.3. Alcance

Para consultar este tema remítase a la sección 1.1.4. (Apartado f).

1.2.1.4. Marco de referencia

Para consultar este tema remítase a la sección 1.1.4.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 32 de 135

1.2.1.5. Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos

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.

a) Definición de radiación solar global

La radiación global es toda la radiación que llega a la Tierra, esta 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. Su evaluación se efectúa midiendo el flujo de esta energía por unidad de área e integrada en el tiempo, sobre la superficie horizontal expuesta al Sol, sin ningún tipo de sombra y cuyas unidades son Wh/m² (OMM, 2017).

La generación de información acerca de la radiación global se hace a través de:

- Información agregada de la radiación global: los actinógrafos generan información de radiación global acumulada diaria, mientras que los piranómetros de las estaciones convencionales y las automáticas satelitales 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; posteriormente la información horaria se agrega a nivel diario, mensual y anual.
- Indicadores meteorológicos: se define el indicador de la radiación global acumulada diaria en las principales ciudades del país.

b) 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 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 33 de 135

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 5 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. La anterior estructura corresponde al reporte del DHIME: *Promedio horario de la radiación global por mes*, el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 1.

**Tabla 5. 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
:	:	:					:
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)

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 34 de 135

*** 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 6 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. Esta estructura corresponde al reporte del DHIME: *Promedio horario mensual de la radiación global por año*, el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 2.

**Tabla 6. 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.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 35 de 135

A manera de ejemplo, en la tabla 7 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 metodología de la “Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie” de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, (DANE 2020a, Anexo B).

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 7. 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 2016 = 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

Esta estructura corresponde al reporte del DHIME: *Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria*, el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 3.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 36 de 135

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

En forma similar a lo que se presenta en la tabla 6, 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 6, 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 7, calculado a partir de los promedios mensuales.

A manera de ejemplo, en la tabla 8, 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. Esta estructura corresponde al reporte del DHIME: *Promedio horario mensual multianual de la radiación global*, el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 4.

Tabla 8. 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 37 de 135

acumulada diaria. Estas estructuras de cálculo están implementadas en la base de datos DHIME, para generar estos promedios a través de reportes.

*** 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 9 se muestra como se calcula dicho valor durante el mes de enero y febrero para el año de 1990, en cualquier estación.

La anterior estructura corresponde al reporte DHIME: *Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año*, el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 5.

Tabla 9. 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 10, 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

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 38 de 135

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

Esta estructura corresponde al reporte del DHIME: *Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria* (para estaciones convencionales), el cual se presenta con un ejemplo en el anexo 6.

Tabla 10. 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

1.2.1.6. Plan de resultados

Los resultados de la producción de información de la variable de radiación global son puestos a disposición del público a través de los productos que se relacionan a continuación:

- Cuadros de resultados: el principal cuadro de salida, contiene la información de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación solar global medida en superficie para las principales ciudades capitales de Colombia. Los anteriores indicadores de la variable, correspondientes a los resultados estadísticos esperados por el DANE, son actualizados y puestos a disposición del público anualmente, en la siguiente página web: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 39 de 135

Además del anterior cuadro de resultados, se encuentran los reportes correspondientes a cada uno de los promedios propuestos tanto para estaciones automáticas como convencionales, los cuales fueron definidos en la sección 1.2.1.5. Se espera que, a partir del año 2022, queden disponibles a los usuarios externos a través del Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME).

- Graficas de resultados: son diagramas de barras, que representan el comportamiento mes a mes del Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie, para cada una de las estaciones pertenecientes al principal cuadro de resultados. Estas graficas son actualizadas y puestas a disposición del público anualmente, a través de la siguiente página web:
<http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/indicadores>.
- Datos meteorológicos en línea: consulta y descarga de todas las series de tiempo validadas, tanto para estaciones automáticas como convencionales, a través del Sistema de Información para la Gestión de Datos Hidrológicos y Meteorológicos (DHIME). Dicha información es actualizada anualmente y se encuentra disponible para el usuario externo a través del siguiente enlace web: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>.
- Mapas: los correspondientes a los Promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie (con corte al año 2016), los cuales se encuentran en formato jpg y pdf en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia. El anterior documento, puede ser consultado a través del siguiente enlace web: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>.

1.2.1.7. Estándares estadísticos utilizados

En la sección 1.1.4 (Identificación de conceptos) 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 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:

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 40 de 135

- 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.

1.2.1.8. Diseño del cuestionario

Teniendo en cuenta que los datos para la variable de radiación solar global, son tomados a través de la lectura de un sensor electrónico y a su vez son almacenados en una base de datos en forma automática, no se requiere del diseño de un cuestionario para obtener información.

1.2.1.9. Normas, especificaciones o reglas de edición e imputación de datos

El proceso de validación y consistencia de datos se hace siguiendo los criterios de validación, los cuales se presentan en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento).

La imputación de datos para esta operación estadística, no aplica ya que no se agregan valores faltantes o se cambian los existentes.

1.2.2. Diseño estadístico

En el diseño estadístico se determina el universo de estudio, la población objetivo, las unidades estadísticas y la fuente de datos. Fija los niveles de cobertura y desagregación geográfica, el periodo de recolección y referencia, presenta la definición de las unidades estadísticas: observación y análisis, así como el diseño muestral y el ajuste de cobertura.

a) Elementos básicos para el diseño estadístico

Para la presente Operación Estadística, el universo de estudio, la población objetivo, las unidades estadísticas, la cobertura geográfica, el marco estadístico y la fuente de datos, podrán ser consultados en la sección 1.1.6.

*** Desagregación Geográfica**

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

*** Desagregación temática**

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 41 de 135

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.

b) Periodo de recolección y referencia

*** 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.

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.

*** 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:

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 42 de 135

- 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.

c) 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.

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” (IDEAM, 2021a), 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

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 43 de 135

hacerle el seguimiento a la radiación solar). Adicionalmente se presenta en el anexo 9, 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.

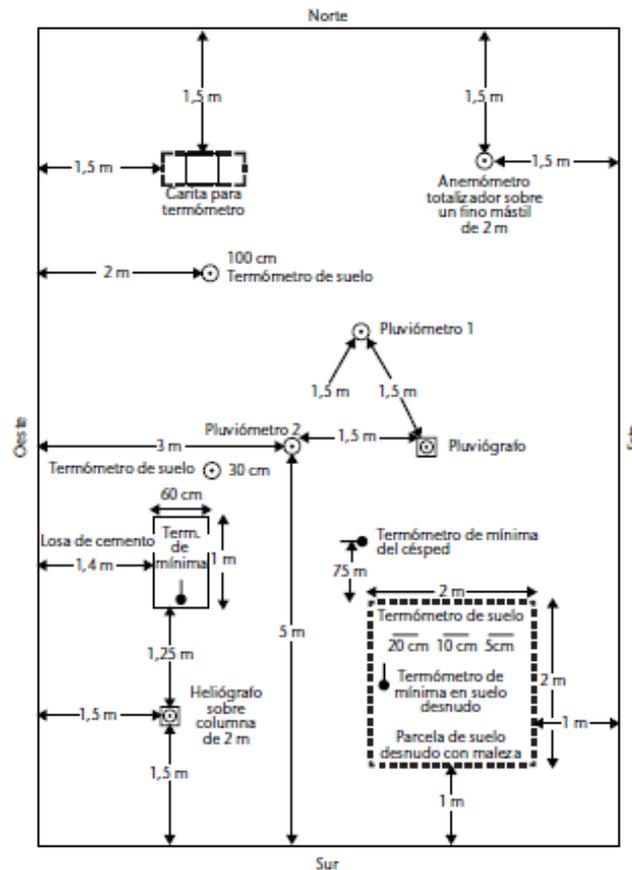


Figura 2. Disposición de una estación de observación en el hemisferio norte que muestra las distancias mínimas entre las instalaciones. Fuente: Tomado de OMM, 2010

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.

*** Funcionamiento de los piranómetros**

“Para alcanzar los niveles de incertidumbre deseables, deberían evaluarse algunas propiedades de los piranómetros y de los sistemas de medición, con el fin de estimar la incertidumbre de los datos resultantes. Por ejemplo, se ha puesto de relieve que, para un registro continuo de radiación global y en ausencia de mediciones auxiliares de radiación celeste difusa y de radiación directa, una incertidumbre inferior al 5% en los totales diarios representará el resultado de un trabajo bien hecho y meticuloso. Análogamente, cuando se utilice un protocolo similar al propuesto en OMM (1998), las incertidumbres de los totales diarios podrán llegar a ser del orden del 2%” (OMM, 2017).

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 45 de 135

*** Nivelación del sensor**

“Para realizar una medición exacta de la radiación global con un piranómetro es fundamental que el nivel de burbuja del instrumento indique cuándo el plano de la termopila se halla en posición horizontal” (OMM, 2017). La descripción de las pruebas que pueden realizarse para cumplir con el anterior requisito, se presentan en detalle en la Guía N.º 8 de la OMM.

Los anteriores aspectos son las condiciones básicas para la correcta medición de la radiación solar global, sin embargo, esta variable puede verse afectada por otros parámetros, tales como la temperatura, orientación, ángulo de incidencia, métodos de calibración, estimación de incertidumbres, entre otros, los cuales se encuentran explicados con un mayor grado de profundidad y detenimiento en la Guía N.º 8 de la OMM (OMM, 2017).

*** 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.*



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 1

FECHA: 19/08/2021

Página: 46 de 135

- *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 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 geoide 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).

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 47 de 135

d) Ajustes de cobertura

El ajuste de cobertura no aplica para la presente Operación Estadística.

e) Especificaciones de ponderadores

No aplica, ya que la operación estadística es por muestreo no probabilístico, es decir no se toma en cuenta algún algoritmo aleatorio para la selección de los puntos de emplazamiento de las estaciones, además, que no hay que establecer formulaciones matemáticas para el cálculo de factores de expansión y varianzas.

1.2.3. Diseño de la recolección/ acopio

De acuerdo a los Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional del DANE, así como la Guía para la elaboración del documento metodológico, al ser esta una operación estadística que utiliza fuentes alternativas relacionadas con instrumentos tecnológicos de medición (equipos electrónicos), como son los piranómetros y actinógrafos, en esta sección se describe:

- El uso de los instrumentos tecnológicos de medición.
- Los procedimientos para la calibración de los instrumentos y para las pruebas con el fin de verificar su funcionamiento.
- El procedimiento de medición correspondiente de las variables establecidas metodológicamente y para la generación del archivo de datos originales.
- Define los contenidos y el procedimiento de entrenamiento del personal que desarrolla las actividades de manera estandarizada.

Puesto que la Operación Estadística de Radiación Global no corresponde a una operación por muestreo probabilístico de tipo censal, no se tendrán en cuenta algunos numerales propuestos por la Guía para la Elaboración del Documento Metodológico de Operaciones Estadísticas, en la Fase 2.3: Diseño de la recolección/acopio. Por lo anterior, las secciones correspondientes a los métodos de recolección y acopio de datos, así como la estructura de trabajo y planes de capacitación, se desarrollan teniendo en cuenta las necesidades particulares de la presente operación estadística.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 48 de 135

1.2.3.1. 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/m^2 .

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.

a. 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 3). 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 isotrópica¹

1. Un material posee propiedades isotrópicas cuando sus valores medidos son iguales en cualquier dirección; por ejemplo, la rigidez o la conductividad.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 49 de 135

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



Figura 3. 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 3(a) y otro de patrón secundario es el espectral de precisión Eppley (ver figura 3(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 3(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).

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 50 de 135

*** Pirheliómetros**

Son instrumentos usados en 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.

i. Pirheliómetro de cavidad absoluta. El instrumento posee dos cavidades cónicas idénticas, una externa, que se calienta al estar expuesta a la radiación solar, mientras la otra cavidad, oculta en el interior del instrumento, se calienta utilizando energía eléctrica hasta obtener una temperatura igual a la cavidad externa. Finalmente, se le asigna el valor de la energía eléctrica consumida como el valor de la radiación solar incidente. La figura 4 presenta el pirheliómetro de cavidad absoluta, serie PMO-6, correspondiente al modelo que dispone el IDEAM, el cual, en la actualidad no tiene la certificación vigente de la WRR, dada por el WRC de Davos, Suiza.



Figura 4. Pirheliómetro de cavidad absoluta, serie PMO-6. Fuente: IDEAM (IDEAM, 2018)

ii. Pirheliómetros secundarios. Son Instrumentos que miden la radiación solar directa y se calibran por intercomparación con un Pirheliómetro de cavidad absoluta. Uno de los varios diseños existentes en el mundo es el Eppley de incidencia normal de la figura 5. Este posee un sensor de termopila compensada de bismutoplata con 15 juntas y un tiempo de respuesta de aproximadamente 20 s. Este instrumento requiere un dispositivo que le permita seguir el movimiento del Sol durante su tránsito diurno por el cielo. El pirheliómetro secundario es estable y puede emplearse como patrón secundario para calibrar otros instrumentos (IDEAM, 2018).



Figura 5. Pirheliómetro Eppley de incidencia normal. Fuente: IDEAM (IDEAM, 2018)

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 51 de 135

* **Actinógrafo**

Es un instrumento para registrar la radiación global que funciona mediante un sensor termomecánico, protegido por una cúpula en vidrio. Está conformado por un arreglo bimetalico de dos superficies, una pintada de color negro para absorber las ondas electromagnéticas de la radiación solar y la otra, de blanco para que las refleje y así ocasionar la diferencia de temperatura con el fin de formar curvatura en la placa negra que se amplifica por medio de palancas y se transmite a un tambor movido por un mecanismo de reloj para describir una gráfica que registra los valores de la radiación global. La precisión de los valores de la radiación global que se obtienen con este instrumento es del orden de $\pm 8\%$.

Estos instrumentos requieren una calibración con un patrón secundario una vez por año. El actinógrafo se diferencia de un piranómetro porque el sensor es una lámina bimetalica y el del piranómetro es una termopila.

La figura 6 muestra un actinógrafo Fuess, similar a los utilizados en Colombia por el IDEAM. Es de anotar que otras instituciones regionales como Cenicafé disponen de actinógrafos Belfor con precisiones de $\pm 6\%$.



Figura 6. Actinógrafo bimetalico, tipo Robitzsch-Fuess 58dc
 Fuente: IDEAM (IDEAM, 2018)

Cabe señalar que en la práctica, generalmente es difícil obtener mediciones de buena calidad y para las operaciones de rutina sólo pueden lograrse con un equipo moderno, adecuadamente mantenido (IDEAM, 2018).

b. Operación de los piranómetros en el país

Las estaciones automáticas que comprenden la red meteorológica se encuentran localizadas a lo largo del territorio nacional y su operación se encuentra a cargo del Grupo de Automatización del Instituto y de sus 11 áreas operativas, las cuales se encuentran distribuidas como se muestra en la tabla 11.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 52 de 135

Tabla 11. Distribución de las áreas operativas del IDEAM

Área Operativa	Ciudad Sede	Departamento
1	Medellín	Antioquia, centro y norte de Chocó
2	Barranquilla	Atlántico, norte y centro de Bolívar, Sucre, Córdoba
3	Villavicencio	Meta, Casanare, Vichada, Guainía, Vaupés, Guaviare
4	Neiva	Huila, Caquetá
5	Santa Marta	Magdalena, Guajira, norte y centro de Cesar
6	Duitama	Boyacá
7	Pasto	Nariño, Putumayo, sur de Cauca
8	Bucaramanga	Santanderes, Arauca, parte de Cesar, Bolívar y Boyacá
9	Cali	Valle, sur de Chocó, Eje Cafetero, norte de Cauca
10	Ibagué	Tolima
11	Bogotá	Cundinamarca, San Andrés, Amazonas

Fuente: Tomado de (IDEAM, 2019a)

Cada área operativa comprende un conjunto de estaciones, donde en cada una de ellas existe personal encargado de hacer mantenimiento general frecuentemente (mantenimiento operativo), que incluye la limpieza del sensor de radiación global (piranómetro).

Como apoyo técnico y administrativo, el IDEAM cuenta con el grupo de Planeación Operativa (que incluye al Grupo de Automatización), el cual es el encargado de proyectar las actividades para la operación y el mantenimiento de toda la red de estaciones automáticas, apoyándose en el Formato de inspección de estaciones meteorológicas (formato 8).

c. Mantenimiento técnico

En este punto es necesario aclarar la diferencia entre el mantenimiento operativo y el mantenimiento técnico a los cuales todos los piranómetros del IDEAM son sometidos. El primero consiste simplemente en la limpieza periódica del instrumento y el segundo y más complejo corresponde en asegurar el correcto funcionamiento, operación y 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 del ajuste de los datos validados por medio de un factor de corrección, 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 factor recibe el nombre de constante de calibración 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 calculada la constante que cumpla la anterior

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 53 de 135

condición, esta se procede a aplicar sobre los datos obtenidos en la medición que se realizó con el instrumento respectivo.

A continuación, se describe la metodología general del proceso de calibración de los radiómetros.

d. Calibración de radiómetros

En la calibración de sensores que miden la radiación directa y global, ya sea pirheliómetros, piranómetros o actinógrafos, se utiliza como referencia un pirheliómetro de cavidad absoluta de primer orden de precisión (ver figura 4), con certificación de la WRC de Davos (Suiza) y siguiendo las normas ISO. El país cuenta con dos pirheliómetros de este tipo, uno pertenece al IDEAM y el otro pertenece a la Fundación Universitaria Los Libertadores. En agosto de 2013, se realizó en Cartagena la segunda jornada de calibración de piranómetros (ver figura 7). Este evento fue organizado por el IDEAM y la Fundación Universitaria Los Libertadores, gracias al apoyo económico de la UPME y contó con la participación de 25 técnicos de diferentes entidades que miden la radiación global en el país, como Cenicaña, Cenicafé, CAR, Universidad Distrital, Universidad de Córdoba, Universidad del Tolima, la Fundación Universitaria Los Libertadores y el IDEAM.



Figura 7. Segunda jornada de calibración de piranómetros en Cartagena. (Fuente: IDEAM)

En este taller se calibraron algunos piranómetros que sirvieron de subpatrones para calibrar en terreno, los sensores de radiación global del IDEAM en su red de estaciones meteorológicas automáticas satelitales (EMAS).

*** Calibración de piranómetros**

La calibración de un piranómetro consiste en determinar un factor K de calibración, que correlacione los datos de radiación solar que mide con los datos de la referencia mundial. El método de calibración se ajustó a las normas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y puede llevarse a cabo de la siguiente forma:

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 54 de 135

- Por comparación con un pirheliómetro patrón (que mide solo la radiación directa) y el piranómetro que tiene un disco oscurecedor movable, de tal forma que el pirheliómetro patrón determina el haz solar directo y el piranómetro la radiación global y difusa en forma alternada, para después determinar la fracción directa.
- Por comparación con un piranómetro subpatrón que previamente haya sido calibrado con el pirheliómetro patrón.

En los dos casos los piranómetros deben ser calibrados en la posición normal de uso.

Calibración de Piranómetros utilizando un Pirheliómetro Patrón

El método de calibración de un Piranómetro utilizando un pirheliómetro como instrumento patrón (el cual solo mide la radiación solar directa que llega sobre una superficie normal al rayo solar), se basa en determinar la radiación solar que llega de forma perpendicular sobre el piranómetro y que se llama componente vertical de la radiación solar directa, cuyo valor es calculado por la expresión matemática $I_n \text{senh}$, siendo I_n el valor de la radiación directa y senh corresponde a la altura del Sol sobre el horizonte al momento de la medida.

La radiación solar global (R_G) es determinada por la igualdad:

$$R_G = I_n \text{senh} + R_d$$

R_d es la radiación que llega a la superficie terrestre después que ha sido difundida por la atmósfera en todas las direcciones y se denomina radiación difusa. Por lo tanto, para calibrar un piranómetro por este método, se realizan tres tipos de medidas: una para medir la radiación directa con el pirheliómetro y dos medidas consecutivas con el piranómetro cada 90 segundos, la primera con el piranómetro completamente libre de sombras y la segunda con un disco de sombra lo suficientemente pequeño que apenas sombree el tamaño del sensor del piranómetro y que va a corresponder a la radiación difusa, tal como se muestra en la figura 8.

En la figura 9 se presenta la geometría de los rayos solares como llegan a los instrumentos de medida: la radiación directa I_n que llega al pirheliómetro y la componente vertical de la radiación directa que llega al piranómetro $I_n \text{senh}$, sobre una superficie horizontal del horizonte geográfico del sitio de medida.

Las unidades eléctricas comúnmente usadas cuando se trata de radiómetros son los voltios (V), milivoltios (mV) o microvoltios (μV) y las unidades de irradiancia que por sugerencia de la OMM se vienen empleando desde 1980, son los vatios por metro cuadrado (W/m^2).

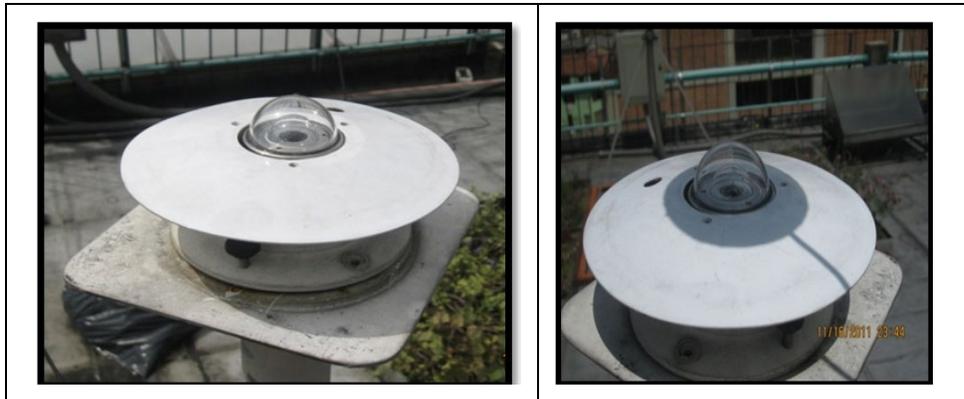


Figura 8. a) Piranómetro destapado (mide radiación global) y b) tapado (mide radiación difusa).
(Fuente: Fundación Universitaria Los Libertadores)

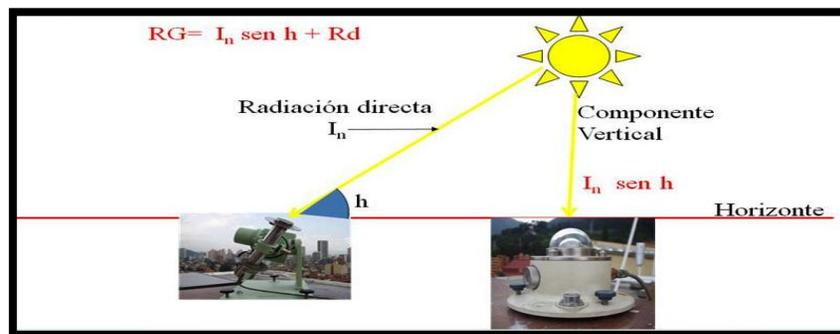


Figura 9. Geometría de los rayos solares. (Fuente: Fundación Universitaria Los Libertadores)

Después de realizar las tres mediciones, al valor en mV del piranómetro destapado, se le resta el valor medido del piranómetro sombreado; de esta forma la componente directa que recibe el piranómetro queda expresada como ΔmV . Finalmente se correlacionan los pares de valores $I_n \text{sen} h$ con ΔmV , ajustando la recta que pase por el origen de tal forma que el valor de la pendiente es la "Constante de Calibración". La correlación de la figura 10 corresponde a un piranómetro calibrado en el laboratorio radiométrico de la Fundación Universitaria Los Libertadores y que ha quedado como uno de los subpatrones para calibrar los piranómetros de la red del IDEAM donde están instalados.

Con la constante K (pendiente de la recta) se establece la siguiente igualdad matemática para calcular la radiación solar RG instantánea en W/m^2 , en función de los mV medidos por el piranómetro, así:

$$RG (W/m^2) = K * mV$$

Donde K es la pendiente (en este ejemplo K es igual a 112,25 y mV son los milivoltios que el piranómetro mide en ese instante o momento en particular).

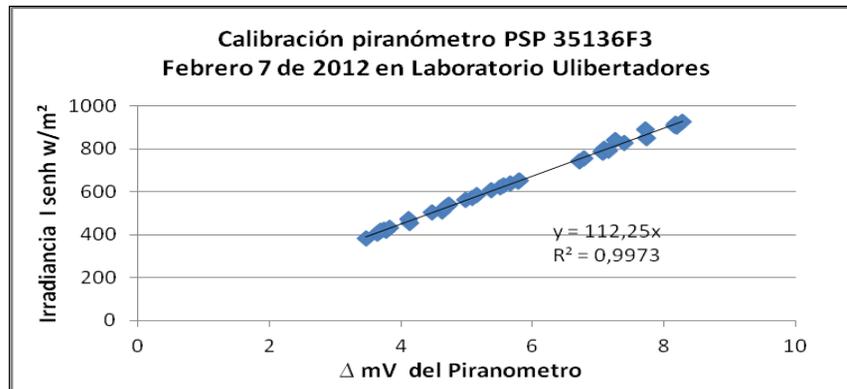


Figura 10. Gráfica de correlación de los valores de Insenh contra ΔmV .
(Fuente: Fundación Universitaria Los Libertadores)

Calibración de Piranómetros en terreno utilizando un Piranómetro subpatrón

Un piranómetro que haya sido calibrado previamente con un pirheliómetro de Cavidad Absoluta, se denomina piranómetro subpatrón o patrón secundario y puede ser utilizado en la calibración de los piranómetros instalados en las estaciones meteorológicas. Este método es el recomendado por la OMM para calibraciones en terreno, para evitar desmontar los instrumentos de sus estaciones y trasladarlos a los centros nacionales de calibración y de esta forma no se interrumpen las series de medidas que se están realizando.

En la calibración de los piranómetros de las estaciones de campo de la red del IDEAM se ha procedido de la siguiente forma:

- 1) En el laboratorio de Radiometría Solar de la Fundación Universitaria Los Libertadores, se calibró un Piranómetro Eppley espectral de precisión PSP con un pirheliómetro de cavidad absoluta PMO6 adquirido por la universidad al Centro Mundial de Radiación Solar de Davos Suiza en el año 2012, el cual se mandó a calibrar en dicho Centro en el año 2017.
- 2) El piranómetro calibrado queda como subpatrón, para ser desplazado a las estaciones meteorológicas y calibrar en terreno el piranómetro allí instalado, en sus condiciones ambientales de funcionamiento.
- 3) Para el proceso de calibración se realizan medidas simultáneas de las potencias (en W/m²) entre el patrón y la lectura de la pantalla del logosens de la estación correspondiente. Después de un buen número de observaciones simultáneas, se grafican y se efectúa el ajuste lineal por el método de los mínimos cuadrados. La figura 11 muestra la correlación entre las medidas simultáneas de una calibración realizadas en la estación del aeropuerto de Yopal en el año 2014.

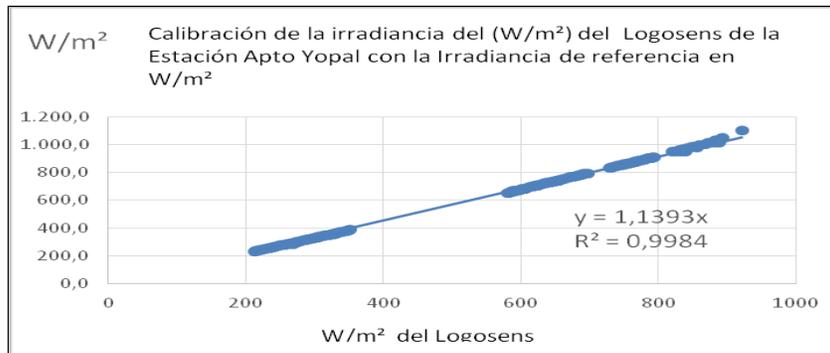


Figura 11. Gráfica de correlación entre la irradiancia del sensor de referencia y la del logosens de la estación del aeropuerto de Yopal en el año 2014. (Fuente: Fundación Universitaria Los Libertadores)

Calibración de actinógrafos utilizando un piranómetro subpatrón

A los Actinógrafos se les determina un factor K de calibración, para convertir las unidades de medida, que son centímetros cuadrados (cm^2), correspondientes al área bajo la curva de las gráficas que se generan diariamente a Wh/m^2 por día.

La radiación global acumulada diaria (Q) se calcula determinando el área (A) registrada por el actinógrafo, que queda comprendida entre la curva obtenida durante el día y la línea de base determinada por la recta obtenida durante la noche (ver figura 12). El área puede estimarse utilizando un planímetro o cualquier otro método que permita su correcta medición.

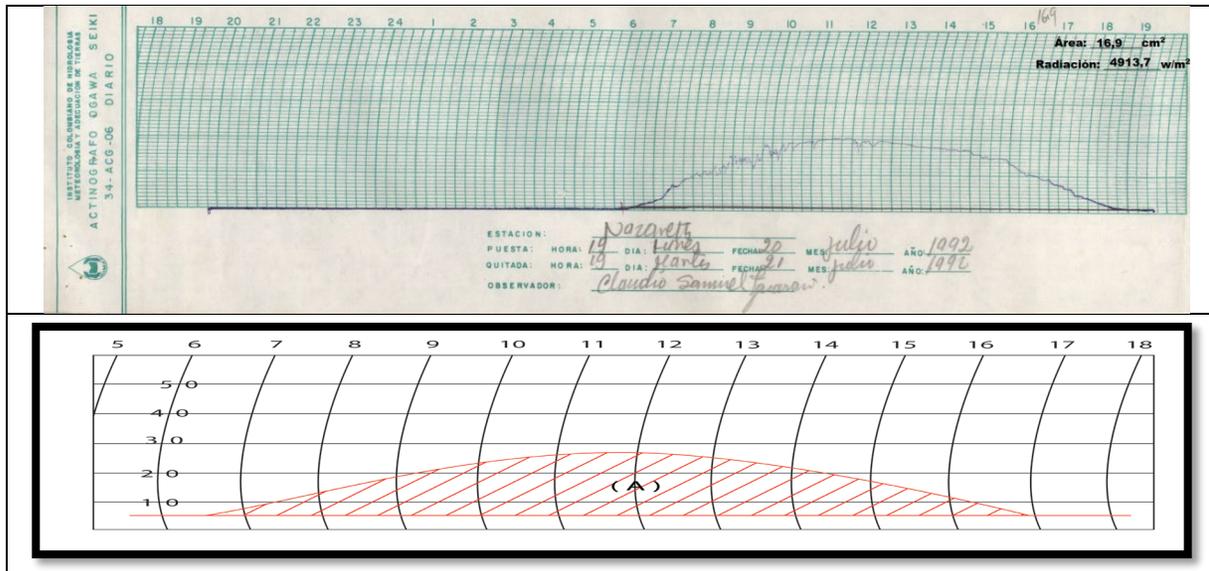


Figura 12. Gráfica de actinógrafo. Arriba gráfica del actinógrafo de la estación Nazareth en La Guajira para el 21 de julio de 1992. Abajo, área bajo la curva (Fuente: IDEAM)

Como la magnitud de la radiación incidente es proporcional al área bajo la curva, se tiene que:

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 58 de 135

$$Q = K \times A$$

Donde K es la constante del actinógrafo.

Para determinar esta constante de calibración (K), se efectúan observaciones diarias entre el Actinógrafo a calibrar y un piranómetro calibrado como subpatrón.

Una vez obtenido un número suficientemente grande de observaciones simultáneas, se correlacionan los pares de valores Q obtenido del piranómetro patrón y A de la gráfica, para determinar la constante K.

“Si los procesos atmosféricos fueran constantes, o estrictamente periódicos, sería fácil describirlos matemáticamente. Sin embargo, la atmósfera exhibe variaciones y fluctuaciones que son irregulares, y con el fin de lograr su entendimiento se realiza la recopilación y el análisis de grandes conjuntos de datos meteorológicos” (Mudelsee, 2010). A raíz de esta última premisa, se deberá continuar con la obtención de series de tiempo cada vez más robustas y con una buena resolución, además de seguir con la ampliación de la red de estaciones automáticas.

De acuerdo a lo anterior, se puede afirmar que la única forma en que las series de tiempo y por ende el indicador obtenido a partir de las estaciones sean confiables y de calidad, es a través de la calibración periódica de los piranómetros, teniendo presente las recomendaciones dadas por la OMM y los estándares internacionales vigentes.

1.2.3.2. Métodos de acopio de datos

El acopio de los datos, referido a la transmisión y almacenamiento de las series de tiempo medidas por los sensores de radiación global (piranómetros) se explica a continuación.

Las estaciones automáticas, denominadas Plataformas de Recopilación de Datos (DCP por sus siglas en inglés - Data Collection Platforms), cuentan con diferentes clases de sensores para medir parámetros ambientales como la temperatura, la humedad, el viento, la lluvia, radiación solar global, etc. Los datos de estos parámetros se guardan en un registrador de datos (datalogger, el cual además es un convertidor de señal que, en el caso de la radiación solar, recibe la señal desde el sensor en voltios y la traduce a vatios-hora/metro cuadrado) y se transmiten a intervalos regulares de tiempo (normalmente de 1 hora, o se puede configurar cada dos o diez minutos), vía satélite, a la estación terrestre donde se recibe la señal. Posteriormente se extraen los mensajes, se descodifican los datos contenidos en ellos y son guardados en el sistema de recepción de datos HYDRAS 3. Para obtener información más detallada con relación a los equipos, cableado, tipo de señales involucrados en la transmisión, se puede consultar los siguientes documentos: Introducción a HYDRAS 3 (OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG., 1999) y el Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3 (IDEAM, 2020).

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 59 de 135

De acuerdo a lo anterior y teniendo en cuenta que las estaciones automáticas son propiedad del IDEAM, no se requiere de ninguna gestión especial o adicional para acceder a la información de la variable.

En la figura 13, se muestra el proceso general para el registro de los datos, iniciando desde el piranómetro de la estación meteorológica, en donde se mide la radiación solar global, luego pasando al registrador o “datalogger”, el cual guarda y transfiere los datos de forma remota hasta el IDEAM. Para seguridad del equipamiento y por ende del correcto almacenamiento de la información, el datalogger se encuentra dentro de un armario de acero inoxidable, con control de cerradura y protección óptima para todos los componentes.

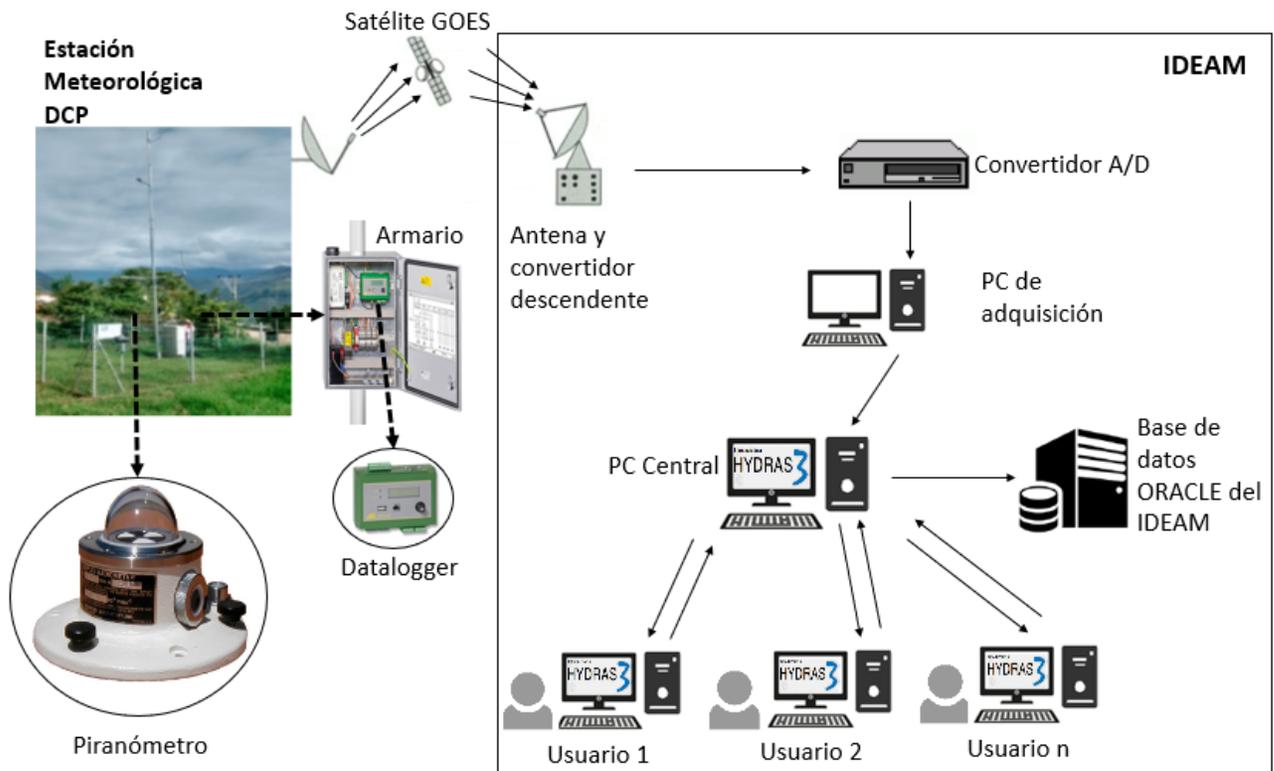


Figura 13. Esquema general para el almacenamiento y transferencia de datos a través de HYDRAS 3

Fuente: Elaboración propia, sin embargo hay imágenes tomadas de:

<https://www.ott.com/products/system-solutions-23/ott-metsystems-825/>

<https://www.ott.com/products/data-logging-and-telemetry-4/ott-netdl-data-logger-972/>

<https://www.ott.com/es-es/productos/download/application-note-ott-netdl-1000-with-ip-camera-d-link-dcs-7110/>

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

Manual del usuario Proyecto DHIME

Finalmente, la información queda disponible para ser descargada en el Instituto, a través del software HYDRAS 3, con corte a la hora anterior del momento en que se hace la consulta.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 60 de 135

a. Diseño de los sistemas

Debido a que los actinógrafos de estaciones convencionales, dejaron de funcionar entre los años 2003 y 2005, en la actualidad toda la información de radiación global que se genera en el IDEAM, proviene de la medición que se hace a través de los piranómetros, de las EMAS.

Inicialmente los datos medidos por el sensor de radiación global de las estaciones automáticas son almacenados en el software HYDRAS 3, el cual permite obtener las series históricas de tiempo iniciales (crudas) de las estaciones, hasta la hora anterior del momento en que se realiza la consulta. Una vez descargados los datos, se procede a realizar todo el proceso de validación, análisis y ajuste con la respectiva constante de calibración. Las series de tiempo resultantes son cargadas y publicadas como información final y definitiva a la plataforma DHIME del IDEAM, con el fin de quedar disponibles al público.

A partir de estas series finales validadas y ajustadas por la constante de calibración, la plataforma DHIME del IDEAM genera los diferentes reportes de los promedios horarios, mensuales y multianuales, siguiendo la estructura que se definió en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos).

A continuación, se describen los requerimientos del sistema en cada una de las plataformas involucradas y que soportan toda la operación estadística.

* **HYDRAS 3**

HYDRAS 3 representa una solución confortable para transferir, transformar y administrar datos medidos de las áreas de hidrometría, meteorología y tecnología del medio ambiente de manera profesional. Dicha plataforma permite el acceso a las series de tiempo que generan los piranómetros, correspondientes a las estaciones automáticas del IDEAM.



Figura 14. Página de presentación HYDRAS 3

Fuente: Tomado de Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 61 de 135

El software de aplicación HYDRAS 3, es una marca de OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG, perteneciente a la compañía alemana OTT MESSTECHNIK. Dado que es una plataforma por la cual el IDEAM paga una licencia, no se tienen los soportes de su desarrollo, ya que estos son exclusivos del propietario. La única documentación con que el Instituto cuenta es el respectivo manual de usuario.

* **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):

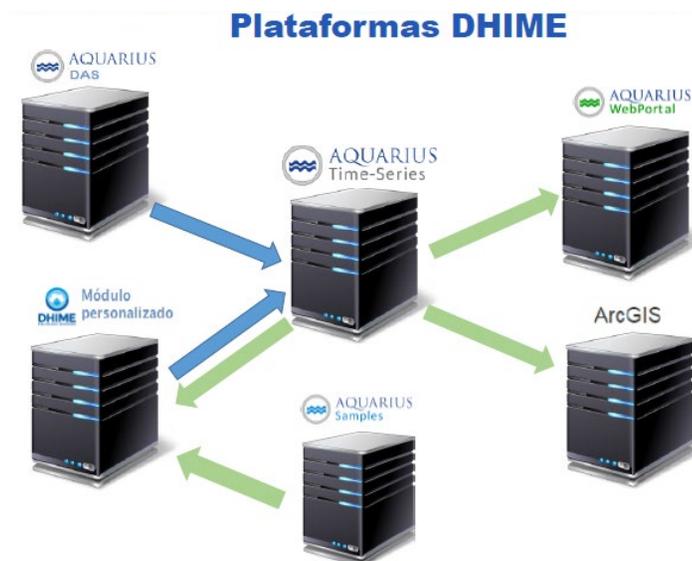


Figura 15. Módulos de la plataforma DHIME
Fuente: Tomado del Manual de usuario de la Plataforma DHIME

- **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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 62 de 135

b. Software

Para la implementación de esta Operación Estadística se cuenta con diversos recursos informáticos para el desarrollo del proceso, como son el software HYDRAS 3 y la plataforma DHIME. A continuación, se muestran las especificaciones de cada uno de ellos:

*** HYDRAS 3**

HYDRAS 3 está basado en la aplicación de un potente banco de datos y está equipado con un gran número de funciones, las cuales son:

- Comunicación con equipos OTT (extraer datos por lectura)
- Manejo de equipos OTT (parametrizar)
- Administración de estaciones (administración de datos maestros)
- Administración de series de tiempo
- Inclusión de mapas e ilustraciones
- Evaluación gráfica
- Gráfica múltiple
- Editor gráfico
- Representación numérica de datos medidos
- Evaluación estadística (tabla principal, tabla permanente, página del anuario)
- Sensor virtual
- Análisis de correlación
- Representación de isolíneas
- Importación de valores medidos
- Exportación de valores medidos

La aplicación principal de HYDRAS 3 es la comunicación y el manejo (parametrización) de los equipos de OTT. Por ejemplo, la lectura de datos medidos se puede realizar tanto en el lugar como por módem. Gracias a un amplio número de opciones se puede ajustar el software individualmente a exigencias propias.

Es fácil incorporar HYDRAS 3 en estructuras existentes para la administración de series de tiempo y evaluación por funciones de importación y exportación que son configurables. Cabe destacar que la principal característica de HYDRAS 3 es la de poder administrar cualquier cantidad de estaciones y sensores, así como los datos medidos correspondientes. El tamaño del banco de datos sólo está restringido por la potencia de proceso y la capacidad de almacenamiento del sistema de PC que utiliza.

*** DHIME**

A pesar que desde el software HYDRAS 3 se puede obtener acceso a las series de tiempo crudas para las estaciones automáticas, en la actualidad hay un proceso de transición, para que estas puedan también ser consultadas y gestionadas a través de la plataforma AQUARIUS y de esta manera sea el DHIME, la que soporte toda la operación estadística de radiación

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 63 de 135

global. El DHIME es una base de datos que, aunque está dispuesta para consulta por los usuarios externos desde el año 2018 a través del Módulo de Consulta y Descarga de Datos, actualmente se encuentra en proceso de desarrollo, mejora e implementación.

Los recursos informáticos para el desarrollo de la operación estadística, que corresponden al DHIME, se resumen en la figura 16 y se describen a continuación:

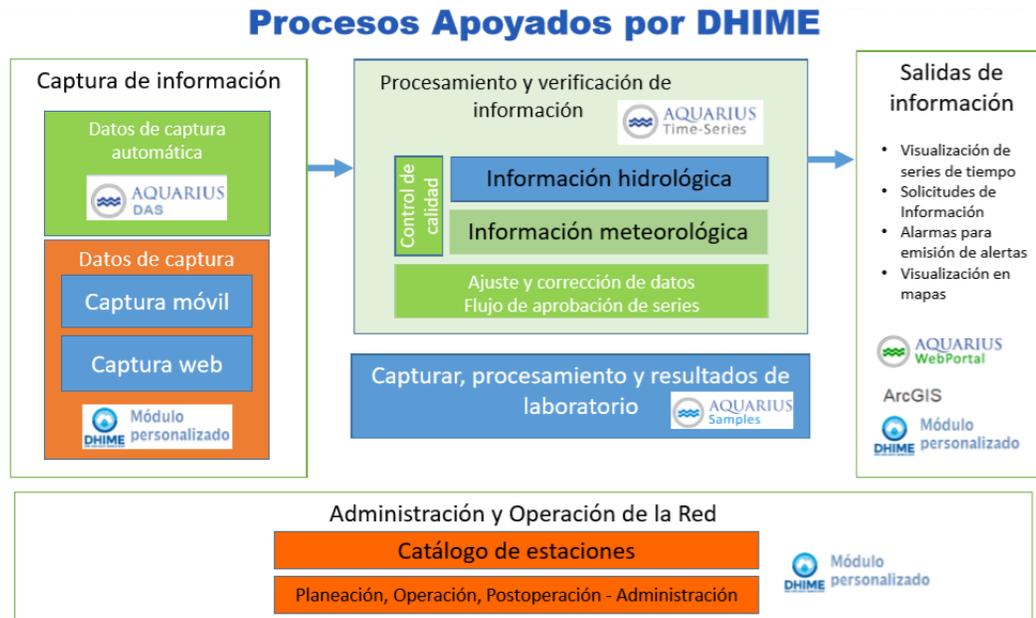


Figura 16. Procesos apoyados por DHIME
Fuente: Tomado del Manual de usuario de la Plataforma DHIME

- **Módulo Personalizado:** es el componente de software encargado de realizar, entre otras, la captura de las variables y realiza el proceso de control y validación de los datos. Este componente se desarrolló e implementó de acuerdo con el levantamiento de requerimiento planteados en los diferentes casos de usos.

- **AQUARIUS:** solución comercial, que proporciona al IDEAM una única fuente para todos sus datos ambientales de series temporales, de visita de campo y muestras de laboratorio, facilitando la administración de las operaciones diarias. La plataforma AQUARIUS cuenta con los siguientes módulos que se describen a continuación:

- ✚ **AQUARIUS WebPortal:** es una herramienta de consulta, que permite el acceso en tiempo real a la información hidrológica y meteorológica cuya calidad ya fue asegurada. Provee a los distintos usuarios, paneles de control personalizado, estadísticas complejas, mapas intuitivos, alertas e informes en tiempo real, lo que les permite tomar mejores decisiones en cualquier lugar. A continuación, se describe en mayor detalle las características que ofrece este módulo de consulta:

- Se ven todas las estaciones al mismo tiempo.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 64 de 135

- Permite la configuración de dashboard para visualización de información, de cualquier variable hidrológica o meteorológica.
- Consulta de datos históricos y resumidos a través de estadísticas agregadas: diariamente, mensualmente, anualmente, etc.
- Exportación de datos a pdf, Excel o csv.

Desde AQUARIUS WebPortal y el módulo de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos del menú principal, se pueden obtener las mismas series de tiempo, sin embargo, en la primera se pueden generar diferentes estadísticas y graficas relacionadas con dicha información. En general, AQUARIUS WebPortal es una herramienta más de trabajo interno de la información meteorológica e hidrológica que maneja el Instituto.

🚦 **AQUARIUS Time-Series:** es un software de gestión de datos de series temporales ambientales el cual se encarga de:

- Consolidar la información hidrológica y meteorológica que se captura desde distintas fuentes (observadores en campo, registradores o por telemetría) y que se emite desde las distintas estaciones automáticas, convencionales, sinópticas o de alertas.
- Permitir a los profesionales de hidrología y meteorología, ya sea en las distintas áreas operativas o en las subdirecciones, realizar la validación y verificación de las variables, corregir fácilmente y controlar la calidad en los datos.
- Realizar el procesamiento y cálculo de las variables meteorológicas, que se obtienen a partir de la información validada.
- Automatizar flujos de trabajo y agilizar la producción de los datos.
- Importar series de tiempo de forma manual desde formato CSV.
- Desde esta aplicación se pueden cargar las series de tiempo de radiación global que fueron validadas y ajustadas con la constante de calibración de manera cronológica, como también sobre periodos faltantes (individuales o en bloque). También permite eliminar periodos de tiempo específicos.

🚦 **AQUARIUS Samples:** es un software que agiliza la producción y gestión de datos de muestras de campo y laboratorio ambientales, lo que ahorra tiempo y aumenta la calidad de los datos finales. Todos sus datos discretos de agua, aire, suelo, biológicos y de tejidos se almacenan de forma segura y se validan en línea para un análisis y visualización rápidos, para que pueda tomar mejores decisiones en cualquier momento y en cualquier lugar. Para la Operación Estadística de la radiación global no se utiliza esta aplicación.

🚦 **Módulo de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos:** es el portal de consulta y descarga de información, que utiliza el software geográfico ESRI que es un módulo del gran sistema DHIME, el cual se utiliza para la presentación de la información de forma espacial. Este módulo permite el acceso a los usuarios externos para realizar consultas por diferentes criterios y obtener información de series de tiempo, frecuencias de acuerdo con la variable y criterios seleccionados.

Otra de las opciones que da esta aplicación es permitir a cualquier usuario externo a la entidad, la descarga de series de tiempo en formato CSV. Para lo anterior, el interesado

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 65 de 135

previamente debe conocer el nombre de la estación a la cual corresponde la información. Una vez dentro del módulo y después de haber seleccionado el periodo de interés, se debe escoger nombre de la variable, seguido de la descripción específica de la variable a obtener (parámetro).

El nombre general para nuestra variable en la base de datos DHIME es “Radiación Solar”, por ejemplo, si a partir de esta variable se necesitan descargar las series de tiempo del parámetro de radiación solar global horaria validada (estaciones automáticas), se tiene que escoger en la descripción, la opción de “Radiación solar global horaria VALIDADA” y para las series de tiempo de la variable de radiación solar global diaria validada (estaciones convencionales), se tiene que seleccionar en la descripción, la opción de “Radiación solar global diaria VALIDADA”.

En el Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos (IDEAM, 2019c), se muestra el procedimiento para realizar el descargue de las series de tiempo.

c. Resumen de la infraestructura que compone el desarrollo informático

*** HYDRAS 3**

Condiciones mínimas del sistema

Para que tenga éxito la instalación de HYDRAS 3, las condiciones mínimas que el sistema requiere son:

- PC que es compatible con IBM, con un procesador de 60 MHz y unidad de CD-ROM.
- 15 MB de memoria de disco duro libre para el programa HYDRAS 3 más espacio de almacenamiento adicional para valores medidos.
- 16 MB de memoria de trabajo.
- Monitor de 15" (resolución 800 x 600 pixeles; 256 colores)
- Microsoft Windows 95/98 o Windows NT a partir de la versión 4.0.

Particularidad al instalar HYDRAS 3 bajo Windows NT

Para poder instalar HYDRAS 3 correctamente en un PC con el sistema operativo Windows NT (a partir de la versión 4.0), hace falta que se registre en su PC con derechos de acceso como administrador.

HYDRAS 3 es un software del año 1999, perteneciente a la compañía OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 66 de 135

* **DHIME**

En la siguiente tabla se muestran los programas utilizados que soportan la plataforma DHIME.

Tabla 12. **Programas informáticos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME**

SOFTWARE			
AQ Time-series	AQ WebPortal	AQDAS	Modulo personalizado
AQ Time-series server	AQUARIUS WebPortal Application (AQ-WP)	AQUARIUS Data Acquisition System	DHIME
AQUARIUS Licence Manager (AQ-LM)	AQUARIUS Licence Manager (AQ-LM)	AQUARIUS Licence Manager (AQ-LM)	DIME_Servicio
AQUARIUS Integration Service (AQIS)			DIME_ServicioWindows
Sistema Operativo: WS2012-R2	Sistema Operativo: WS2012-R2	Sistema Operativo: WS2012-R2	Sistema Operativo: WS2012-R2
Licencia Pruebas 50k time series, 30 users, 15 rating development users: F140-EDF9-A0A7-A26C-1603 (31 users) 4BF1-EEA2-70E9-1D00-3675 (15 rating users) 46C0-2D77-8074-6661-0352 (AQ-TS-Server-50K)	Licencia: 581A-C35E-8304-52F0-2174	Licencia: FB75-C49F-532E-8CF9-1057	Internet Information Server
Versión: v2017.3 (64-bit)	Versión: v2016.3.171 (64-bit)	Versión: v2016.5 (64-bit)	

Fuente: Tomado de (IDEAM, 2019a)

d. Infraestructura

Tabla 13. **Infraestructura informática utilizada por HYDRAS 3**

INFRAESTRUCTURA
Servidor: HYDRAS 3
IP:
RAM 32 GB
CORES: 8
DD: 500 GB (E:)

Fuente: Elaboración propia

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 67 de 135

Tabla 14. Infraestructura informática utilizada en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME

INFRAESTRUCTURA						
Nombre Servidor: AQTS-PRD	Nombre Servidor: AQWP-PRD	Nombre Servidor: AQDAS-PRD	Nombre Servidor: AQDB-PRD	Nombre Servidor: AQDB-PRD	Nombre Servidor: AQMP-PRD	Nombre Servidor: AQDB-PRD
Descripción: Servidor de Producción Aquarius Time-Series	Descripción: Servidor de Producción de Aquarius Web Portal	Descripción: Servidor de Producción de AQDAS	Descripción: Base de datos Oracle de Producción Aquarius	Descripción: Base de datos Oracle de Producción Aquarius	Descripción: Servidor de Producción de Módulo Personalizado IDEAM	Descripción: Base de datos Oracle de Producción módulo personalizado
IP:	IP:	IP:	IP:	IP:	IP:	IP:
RAM 32 GB	RAM 32 GB	RAM 32GB	RAM: 16GB	RAM: 16GB	RAM 16 GB	RAM: 16GB
CORES: 8	CORES:8	CORES:8	CORES:4	CORES:4	CORES:4	CORES:4
DD: 500 GB (E:)	DD: 500 GB (E:)	DD: 500 GB (E:)	Tamaño: 1TB	Tamaño: 500GB	DD: 100 GB	Tamaño: 500GB
			SID: AQTS	SID: AQWP		SID: Dhime

Fuente: Tomado de (IDEAM, 2019a)

e. Base de datos

A continuación, se detallan los esquemas de base de datos utilizados en las diferentes etapas de la operación estadística.

* **HYDRAS 3**

El PC de adquisición de DCP es un ordenador de doble procesador de Intel dotado del sistema operativo Windows XP.

El tamaño de la base de datos HYDRAS 3 del PC Central sólo está restringido por la potencia de proceso y la capacidad de almacenamiento del sistema de PC que se utiliza. En este caso el equipo tiene sistema operativo Windows 10.

Desde el PC Central se importan los datos a la base de datos Oracle de IDEAM.

Tabla 15. Esquema base de datos utilizada por HYDRAS 3

Esquema Bases de Datos
Base de datos Exportación
IDEAM Database Server
Oracle
Sistema Operativo: Red-Hat Linux x86-64
Versión BD: Oracle 12cR1 (12.1.0.2) Standar Edition2 - Non-CDB, No Spatial, With Multimedia, XMLDB, JVM, AL32UTF8 Charset

Fuente: Elaboración propia

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 68 de 135

* **DHIME**

En la siguiente tabla se presenta el esquema de base de datos para la plataforma DHIME.

Tabla 16. Esquema base de datos utilizadas en las diferentes etapas de la operación estadística por DHIME

Esquema Bases de Datos		
Base de Datos AQ Time-Series	Base de Datos WebPortal	BD Personalizado
AQUARIUS Time-Series Database	AQUARIUS WebPortal Database	DHIME
Oracle	Oracle	Oracle
Sistema Operativo: Red-Hat Linux x86-64	Sistema Operativo: Red-Hat Linux x86-64	Sistema Operativo: Red-Hat Linux x86-64
Versión BD: Oracle 12cR1 (12.1.0.2) Standar Edition2 - Non-CDB, No Spatial, With Multimedia, XMLDB, JVM, AL32UTF8 Charset	Versión BD: Oracle 12cR1 (12.1.0.2) Standar Edition2 - Non-CDB, No Spatial, With Multimedia, XMLDB, JVM, AL32UTF8 Charset	Versión BD: Oracle 12cR1 (12.1.0.2) Standar Edition2 - Non-CDB, No Spatial, With Multimedia, XMLDB, JVM, AL32UTF8 Charset

Fuente: Tomado de (IDEAM, 2019a)

f. Seguridad

La información de las bases de datos cuenta con los mecanismos de seguridad y respaldos implementados por el IDEAM para garantizar la recuperación y la integridad de la base de datos. Adicionalmente el DHIME cuenta con una guía para la seguridad del sistema, con el fin de determinar la forma de acceso de cada módulo.

1.2.3.3. Estructura de trabajo y planes de capacitación

A continuación, se muestran en forma general cuáles son las actividades definidas en la estructura interna de trabajo para la operación estadística, así como los planes de entrenamiento y/o capacitación del talento humano, con sus correspondientes instrumentos.

a) Cargos y funciones asociados con el desarrollo de la Operación Estadística

El Instituto tiene definido los roles para cada una de las funciones que involucra la presente Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie.

* Supervisión general de la Operación Estadística: Es un funcionario de planta (profesional especializado en la temática) encargado de la variable, que dentro de sus obligaciones, en relación a la variable se encuentran:

- Establecer cuáles son las necesidades de información de la variable, las actividades a realizar y coordinar la logística para la instalación y calibración de los sensores de radiación (piranómetros).
- Etapa precontractual: comprende la selección de los profesionales contratistas que apoyan tareas específicas de la operación estadística; la elaboración de los estudios previos y el apoyo en la elaboración de las minutas de los contratos correspondientes.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 69 de 135

Dentro de esta etapa se verifica que el personal a contratar, cumpla con los perfiles previamente definidos por el IDEAM.

- Etapa contractual: consiste en la supervisión permanentemente del trabajo que realiza cada uno de los profesionales que se encargan de las diferentes obligaciones.
 - Etapa postcontractual: radica fundamentalmente en la elaboración de las actas de finalización de los contratos que apoyaron la operación estadística.
 - Analizar los resultados y realizar el control de calidad de la información obtenida.
 - Dar respuesta a las solicitudes de información de los usuarios externos e internos.
- * Generación de los datos: El Instituto realiza la contratación del personal que se encarga de realizar la instalación, calibración y mantenimiento técnico (con el acompañamiento del Grupo de Automatización del IDEAM), de los sensores automáticos de radiación (piranómetros), teniendo en cuenta las recomendaciones dispuestas en la Guía N.º 8 de la OMM (OMM, 2017), la serie de normas ISO enfocadas a la medición de la radiación global, con fines energéticos, las cuales se especifican en el numeral 1.2.1.7 (Estándares estadísticos utilizados).
- * Recopilación: El Instituto cuenta con el apoyo de un profesional que se encarga de la descarga, compilación y generación de los archivos con las series de tiempo almacenados en la base de datos de HYDRAS 3 y que posteriormente van a ser analizadas y procesadas.
- * Procesamiento: Se dispone de profesionales especializados, que aplican a los datos iniciales los criterios de validación de datos de radiación solar, plasmados en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento), además, generan las estadísticas definidas para la variable en el presente documento metodológico.
- * Análisis de resultados y control de calidad: Se revisan las series de tiempo y promedios generados, a partir de las herramientas que están disponibles para este proceso, con el fin de decidir si estos productos son de calidad y pueden ser publicados o no. Esta labor es realizada por el supervisor general de la Operación Estadística, quien verifica la consistencia de los resultados obtenidos, para dar su aprobación y proceder a su respectiva publicación.
- * Publicación de resultados: Una vez definidas las series de tiempo o resultados estadísticos definitivos, son cargados a la base de datos DHIME y a la página del IDEAM respectivamente, con el propósito de quedar disponibles al público en general. Inicialmente esta labor la realiza el funcionario de planta encargado de la variable, sin embargo, puede asignársela a un profesional que trabaje con la operación estadística, el cual deberá estar en dicho momento vinculado contractualmente con el IDEAM.

En el documento Plan de Actividades, Presupuesto y Cronograma de la presente Operación Estadística, se encuentran especificados, los requerimientos tecnológicos, recursos económicos, tiempos de ejecución, productos esperados, los perfiles y cantidad de personal técnico y/o profesional con sus respectivas funciones para cada fase del proceso estadístico,

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 70 de 135

en la generación de la información definida en la operación. Este Plan se presenta como documento relacionado.

El esquema operativo en forma gráfica de los flujos de trabajo se presenta en el numeral 1.3.5 (Configuración de los flujos de trabajo).

b) Procedimiento de entrenamiento del personal

En cada estación meteorológica, se miden diferentes variables o parámetros, entre los cuales se encuentra el de radiación solar global. En las estaciones convencionales se cuenta obligatoriamente con la presencia de un observador meteorológico, quien realiza la observación, lectura y registro de los datos de las variables medidas en la estación, así como su mantenimiento. Cuando se realizaba la medición de la radiación global con el actinógrafo, el observador se encargaba de colocar y quitar diariamente la gráfica del sensor.

La capacitación del observador en los parámetros medidos en la estación, se presenta en la guía de la Operación Estadística de las Variables Meteorológicas (IDEAM, 2019a).

El mantenimiento general de tipo operativo (entendido como limpieza) a cada uno de los instrumentos que miden las diferentes variables, se hace diariamente, y se extiende también al sensor de radiación global (piranómetro). La limpieza para este sensor consiste en retirar polvo y/o agua con un paño húmedo de la cúpula de vidrio que cubre al piranómetro, una vez al día, teniendo especial consideración en hacerla en horas donde la radiación solar global sea ínfima. En términos generales, la tarea que realiza el observador de cada estación meteorológica, en relación al parámetro de radiación no es tan compleja.

Existe el Formato Inspección de estaciones meteorológicas (formato 8) con el que el inspector u observador se ayuda para realizar el inventario de la estación meteorológica. Igualmente este formato ayuda a registrar información relacionada con cambios de ubicación, robos o cualquier otra situación irregular asociada a los sensores de la estación, que afecta su funcionamiento y por ende repercute en la incorrecta medición de la variable.

El mantenimiento de carácter técnico en relación a la variable de radiación global, la realiza un profesional especializado en el tema de radiómetros. Dicha labor se efectúa por lo menos una vez al año, siguiendo los lineamientos de la Guía N.º 8 de la OMM.

Finalmente, eventualmente se programan conferencias y capacitaciones en los diferentes eslabones del proceso de captura y procesamiento de los datos de las variables meteorológicas, en las que se sensibilizan sobre la importancia de la toma del dato.

c) Diseño de instrumentos

El funcionario de planta especializado y encargado de la variable, da inducción a los profesionales que van a trabajar en cualquiera de las fases de la presente Operación Estadística. En la GUÍA DE ENTRENAMIENTO PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 71 de 135

RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE, se dan las directrices para preparar técnica y conceptualmente al personal que trabajara en la gestión de la información de la radiación global.

Al personal contratado por primera vez, se le muestra una presentación del trabajo que realiza el IDEAM respecto al tema y adicionalmente se dan indicaciones en cuanto a la manera de realizar las funciones asignadas, como también se le solicita la revisión de los siguientes documentos:

- Guía N.º 8 de la OMM: Este documento presenta recomendaciones para establecer el sistema de capacitación relacionado a la instalación, mantenimiento e inclusive calibración de los sensores que miden la radiación global con piranómetros. Esta Guía tiene por objeto: *“presentar las mejores prácticas, los procedimientos y las capacidades básicas de los instrumentos y sistemas a fin de ayudar a los Servicios Meteorológicos y a otros usuarios interesados que operan sistemas de observación a elaborar sus manuales y procedimientos”* (OMM, 2017, p. vii). Específicamente se solicita la revisión del Capítulo 1 y 7 de dicha guía, en donde se abordan las generalidades y la medición de la variable.
- Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia: documento de carácter técnico que incluye tanto aspectos relacionados con la explicación de los instrumentos de medición empleados, así como la metodología general para la calibración de los piranómetros, criterios de validación de los datos, presentación de resultados y mapas, normatividad relacionada, entre otros aspectos.
- Metodología de la Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie: el presente documento muestra el proceso general para obtener información confiable de radiación solar global, desde la toma del dato, hasta la publicación de los resultados estadísticos finales, especificando todas las gestiones que se realizan, como también los recursos humanos y tecnológicos ligados a cada fase.
- Normas ISO: Compendio de normas enfocadas a la medición de la radiación global y la calibración de los piranómetros en campo, las cuales se especifican en el numeral 1.2.1.7 (Estándares estadísticos utilizados). Estas normas están enfocadas hacia el profesional que se vincule para realizar las calibraciones, pues para su contratación debe demostrar conocimiento y experiencia de trabajo en las mismas.
- Guía para la operación y mantenimiento de Estaciones Meteorológicas Convencionales (IDEAM, 2021a): contiene en un lenguaje claro las normas y procedimientos necesarios para realizar las actividades antes, durante y después de las visitas de inspección a las estaciones meteorológicas. Dentro de cada rutina se involucran todas las actividades inherentes a la consecución del objetivo fundamental en el manejo de la red de estaciones: su óptima operación y mantenimiento.

Finalmente, para evaluar el entrenamiento de los profesionales entrenados, el líder temático de la operación estadística, cuenta con la lista de chequeo **FORMATO LISTA DE CHEQUEO EVALUACIÓN DEL ENTRENAMIENTO PARA LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE**.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 72 de 135

1.2.4. Diseño del procesamiento y análisis

En esta sección se describe lo relacionado con las herramientas, que se van a implementar para el procesamiento de los datos (software y hardware), los programas requeridos para, la consolidación y el almacenamiento. Así como, los procedimientos para garantizar la seguridad de la información.

1.2.4.1. Diseño del procesamiento

En este subproceso se establecen las especificaciones para la consolidación e integración de los archivos y/o bases de datos, así como el tratamiento, la edición e imputación de datos, con el propósito de disponer una base de datos depurada para la producción de resultados.

Las series de tiempo de radiación global que maneja el IDEAM, provienen principalmente de estaciones automáticas (que son las que están funcionando actualmente) que generan datos horarios y dosminutales, aunque también se utilizaron registros disponibles de estaciones convencionales cuyos datos se generaron en forma diaria.

a) Estaciones automáticas

La prioridad del IDEAM es el manejo de series de tiempo de radiación global en forma horaria obtenidas de la red de piranómetros, instalados desde el año 2005 en las estaciones automáticas. Una vez son medidos los datos, estos se transmiten vía satelital, quedando finalmente guardados y disponibles en el sistema de recepción de datos HYDRAS 3 del Instituto. Dicho programa posibilita a su vez que las series sean descargadas en diferentes formatos, siendo el preferido Microsoft Office Excel, que permite hacer la posterior validación de los datos crudos obtenidos y la aplicación de la constante de calibración, además es un formato universal, el cual es usado en gran medida por los usuarios finales. El procedimiento para el descargue de la información de la base de datos HYDRAS 3, se presenta en el documento: Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3 (IDEAM, 2000).

Los archivos de las series de tiempo descargadas de HYDRAS 3, son guardados con el nombre y la ciudad donde está ubicada la estación correspondiente, el cual está compuesto por cuatro formatos, los cuales se mencionarán más adelante.

Cada archivo se guarda en la carpeta de la región correspondiente a la cual pertenece la estación (Antioquia-Chocó, Caribe, Cundinamarca-Boyacá, Eje Cafetero-Valle del Cauca, Huila-Tolima, Nariño-Cauca, Orinoquía-Amazonía y santanderes), posteriormente se crea la copia de seguridad de estas carpetas en el Drive.

Internamente las series de tiempo dentro del archivo de cada estación están organizadas por año, en donde cada año está en una hoja del archivo Excel. Las nuevas descargas de datos de HYDRAS 3 son copiadas consecutivamente teniendo en cuenta la fecha, de manera tal, que se garantice la continuidad en el archivo hasta completar el año respectivo.

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 73 de 135

Una vez son organizados los archivos, se procede a realizar una validación inicial de los datos. Después de pasar por este proceso, a las series de tiempo resultantes se les aplica la respectiva constante de calibración vigente y posteriormente son sometidas a un proceso de validación final. Los anteriores procedimientos se hacen con base a ciertos lineamientos previamente definidos, los cuales reciben el nombre de *criterios de validación* y se relacionan al final de esta sección (numeral e). Estos criterios son el resultado de un trabajo estricto, que se ha venido alimentado y refinando desde el año 2010 a la fecha.

Para un mismo sensor de radiación se pueden tener hasta dos constantes de calibración, debido a que de los 160 piranómetros que se encuentran instalados en las estaciones automáticas del IDEAM, a la gran mayoría se les realizó el cambio de el datalogger en la estación, desde agosto de 2016 y durante los años 2017 y 2018, lo cual afectó la constante de calibración (ya que se calibra es todo el sistema que incluye el sensor, cableado y datalogger, puesto que en la calibración se compara el valor medido por el piranómetro patrón con el reportado en el logosens de la estación) y por ende la calidad de los datos y su disponibilidad. En los últimos cinco años, de los 160 sensores de radiación global, el instituto solo ha calibrado 50 piranómetros en el 2017 (con recursos propios), pero de los 119 sensores que han sido calibrados por lo menos una vez, actualmente solo 38 tienen la constante vigente, ya que en el resto su constante se afectó por el cambio mencionado del datalogger.

En el Formato de validación y calibración de datos de radiación global (formato 1), que se encuentra en el archivo de cada estación y que se maneja internamente en el IDEAM, se muestra como se realiza el ajuste de los datos y la aplicación de la constante de calibración vigente, después de aplicar los criterios de validación establecidos.

En el archivo de cada estación, además del anterior formato, se encuentra el Formato de los promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global, el Formato del Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria y el Formato comparativo de la radiación global con otras variables meteorológicas, correspondientes a los formatos 2, 3 y 4. respectivamente. En el último formato se compara de una forma descriptiva los promedios mensuales multianuales de la radiación acumulada diaria, con los promedios mensuales del brillo solar y la precipitación.

Finalmente, existe un formato llamado Constantes de calibración para estaciones automáticas (formato 5), que incluye, los datos básicos de identificación y ubicación, junto con la(s) constante(s) de calibración y su(s) respectivo(s) periodo(s) de aplicación.

b) Estaciones convencionales (mecánicas)

Antes de disponer de la red automática de sensores de radiación global, la información era obtenida por medio de actinógrafos, instalados en estaciones convencionales, los cuales generaban gráficas, donde en cada una de ellas, el área bajo la curva representaba la radiación global medida durante un día. El área era obtenida por medio de un planímetro (se cuenta con un procedimiento para el manejo de un planímetro semiautomático, el cual fue realizado por los contratistas que llevaron a cabo esta actividad y se presenta como documento

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 74 de 135

relacionado). El valor obtenido de esta medición, era multiplicado por un factor de conversión de unidades (11,63) y la respectiva constante de calibración, para obtener así finalmente el valor de la radiación global acumulada diaria correspondiente y cuyas unidades estaban en Wh/m² por día. La mayoría de los actinógrafos dejaron de funcionar antes del año 2005.

Los datos diarios de radiación global obtenidos eran ingresados manualmente al Formato de datos de radiación global para estaciones convencionales (formato 6). En cada archivo se encuentran los datos correspondientes a un año, los cuales son guardados en la carpeta de la estación a la que pertenecen.

Al igual que en el caso de las estaciones automáticas, los resultados obtenidos para las estaciones convencionales, también estuvieron sujetos a la aplicación de los criterios de validación definidos al final de esta sección (numeral e).

Después de este proceso se calculaban los promedios mensuales multianuales, los cuales fueron registrados en el Formato comparativo de la radiación global con otras variables meteorológicas (formato 4), de la misma manera a como se hace con las estaciones automáticas.

c) Otras consideraciones

El Instituto además del tratamiento de información de la radiación global a escala horaria o diaria de estaciones automáticas o estaciones convencionales respectivamente, también maneja información a una escala dosminutal (cada dos minutos). Esta se genera para un grupo reducido de estaciones automáticas, ubicadas en 15 aeropuertos, de las cuales, en solo 11 se han calibrado los sensores y estos a su vez tienen la constante de calibración vigente. Esta información dosminutal, aunque no es muy común que se solicite por los usuarios externos, en algunos casos es requerida por algunos sectores, como el energético, para estudios específicos. Para esta escala dosminutal, solo son obtenidas las series de tiempo validadas, y ajustadas con las respectivas constantes de calibración y no se genera ninguno de los promedios que se relacionan en la sección 1.2.1.5, ya que estos se obtienen a partir de los datos horarios de las mismas estaciones.

d) Consolidación final de la información

Una vez realizados los anteriores procesos, finalmente se construye el principal cuadro de resultados, que contiene el resultado estadístico esperado en la metodología de la “Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie” de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, (DANE 2020a, Anexo B). El anterior formato consolida el indicador Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria, para veintiséis (26) estaciones automáticas en total, el cual recibe el nombre de “Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país”, y se encuentra como anexo 7.

Las series de tiempo que se entregan al usuario final, ya sean de estaciones automáticas o convencionales, son manejadas en el Formato de Migración a DHIME para las series de

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 75 de 135

tiempo históricas (anexo 8). La anterior información está organizada a tres columnas, en donde la primera corresponde al código de la estación, la segunda a la fecha y la tercera al dato final validado y ajustado con la respectiva constante de calibración, ya sea diario, horario o dosminutal.

Es necesario aclarar que en este archivo se presenta la serie continua en una sola hoja, sin discriminar por año, que es diferente al archivo que se maneja internamente en el IDEAM para el procesamiento de los datos y en donde cada año de la serie está en una hoja del archivo Excel de la estación.

Los anteriores registros se encuentran disponibles en la sección de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos de la plataforma DHIME, a la cual se puede acceder desde la página de internet del IDEAM. En dicho portal se encuentra la información de las variables meteorológicas que se trabajan en el IDEAM. En el Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos (IDEAM, 2019c), se explica cómo realizar la selección de las opciones disponibles para la variable radiación global.

El ingreso de las series de tiempo validadas a la base de datos DHIME, es responsabilidad del funcionario encargado de la variable y de la Oficina de Informática del IDEAM, quienes realizan la migración. Para realizar este procedimiento, el portal DHIME cuenta con el Manual del Usuario Proyecto DHIME (IDEAM, 2019b), en el cual, se presentan las actividades para poder realizar la actualización y/o modificación de la información en esta base de datos. Específicamente desde la página 181 hasta la 253 de este manual, empieza a mostrarse como es el ingreso al sistema (desde la aplicación "AQUARIUS WebPortal"), hasta llegar a explicar detalladamente como debe realizarse el cargue, corrección, aprobación y exportación de datos dentro del sistema.

De manera complementaria, específicamente desde la página 547 hasta la 561 del Manual de Usuario Proyecto DHIME (IDEAM, 2019b), se muestran algunas consideraciones generales relacionadas a características propias de las consultas y reportes que se generan para la variable de radiación global de estaciones automáticas y convencionales, como también la forma de presentación para el usuario interno del IDEAM.

En esta base de datos es posible visualizar un segmento con el control de cambios respectivo. Es importante señalar que tanto para la información cargada a esta base de datos, como los archivos de las estaciones manejados internamente, existen respaldos que el funcionario encargado de la variable, conserva en el equipo asignado, con sus respectivas copias en el drive, con el fin de que se encuentren disponibles en cualquier momento, por si llegase a ocurrir algún problema o novedad con la base de datos de DHIME.

Una vez son cargadas y/o actualizadas las series de tiempo del IDEAM (tanto automáticas como convencionales) al portal DHIME, de manera instantánea se actualizan en esta plataforma cada uno de los indicadores que se describen en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos).

Cabe mencionar la existencia de un formato que recibe el nombre de Catálogo general de estaciones que miden la radiación global en el país, el cual contiene los datos básicos de

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 76 de 135

identificación, ubicación y los promedios mensuales y el anual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie, para todas las entidades que miden esta variable, el cual se encuentra como formato 7.

Por último, es importante indicar que los formatos 1 al 7, son el soporte de toda la operación estadística, es decir, hacen parte de las herramientas de trabajo del grupo, cuyo propósito principal, es el poder realizar todo el procesamiento de los datos, desde la validación inicial, pasando por el análisis de resultados, hasta la obtención de información final, la cual es registrada finalmente, de acuerdo a los cuadros de resultados que se especifican en la sección 1.2.1.5 y 1.2.1.6. Dichos formatos, se encuentran en la carpeta de documentos relacionados.

e) Criterios de validación para los datos de radiación global

Los criterios de validación para datos de radiación global, son una compilación de reglas y/o condiciones que deben cumplir todos los datos de radiación global, ya sean para su posterior difusión y entrega a los usuarios o para la generación de resultados estadísticos adicionales a partir de estos.

Teniendo en cuenta desde aspectos básicos sobre ciencia de datos, conceptos teóricos de radiación global y meteorología, acompañados de la revisión de información de radiación global en las estaciones de entidades como el IDEAM (automáticas y SUTRON), CAR, Cenicaña, Cenicafe, IPSE y FEDEARROZ, se lograron establecer los siguientes criterios para validar la información:

*** Aspectos generales**

- El principal objetivo de validar los datos de radiación global de cualquier tipo de sensor y sin importar la escala temporal en la cual se genera la información (cada dos, 10 o 30 minutos, horaria o diaria), es la de obtener el comportamiento promedio mensual de la radiación global acumulada diaria, que es lo que finalmente se plasma en los mapas de los atlas. Adicionalmente, si la información lo permite, se puede generar el promedio horario mensual de la radiación global a lo largo del año.
- Antes de empezar con el procedimiento de validación, se debe tener en cuenta que cualquiera de los criterios que se presentan a continuación, no tendrán mucha aplicación si la estación no ha sido calibrada previamente con un patrón secundario, que haya sido calibrado con un pirheliómetro de Cavidad Absoluta de primer orden de precisión, con certificación de la WRR, dada por el Centro Mundial de Radiación Solar de Davos Suiza.

*** Criterios de validación iniciales**

Los siguientes criterios están enfocados a la depuración preliminar de los datos provenientes de estaciones automáticas y que son descargados directamente del software HYDRAS 3, con el fin de corregir algunas falencias y/o errores típicos, debidos a problemas relacionados con la medición, transmisión y el reporte de datos. Una vez realizado el proceso anterior, las series de tiempo quedan listas para la aplicación de la constante de calibración.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 77 de 135

- Cuando se tiene una hora sin valor de radiación, no tener en cuenta dicha hora, ni rellenar la celda con ceros o introducir valores que puedan afectar los promedios horarios o la radiación global acumulada diaria. Debido a lo anterior, esa fila se debe eliminar.
- Tratar de llevar todos los datos originales a nivel horario. Si los datos se generan cada 10 minutos, promediar los seis datos de la hora para obtener uno solo.
- Se ha observado, en algunas de las estaciones, que la información de radiación global en horas de la noche, presenta valores en el rango de $-100 \text{ W}^*\text{h}/\text{m}^2$ a $100 \text{ W}^*\text{h}/\text{m}^2$, los cuales debieran de estar cercanos a cero debido a la ausencia de radiación solar. Por lo anterior, el valor más representativo de este desajuste se debe sumar o restar a los valores horarios de radiación del día respectivo. Como el valor de desajuste horario puede variar permanentemente, para un día en particular, se debe restar el valor de desajuste que más se repita en la noche (ejemplo, si en el reporte horario entre la 01:00 y 06:00 a.m. de la mañana y entre las 07:00 y 12:00 p.m. del día analizado, el valor de desajuste que más se repite es $35 \text{ W}^*\text{h}/\text{m}^2$, se debe restar el valor de 35 a todos los datos horarios de ese día en particular). De igual forma, en los casos cuando el desajuste sea menor a cero (negativo), se debe sumar el valor negativo que más se repita, a todos los datos horarios de ese día en particular. Lo anterior se debe realizar diariamente ya que el valor de desajuste puede variar de un día a otro, buscando que se obtengan datos lo más cercanos a cero en el ajuste, durante la noche.
- Confirmar que no se presenten datos de radiación global negativos, a cualquier hora del día, al hacer el anterior ajuste. Si esto ocurre se debe sumar el valor correspondiente para que el dato de radiación quede en cero.
- Corregir las horas que no correspondan a la hora exacta. Por ejemplo, si aparece un dato de radiación en una hora diferente (ej: 8:05), se debe ajustar para que quede en la hora exacta (8:00) con su correspondiente valor de radiación.
- En forma similar si se están trabajando datos cada dos minutos y aparece una hora diferente con segundos (ej: 08:02:05), se debe ajustar para que quede sola la hora exacta (8:02:00) y solo una vez con su correspondiente valor de radiación.
- En algunos casos, para ciertas entidades, no hay correspondencia entre el valor de la radiación con la hora (por ejemplo, el dato horario entre las 6:00 y las 6:59, es muy alto y corresponde mejor a lo que ocurre entre las 7:00 y las 7:59; en este caso el dato de radiación está adelantado una hora), posiblemente por mala configuración del sistema que recibe los datos del sensor. En esta situación se debe ajustar la hora verdadera con el dato correspondiente.
- Eliminar datos en periodos de tiempo que presenten interrupciones o que no son continuos, puesto que pueden venir de algún problema en el sensor o en la transmisión de los datos y muy probablemente no serían confiables. Se aconseja eliminar los datos que presenten este problema hasta que la serie vuelva a ser uniforme y lógica.
- Para cada hora debe existir un único valor de radiación, por lo cual, se deben eliminar horas que estén repetidas. Además, si existe más de un dato para una misma hora con diferentes órdenes de magnitud, se debe verificar cuál es el valor más acertado según el momento del día.

* **Criterios de validación finales**

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 78 de 135

Los siguientes criterios están relacionados al ajuste final de los datos, después de la aplicación de los anteriores criterios y de la constante de calibración respectiva, teniendo en cuenta los valores que puede tomar la variable desde el punto de vista teórico. Finalmente los criterios que se presentan a continuación, tienen como objeto confirmar o descartar definitivamente algunos datos obtenidos.

- Ajustar cada dato de radiación global (dosminutal, horario o diario) aplicando la constante de calibración específica para el sensor de radiación. Lo anterior se realiza multiplicando el dato por la constante.
- Eliminar datos horarios extremos por encima de 1100 W*h/m² (y de 1200 W*h/m² para datos dosminutales) solo después de realizar los anteriores ajustes. Este valor se tomó como el límite superior para todas las estaciones, determinándolo como el promedio para los máximos valores de radiación entre las estaciones analizadas que presentaban la mejor continuidad y calidad en cuanto a los datos y posteriores resultados. También para definir ese valor, se tomó en cuenta lo establecido por la WRR referente a la constante solar, la cual tiene un valor aproximado de: $I_0=1.367 \text{ W/m}^2$.
- A continuación, se definen valores máximos de radiación para cada hora del día, que sirven como referencia para el análisis de los datos:
 - Entre las 06:00 a.m. y 07:00 a.m. no pueden dar valores mayores a 100 W*h/m².
 - Entre las 07:00 a.m. y 08:00 a.m. no pueden dar valores mayores a 200 W*h/m².
 - Entre las 08:00 a.m. y 09:00 a.m. no pueden dar valores mayores a 600 W*h/m².
 - Entre las 09:00 a.m. y 10:00 a.m. no pueden dar valores mayores a 750 W*h/m².
 - Entre las 10:00 a.m. y 02:00 p.m. no pueden dar valores mayores a 1100 W*h/m².
 - Entre las 02:00 p.m. y 03:00 p.m. no pueden dar valores mayores a 750 W*h/m².
 - Entre las 03:00 p.m. y 04:00 p.m. no pueden dar valores mayores a 500 W*h/m².
 - Entre las 04:00 p.m. y 05:00 p.m. no pueden dar valores mayores a 300 W*h/m².
 - Entre las 05:00 p.m. y 06:00 p.m. no pueden dar valores mayores a 100 W*h/m².

Cabe anotar que los anteriores intervalos ayudan a tener un orden de magnitud y una referencia, pero hay que tener en cuenta algunas estaciones como casos especiales, cuyos valores pueden diferir a las demás, debido a que dichas estaciones pueden estar influenciadas por factores como la ubicación, aspectos geográficos, clima, etc.
- Verificar cuando la radiación acumulada diaria (suma de la radiación horaria entre las 5am y las 7pm) sea menor de 1000 Wh/m² y cuando sobrepase los 8000 Wh/m². En este caso se debe realizar un análisis subjetivo por parte del curador de la variable, para confirmar que se dieron las condiciones meteorológicas necesarias para que se den dichos valores extremos de radiación global.
- Si hay valores de radiación extremos en algún periodo del día en comparación al mismo periodo para otros días, se deben confirmar con los datos dosminutales (en las estaciones donde se tenga esta información). Los valores de radiación solo deben ser descartados si hay cambios bruscos en cuanto al orden de magnitud y no haya forma de corroborarlos.
- Si hay pocos días con información de radiación global en el mes (menos de veinte días), en principio ese mes no se debe tener en cuenta en la obtención de los promedios del mes respectivo, por otra parte, si el promedio de un mes que tiene menos de 20 (veinte) días con información, es coherente con promedios para ese mismo mes de otros años, es aceptable dejarlo.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 79 de 135

- Una forma de verificar que los resultados obtenidos son coherentes, es hacer una comparación del comportamiento de la variable de radiación global con la de brillo solar y precipitación. Para el anterior análisis, se sugiere que se haga con promedios mensuales multianuales de las variables mencionadas, esperando para la radiación global un comportamiento directo con el brillo solar e inverso con la precipitación. Lo anterior ayuda a determinar la existencia de errores en la validación de los datos y/o el correcto funcionamiento del sensor.
- Finalmente, se debe conocer muy bien el entorno donde está ubicada la estación para poder justificar el comportamiento mensual de la radiación global y las posibles diferencias con los comportamientos del brillo solar y la precipitación, ya que los sensores pueden estar influenciados por la ubicación de la estación (en zona de pendiente, plana, urbana, rural, entre otras), el clima (por ejemplo, si las lluvias se presentan en horas de la noche), los obstáculos alrededor, el tipo de plataforma colectora de datos de la estación, etc.

1.2.4.2. Diseño del análisis

Una vez depuradas las series de tiempo, después del tratamiento de validación y aplicación de la constante de calibración, son dejadas para la consulta y descarga de cualquier usuario en la base de datos de DHIME del IDEAM, como ya se indicó en el anterior numeral.

En la práctica las extensas series de tiempo, por sí solas no permiten hacer inferencias de manera rápida y directa en cuanto al comportamiento general de la variable. Debido a lo anterior, la forma adecuada en la que dicha información puede ser analizada de manera objetiva, es disponerla en otro estado de agregación a través del empleo de herramientas estadísticas.

a) Softwares empleados

Después de identificar las estructuras de cada una de las agregaciones definidas con sus respectivas especificaciones y condiciones, se procedió a utilizar un lenguaje de programación o plataforma que desarrollara los cálculos de forma rápida y práctica, en este caso se hizo uso de herramientas tales como macros en Excel y el software DHIME del IDEAM. A continuación, se especifica los productos que se obtienen con cada una de ellas.

* Visual Basic (Macros en Excel)

Por medio del lenguaje de programación orientado a objetos conocido como Visual Basic, en el cual se desarrollaron macros de Excel, se generaron los Promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global y los Promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, para los datos horarios de las estaciones automáticas. Los anteriores resultados se calculan, a partir de las series de tiempo validadas y ajustadas con la constante de calibración.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 80 de 135

La macro desarrollada es propiedad intelectual del IDEAM, ya que el Instituto contrato en su momento a un profesional para su diseño, con base a las pautas dadas por el funcionario encargado de la variable.

A partir de las series de tiempo de cada estación, la macro produce un único archivo, con tres resultados estadísticos distribuidos en dos formatos, que sirven como herramienta de trabajo interna y de análisis de la información procesada. Los Promedios mensuales anuales y multianuales de la radiación global acumulada diaria que se generan para cada estación, con esta herramienta, entre otras cosas sirven para actualizar el principal cuadro de resultados de la operación estadística.

*** DHIME**

Una vez se ha realizado todo el proceso de análisis de información, las series de tiempo finales para cada estación, son cargadas a la plataforma DHIME del IDEAM, la cual tiene la posibilidad de generar los siguientes resultados:

- Para estaciones automáticas, cuyos datos de radiación están en forma horaria, se calculan los Promedios horarios de la radiación global por mes, los Promedios horarios mensuales de la radiación global por año, los Promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria y por último el Promedio horario mensual multianual de la radiación global. Los anteriores resultados se calculan, a partir de las series de tiempo validadas y ajustadas con la constante de calibración.
- En el caso de estaciones convencionales, cuyos datos de radiación se encuentran como acumulados diarios, se calculan los Promedios mensuales de la radiación global acumulada diaria por año y los Promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria.

La generación de los anteriores reportes se encuentra explicada detalladamente en el numeral 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos). Dichos reportes están disponibles solamente para uso interno en el IDEAM y se espera que se puedan consultar por los usuarios externos a partir del año 2022.

Estos reportes que genera el portal DHIME, permiten confirmar que la migración de datos fue bien realizada, ya que los promedios generados, se comparan con los obtenidos a través de las macros en los archivos de Excel de cada estación.

b) 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:

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 81 de 135

- 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 experticia 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-Prezscott 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

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 82 de 135

los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global de estaciones modeladas con los de estaciones automáticas o convencionales del IDEAM.

Además de los profesionales encargados del proceso de gestión, procesamiento y análisis de la radiación global, el IDEAM tiene permanente contacto con entidades públicas (ejemplo, la UPME, el IPSE, XM, entre otras), universidades (la FULL, la Nacional) y empresas del sector (Celsia, EPM, entre otras) y los usuarios que utilizan los resultados del IDEAM, que aportan y hacen sugerencias a la información producida en relación a esta variable. Entre los mecanismos empleados para tal fin, se encuentran desde las PQRS, hasta los comités o reuniones con dichas partes.

c) Otros análisis

- En casos muy puntuales en donde exista duda de los datos disponibles de radiación global horaria, puede hacerse la comparación con información que se encuentra en otros estados de agregación. Por ejemplo, las series de tiempo a escala dosminutal de estaciones del IDEAM, se pueden llevar a acumulados horarios que permiten hacer comparaciones con las series de tiempo horarias del IDEAM.
- Adicionalmente, hay casos en los cuales no hay reporte de datos horarios para un periodo u horas específicas, pero si está el reporte de los datos dosminutales, entonces a partir de estos, se puede generar el dato horario para completar la información a esa escala.
- De forma adicional, cuando a nivel horario se presentan diferencias grandes de valores entre hora y hora, la información a escala dosminutal permite analizar dicha tendencia en detalle en las series de tiempo y verificar si se pueden o no presentar tales situaciones, con el fin de tener un soporte para justificar dichos comportamientos.

Cualquier cargue y/o modificación de la información de radiación solar es responsabilidad del funcionario de planta encargado de la variable. Cuando se realizan estas actividades en DHIME, quedan registradas en un cuadro de control de cambios (acción, fecha y responsable), que además de ayudar al funcionario a hacer un seguimiento de su trabajo, permite verificar si algún otro usuario con acceso al sistema realizó cambios no autorizados de la información correspondiente a la variable, para así tomar las respectivas acciones correctivas.

1.2.5. Diseño de la difusión y comunicación

En esta sección se hace referencia a los mecanismos, canales y medios previstos para la difusión y el acceso a la información producida por la operación estadística. Incluye las estrategias para promover el uso y la comprensión de la información estadística para responder a las necesidades de los grupos de interés.

1.2.5.1. Diseño de los sistemas de salida

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 83 de 135

Las estructuras de: promedio horario por mes, promedio horario mensual por año, promedio mensual multianual del acumulado diario, promedio horario mensual multianual y el promedio mensual del acumulado diario por año, corresponden a la forma usual en que se deben agregar los datos de radiación global, de acuerdo a las necesidades de los usuarios y a sus aplicaciones en productos como el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.

Debido a que la explicación del cálculo de cada uno de los indicadores asociados a los promedios mencionados, puede tornarse un poco confusa por todas las consideraciones que deben tenerse en cuenta en su estructura de cálculo, se decidió mostrar su forma de obtención a partir de las agregaciones que comprenden cada uno de estos resultados. Es así que en el numeral 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos), se detalla la forma de cálculo para las diferentes agregaciones.

Dichas agregaciones son explicadas en tablas, las cuales están contenidas en los cuadros de salida que se proponen y cuyo diseño final se ve reflejado en los diferentes formatos que se presentan tanto en la página web del IDEAM (sección de Química de la Atmósfera y el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia), como también en el portal DHIME. Además de esto, se elaboran mapas con los resultados correspondientes a los promedios mensuales multianuales y promedios anuales multianuales, los cuales, también se encuentran disponibles en el Atlas.

Diseño de resultados

Los principales resultados se presentan en cuadros de salida, gráficas y el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia.

*** Cuadros de salida**

La información y resultados de los indicadores para esta operación estadística, se presentan en tablas de datos estructuradas según los formatos establecidos por el IDEAM.

En la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos), se explica detalladamente la estructura y función de cada una de las tablas que se utilizan para presentar los resultados de la operación estadística en los respectivos formatos.

Los promedios e indicadores se generan para un grupo de estaciones, las cuales fueron seleccionadas en razón a que poseen las siguientes características:

- Generación de datos precisos. Los sensores han sido calibrados y tienen la trazabilidad con el Centro Mundial de Radiación Solar.
- Disponibilidad de series de tiempo largas, que permitan analizar plenamente el comportamiento de la variable.
- Correcto funcionamiento, mantenimiento y calibración de los sensores (piranómetros) que miden la variable en el tiempo.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 84 de 135

- Se encuentran ubicadas en alguna de las principales ciudades o municipios del país o algún centro industrial de importancia.
- Se encuentran ubicadas en algún aeropuerto.

Los diferentes cuadros de salida, presentan los siguientes componentes:

- Título de los cuadros: Cada uno de los formatos contiene el nombre del resultado que se va a registrar, además de información básica tal como el nombre, código, datos de ubicación, periodos de análisis y las unidades de las variables que se mencionan.
- Tabla de datos: Los diferentes cuadros de resultados, incluyen los resultados para la variable de radiación solar global en unidades de energía por unidad de área, Vatios*hora /metro cuadrado (Wh/m²).

Un ejemplo que describe lo anterior, se puede ver en los anexos 1 al 7 del presente documento metodológico.

* **Gráficas**

Las gráficas son diagramas de barras, diseñadas para presentar en forma ilustrativa y práctica, la distribución a lo largo de los meses del año, del Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie, para cada una de las estaciones correspondientes al indicador principal, y contienen los siguientes elementos:

- Título de las gráficas: Cada diagrama contiene el nombre de la estación y ciudad de ubicación, y el nombre del resultado que se va a registrar.
- Diagrama de barras: Las barras representan el promedio multianual acumulado para cada uno de los meses del año, en Vatios*hora /metro cuadrado (Wh/m²).

Un ejemplo que describe lo anterior, se puede ver en la figura 19 del presente documento metodológico.

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

Los resultados incluyen la información geográfica generada a partir del procesamiento de los datos para cada periodo de análisis, los cuales se ven materializados en mapas, que contienen:

- Logo del IDEAM
- Título del mapa
- Leyenda con los colores definidos para cada atributo a representar
- Grilla de coordenadas en el marco del área del mapa
- Escala
- División política
- Información geográfica de la temática correspondiente
- Información geográfica de los límites del país y países vecinos

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 85 de 135

Los mapas que representan la radiación global horizontal, se realizaron mediante varios pasos de análisis y clasificación espacial como son: interpolación, reclasificación, generación del mapa en formato ráster y conversión a formato vector, utilizando las herramientas de análisis de información geográfica propias del ArcGis (versión 10).

El sistema de referencia oficial que se utiliza es Magna Sirgas; el sistema de coordenadas es geográfico. La salida gráfica de estos mapas se hace en formato jpg y pdf.

Los valores que puede tomar la variable de radiación global horizontal en superficie, están asignados en 11 rangos de interés, con intervalos de 0,5 kWh/m² que comprenden desde 1,5 kWh/m² hasta 7,0 kWh/m², donde cada uno de ellos es representado por un color, tal como se puede observar en la tabla 17. Un ejemplo que describe lo anterior, se puede ver en la figura 20 del presente documento metodológico.

Tabla 17. Intervalos usados en los mapas de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global recibida en superficie

Símbolo	Valor a representar
	1,5 - 2,0 kWh/m ²
	2,0 - 2,5 kWh/m ²
	2,5 - 3,0 kWh/m ²
	3,0 - 3,5 kWh/m ²
	3,5 - 4,0 kWh/m ²
	4,0 - 4,5 kWh/m ²
	4,5 - 5,0 kWh/m ²
	5,0 - 5,5 kWh/m ²
	5,5 - 6,0 kWh/m ²
	6,0 - 6,5 kWh/m ²
	6,5 - 7,0 kWh/m ²

Fuente: Tomado de: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

La administración de la información en términos tecnológicos lo realiza la Oficina de Informática del IDEAM, la cual se encarga de gestionar el almacenamiento y operatividad de la base de datos a través de la infraestructura que soporta el DHIME.

Los microdatos y los metadatos se encuentran centralizados en bases de datos localizadas en el servidor del IDEAM y son sometidos a copias de respaldo periódicas a cargo de la Oficina de Informática de la Entidad.

La actualización de las series de tiempo correspondientes a estaciones automáticas se hace por lo menos una vez al año, lo que conduce a que inmediatamente los cuadros de salida asociados con esta información, se modifiquen teniendo en cuenta estos últimos cambios.

1.2.5.2. Diseño de productos de comunicación y difusión

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 86 de 135

A continuación, se detallan los entregables que permiten la visualización de los resultados producidos por la operación estadística:

*** Página web del IDEAM**

Para la variable de radiación solar global se presentan los promedios mensuales multianuales y anual multianual de la radiación global acumulada diaria. En la sección 1.2.1.5. (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos), se explica de manera detallada la forma en que se generan estos resultados.

Los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria para las estaciones automáticas seleccionadas, se publican acompañadas de gráficas de barras, en las que el eje X corresponde a los meses y el eje Y al valor del indicador, de manera que es posible ver su comportamiento a lo largo de los meses del año.

El principal cuadro de resultados, es el formato que consolida el indicador Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria, de las estaciones automáticas seleccionadas, el cual recibe el nombre de “Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país”, y corresponde al anexo 7.

*** Plataforma DHIME del IDEAM**

Se manejan otros cuadros de salida para presentar información más específica y detallada por estación. Entre dichos resultados se encuentran los siguientes: Promedio horario de la radiación global por mes, Promedio horario mensual de la radiación global por año, Promedio horario mensual multianual de la radiación global, Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria y el Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año, que corresponden a los anexos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, los cuales se manejan como reportes internos en la plataforma DHIME y se espera que a partir del año 2022 estén disponibles a los usuarios externos. En la sección 1.2.1.5. se explica detalladamente, la forma en que se generan estos resultados en forma de reportes.

Teniendo en cuenta que otro resultado estadístico identificado corresponde a las series de tiempo de radiación solar global, después de ser validadas, analizadas y ajustadas con la respectiva constante de calibración, se maneja otro cuadro con el cual es cargada la información a la base de datos DHIME. Este formato es otra opción de entrega de las series de tiempo de radiación solar global a los usuarios externos. La anterior información, que corresponde al anexo 8, está organizada a tres columnas, en donde la primera corresponde al código de la estación, la segunda a la fecha y la tercera al del dato final.

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).

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 87 de 135

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

Tanto en el Atlas virtual (cuyo lanzamiento se realizó en el año 2015) como en su versión en PDF (cuyo lanzamiento se realizó en abril del 2018), se ponen a disposición del país mapas y tablas con los promedios horarios, mensuales y anuales multianuales de la radiación solar global medida en superficie para todo el territorio nacional, con una mejor resolución espacial y temporal respecto a la versión del atlas publicada en el año 2005, además, de la explicación de la respectiva metodología empleada para la obtención de dichos resultados. Los anteriores elementos se complementan con diferentes tipos de análisis, información de carácter técnico-teórico relacionada con la medición de la variable y la normatividad asociada al aprovechamiento de esta forma de energía.

Específicamente para la elaboración de los mapas se tuvieron en cuenta, los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global recibida en la superficie, medida con 46 actinógrafos (estaciones convencionales), 96 piranómetros (estaciones automáticas), 4 piranómetros pertenecientes a estaciones SUTRON y 91 sensores de otras entidades, entre las cuales se encuentran Cenicaña, Cenicafé, Fedearroz y la CAR, con fecha de corte hasta el 31 de diciembre de 2016. Esta información se complementó con los resultados de la modelación de cerca de 340 sensores de brillo solar, escogidos para aplicarles el modelo de Ångström-Prescott que convierte los datos de brillo solar a radiación global.

De acuerdo a lo anterior, dicho documento se convierte de gran utilidad en las investigaciones relacionadas con esta variable y en las aplicaciones para el conocimiento y aprovechamiento (eléctrico, térmico y lumínico) de la energía solar en Colombia.

1.2.5.3. Entrega de productos

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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 88 de 135

- **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>.

* **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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 89 de 135

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-595A3ybNVJ-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).

1.2.5.4. Estrategia de servicio

Las solicitudes, preguntas o inquietudes relacionadas con información de radiación solar, deben hacerse a través del sistema de PQRS que maneja el Instituto y que se encuentra en la página de internet de la entidad. Dicha solicitud es remitida al funcionario correspondiente para su oportuna respuesta de acuerdo a los términos contemplados en la Ley 1755 de 2015 y el Procedimiento de servicio al ciudadano del IDEAM.

Toda petición o solicitud de información queda registrada en los correos electrónicos desde que es recepcionada, hasta que esta es respondida o solucionada. Dicha trazabilidad es el respaldo disponible que sirve de evidencia a la solución de las peticiones y para llevar plenamente el control de calidad interno del Instituto.

También está la posibilidad que brinda el Instituto para resolver dudas de manera presencial con el profesional encargado (en condiciones normales), con cita previa.

De manera adicional, existe la opción de descargar las series validadas de un DRIVE de Google, que el funcionario encargado de la variable en el Instituto comparte a quien solicita la información, a través de archivos de Excel sencillos para cada estación, que únicamente contienen tres filas, donde en la primera va el código de la estación, luego la fecha y finalmente el dato validado y ajustado por la constante de calibración. Estos archivos contienen toda la serie histórica de datos de radiación global, disponibles en la estación para la entrega a los usuarios en el momento.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 90 de 135

La oficialización de la información estadística ambiental producida por el instituto, en cumplimiento a la Ley 1955/2019- Artículo 155, Decreto 2404 de 2019, Resolución 1118 de 2020, a la NTCPE 1000/2020 y a la Política de Gestión de Información Estadística en el marco del Modelo Integrado de Planeación y Gestión – MIPG, se muestra en el M-GCI-P003 PROCEDIMIENTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN ESTADÍSTICA Y LA PUBLICACIÓN DE INDICADORES AMBIENTALES Y OTRAS ESTADÍSTICAS. Además, se presenta el M-GCI-F009 CALENDARIO DE DIFUSIÓN PARA LAS OPERACIONES ESTADÍSTICAS DEL IDEAM. Ambos documentos incluyen también lo concerniente a la variable de Radiación Global.

1.2.6. Diseño de los sistemas de producción y flujos de trabajo

A continuación, se definen los sistemas de producción y flujos de trabajo de la operación estadística para la variable radiación solar global, desde la obtención de los datos, hasta la publicación de los resultados finales ya sean series de tiempo o estadísticas contemplando, además, los requerimientos y características que debe poseer el talento humano que trabaja en cada una de las etapas del sistema.

- a) **Generación de los datos:** Esta etapa comprende todas las actividades relacionadas a la cadena de instalación, calibración y mantenimiento de sensores de radiación solar global. Las anteriores funciones las deberá realizar un profesional con experiencia relacionada en procesos de instalación y calibración de sensores de radiación solar, siguiendo las recomendaciones dadas por la OMM (OMM, 2017) y las normas ISO correspondientes.

El perfil requerido para realizar estas funciones, es el siguiente: Profesional en Meteorología, Ingeniería Meteorológica, Física o ciencias afines, Estadística, Matemáticas, Ingeniería Química, Ingeniería Geográfica, Ingeniería Ambiental y/o Sanitaria o disciplinas afines, con veinte (20) meses de experiencia relacionada en procesos de instalación y/o calibración de sensores de radiación solar.

- b) **Recopilación:** referida a la obtención y alistamiento de la información y que comprende principalmente las siguientes actividades:

- Recopilación de fuentes de información: descarga de las series de tiempo del sistema de recepción de datos HYDRAS 3, obtenidas de la medición directa del sensor, con su posterior organización.
- Análisis de las gráficas obtenidas de los actinógrafos para las estaciones mecánicas (convencionales), el cual incluye su inventario, manejo del planímetro y digitalización de la información finalmente obtenida en los formatos correspondientes.
Nota: Esta parte se realiza solo en el caso en el que existían registros de dicho tipo, pero por lo general no se tiene en cuenta, ya que el flujo general del trabajo, se enfoca a los datos provenientes a las estaciones automáticas.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 91 de 135

Este trabajo debe ser realizado por una persona que acredite al menos un título técnico o tecnólogo, con experiencia en el manejo y análisis de información, además de poseer habilidades ofimáticas. Esta persona además de la recopilación de los datos y análisis de gráficas, es la encargada de verificar, guardar y respaldar las series de tiempo obtenidas para su posterior tratamiento, con todas las consideraciones expuestas en la fase de diseño.

c) Procesamiento: Esta etapa comprende dos partes:

- Validación de datos: a partir de los criterios de validación establecidos en la fase de procesamiento del presente documento.
- Generación de promedios horarios y mensuales del año y multianuales: para la obtención de esta parte estadística, se debe ejecutar una macro en Excel, la cual fue codificada en Visual Basic. Para garantizar la consistencia de los cálculos realizados por la macro, la sumatoria en cada mes de los promedios horarios multianuales de la radiación global, deben ser exactamente iguales a los promedios mensuales multianuales de la radiación global acumulada diaria. Este proceso se realiza para tener un criterio adicional de decisión sobre el comportamiento general de la variable en el tiempo.

d) Análisis de resultados y control de calidad: una vez generadas las salidas mencionadas, estas deben ser analizadas para su posterior aprobación y por ende el de las series de tiempo con que fueron calculadas.

- Comparación con información de otras estaciones automáticas y convencionales: para encontrar patrones y relaciones en la información.
- Comparación de la información obtenida con la de otras entidades.
- Comparación con otras variables: contraste de la información obtenida con otras variables como son el brillo solar y la precipitación.
- Análisis de la información con base a eventos de variabilidad climática (principalmente de ocurrencia o no de La Niña o El Niño) para la aceptación o descarte de datos.
- Comparación con estaciones modeladas a partir de información de brillo solar.

Una vez generadas las salidas mencionadas, estas deben ser analizadas para su posterior aprobación y por ende el de las series de tiempo con que fueron calculadas. En el documento GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EN LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE, se presentan los análisis de contexto y coherencia que se realizan con la información de la variable de radiación global. Entre dichos análisis se encuentran:

- Comparación con información de otras estaciones automáticas y convencionales: para encontrar patrones y relaciones en la información.
- Comparación de la información obtenida con la de otras entidades.
- Comparación con otras variables: contraste de la información obtenida con otras variables como son el brillo solar y la precipitación.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 92 de 135

- Análisis de la información con base a eventos de variabilidad climática (principalmente de ocurrencia o no de La Niña o El Niño) para la aceptación o descarte de datos.
- Comparación con estaciones modeladas a partir de información de brillo solar.

Como producto final, las series de tiempo validadas son dispuestas en el archivo de Excel que se maneja internamente en el IDEAM mencionado en la sección de diseño del procesamiento, en el que además se encuentran otras estadísticas, tales como los promedios horarios y los promedios de los acumulados mensuales multianuales y en la última hoja la comparación del comportamiento mensual de la variable de radiación solar con el brillo solar y la precipitación.

Existe un formato en donde además de incluir los promedios de los acumulados mensuales multianuales de las estaciones del IDEAM, también se registra la información de otras entidades, el cual recibe el nombre de Catálogo general de estaciones que miden la radiación global en el país, el cual corresponde al formato 7.

Las anteriores funciones las debe realizar un profesional especializado, que además de tener habilidades en el procesamiento de grandes volúmenes de información y gestión del dato, debe poseer un conocimiento profundo sobre el comportamiento general y particularidades de este elemento meteorológico, gran capacidad para establecer análisis y argumentaciones con base a eventos de variabilidad climática y otros fenómenos meteorológicos.

El perfil requerido para realizar las anteriores funciones, es el siguiente: Profesional en Meteorología, Ingeniería Meteorológica, Física o ciencias afines, con título de especialización en Estadística, Matemáticas, Ingeniería Química, Ingeniería Ambiental y/o Sanitaria o disciplinas afines y veinte (20) meses de experiencia relacionada en la validación de datos, manejo de información, conocimiento de la climatología y su variación espacio temporal, así como de modelación de la radiación global.

- e)** Publicación de resultados (cargue a la base de datos de DHIME): una vez obtenidas las salidas del proceso anterior, estas deben ser cargadas a la base de datos de DHIME, específicamente a través del módulo AQUARIUS Times Series.

Esta parte, como ya se mencionó en la anterior actividad, la debe realizar en principio un funcionario de planta, el cual debe ser un profesional especializado en el trabajo de la variable, que realiza esta labor con funcionarios de la Oficina de Informática, que poseen las respectivas credenciales de ingreso a la base de datos DHIME (usuario y contraseña). Es importante también mencionar que existe la posibilidad de hacer modificaciones a la información anteriormente cargada al sistema. Como resultado al procedimiento anterior, el usuario finalmente puede obtener directamente las series de tiempo de su interés.

Por lo general, todo el proceso completo para las estaciones automáticas se realiza al menos una vez al año, pero puede variar de acuerdo a las directrices establecidas por la entidad o disponibilidad presupuestal, para la contratación de los profesionales encargados de realizar los procesos de calibración en campo de los sensores de radiación (piranómetros), así como la validación y análisis de la información, hasta la obtención de las series de tiempo que finalmente serán cargadas a la base de datos DHIME.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 93 de 135

*** Riesgos asociados**

Con el fin de evitar la ocurrencia y/o dar manejo a los eventos críticos que pueden generar un daño potencial en cada uno de los procesos que se manejan en la operación estadística, se elabora el mapa de riesgos correspondiente, el cual se presenta en la sección 1.3.5 (Configuración de flujo de trabajo), en donde se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- Fue estructurado de acuerdo a los procesos definidos en el sistema de producción y flujos de trabajo propuesto.
- Se presentan una serie de acciones preventivas, para evitar que los riesgos potenciales a cada proceso se presenten.
- Por cada riesgo potencial, existe al menos una alternativa de solución.
- Una alternativa de solución puede ser común para varias acciones correctivas.
- Se manejan tres niveles de riesgo en la operación estadística, en donde cada uno de ellos es representado por un color diferente, nivel alto, color rojo; nivel medio, color amarillo, y nivel bajo, color verde.

El responsable principal de cada una de las acciones preventivas y por ende las correspondientes alternativas de solución, asociadas a los riesgos involucrados en los diferentes procesos de la operación estadística, es el profesional especializado de planta del Instituto, encargado de la variable de radiación global.

1.2.7. Diseño de la evaluación de las fases del proceso

En este subproceso se establecen los criterios metodológicos para valorar el desarrollo de las fases del proceso estadístico y determinar en qué medida se ha logrado el cumplimiento de los objetivos planteados en la operación estadística, en contraste con las necesidades de información de los usuarios y con los resultados obtenidos.

El objetivo principal para la Operación Estadística es el de “Generar información sobre el comportamiento de la radiación global recibida en superficie durante el año en las principales ciudades del país, con el propósito de contribuir al conocimiento de la disponibilidad de la energía solar en el territorio nacional estratégicas, con potenciales del recurso, para la solución de necesidades energéticas de la población y para otros usos”.

En la tabla 18, se presentan los indicadores para la evaluación de cada una de las fases de la Operación Estadística Radiación Global, con sus correspondientes criterios de evaluación, procedimiento o evidencias que lo soportan y el responsable correspondiente:

Tabla 18. Indicadores de evaluación para las fases de la Operación Estadística Radiación Global

Fase	Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento/Evidencia	Periodo de Evaluación	Responsable
------	-----------	------------------------	-------------------------	-----------------------	-------------



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 1

FECHA: 19/08/2021

Página: 94 de 135

Fase 1. Detección y análisis de necesidades	Necesidades de información radiación global confirmadas. (No. necesidades de necesidades atendidas /No. necesidades allegadas)	Oportunidad	Caracterización de usuarios de la información de radiación global.	Anual	Profesional Especializado 1
	Planeación operación estadística radiación global. (Programación física y presupuestal de la Operación estadística).	Funcionalidad / Aplicabilidad	Plan general de la operación estadística Radiación Global. Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística Radiación Global diligenciado.	Anual	Profesional de Planta encargado de la variable de radiación global.
Fase 2. Diseño	Calibración piranómetros	Calidad de insumos / Aplicabilidad	Plan de calibración anual.	Anual	Profesional de Planta encargado de la variable de radiación global.
	Planeación de la difusión (Programación de la difusión de la Operación estadística radiación global).	Uso Exhaustividad	Calendario de difusión.	Anual	Profesional de Planta encargado de la variable de radiación global.
Fase 3. Construcción	Documentos elaborados y/o actualizados. (No. Documentos elaborados y/o actualizados).	Descripción documental	Documentos: Manuales, Instructivos, Guías, Procedimientos, Protocolos, Formatos u Otros, elaborados y/o actualizados.	Anual	Profesional Especializado 1
Fase 4. Recolección/acopio	Series de tiempo recopiladas. (No. Series de tiempo recopiladas).	Uso / Aplicabilidad	Series de tiempo actualizadas.	Anual	Técnico
Fase 5. Procesamiento	Series de tiempo validadas y ajustadas. (No. Series de tiempo validadas y ajustadas).	Uso / Aplicabilidad	Series de tiempo actualizadas en el computador del funcionario.	Anual	Técnico

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 95 de 135

Fase 6. Análisis	Series de tiempo ajustadas y analizadas. (No. Series de tiempo ajustadas y analizadas).	Funcionalidad / Aplicabilidad	Series de tiempo actualizadas en DHIME.	Anual	Profesional Especializado 1
Fase 7. Difusión	Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Claridad / Exhaustividad	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística radiación global, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional de planta (encargado de la variable)
Fase 8. Evaluación	Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Claridad / Exhaustividad	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística radiación global, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional de planta (encargado de la variable)

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que como acciones de mejora de la fase de evaluación del proceso estadístico, se tienen definidos espacios de seguimiento y evaluación que permitan determinar la eficiencia y eficacia de los procesos, procedimientos y productos de la operación, tales espacios son el Marco Nacional de Servicios Climáticos (MNSC), las Mesas Técnicas Agroclimáticas, Mesas de trabajo del IDEAM, Formalización de acuerdos con entidades públicas, los cuales se describen detalladamente en los Mecanismos de consulta desarrollados presentados en la Fase 1. (Detección y análisis de necesidades y privadas.

Por otro lado, también se cuenta con el espacio de comités de expertos, en los cual se socializan los resultados y se hacen recomendaciones para la mejora de la calidad de la información que se genera en la Operación Estadística Radiación Global y el cual se describe de manera más completa en la fase 1.6.5 (Finalización de resultados).

A través de estos mecanismos, se detectan las fortalezas, debilidades y las oportunidades de mejora en las distintas fases del proceso estadístico para retroalimentar la operación estadística en sus iteraciones posteriores. Se establecen lineamientos que serán insumo para la elaboración del Plan Anual de Adquisiciones, instrumento a través del cual se asignan los recursos correspondientes para la implementación de las acciones del Plan General de la Operación Estadística Radiación Global.

Tabla 19. Evaluación y seguimiento de la Operación Estadística Radiación Global



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 1

FECHA: 19/08/2021

Página: 96 de 135

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento/Evidencia	Periodo de Evaluación	Responsable
Evaluación y seguimiento de la Operación Estadística Radiación Global (No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación ejecutados / No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación planeados).	Uso / Aplicabilidad / Funcionalidad	Acta de Reunión / Lista de asistencia de las mesas realizadas. Informe acciones de mejora	Anual	Profesionales a cargo de la Operación Estadística Radiación Global.
Nivel de satisfacción de necesidades	Funcionalidad / cobertura	Encuesta de satisfacción aplicada. Informe satisfacción de necesidades	Anual	Profesionales a cargo de la Operación Estadística Radiación Global.

Fuente: Elaboración propia

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 97 de 135

1.3 FASE 3. CONSTRUCCIÓN

En esta fase se construyen o desarrollan y prueban los mecanismos, los instrumentos o las herramientas, así como los procesos y actividades, siguiendo las especificaciones del diseño, hasta el punto en que están listos para la puesta en funcionamiento. Esta fase es parte fundamental del proceso estadístico dado que en ella se elaboran los insumos necesarios para la ejecución de las demás fases del modelo.

Esta fase está conformada por nueve subprocesos que suelen ser secuenciales, pero que también pueden ocurrir en paralelo y pueden ser iterativos. Estos subprocesos son:

1.3.1. Conformación del marco estadístico y selección de la muestra

No aplica el marco estadístico ni la selección de la muestra, ya que 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)”. .

1.3.2. Construcción de instrumentos de recolección/acopio

1.3.2.1. Registros gráficos

Los únicos registros gráficos que se han generado en la presente operación estadística, son las gráficas obtenidas de los actinógrafos que funcionaron hasta el año 2004, en donde cada una representaba la radiación global acumulada en un día, se elaboró el Formato de datos de radiación global para estaciones convencionales (formato 6), en donde eran ingresados digitalmente los valores medidos del área bajo la curva, para así convertirlo finalmente a información de radiación global diaria en unidades de Wh/m² por día, a través de la aplicación del factor y la constante de calibración correspondiente.

Los formatos en mención, son archivos en Excel, software perteneciente a la compañía Microsoft, por el cual el IDEAM paga licencia por su uso.

1.3.2.2. Procedimiento para la construcción y mantenimiento de los instrumentos de recolección

El IDEAM dispone del documento M-GDI-H-P008 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPOS ELECTRONICOS EN ESTACIONES HIDROMETEOROLOGICAS AUTOMÁTICAS, en donde se muestra el procedimiento para realizar la instalación, operación y mantenimiento a las estaciones hidrometeorológicas automáticas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM.

Este procedimiento a su vez referencia a los procedimientos: M-GDI-H-P010 PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS NUEVAS

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 98 de 135

y el M-GDI-H-P011 MANTENIMIENTO EQUIPOS ELECTRÓNICOS EN ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.

Los anteriores procedimientos tienen a su vez asociado el formato M-GDI-H-F004 FORMATO HOJA DE INSPECCIÓN ESTACIÓN AUTOMÁTICA HIDROMETEOROLÓGICA, en donde es registrada información relacionada con la variable de la radiación global.

Los registros del anterior formato son conservados por el Grupo de Automatización del Instituto.

1.3.3. Construcción o mejora de componentes para el procesamiento y análisis

Se diseñó un manual de formación de HYDRAS 3, con el fin de ayudar tanto a los usuarios internos del Instituto que utilizan este software, como a los administradores que son responsables de su instalación y mantenimiento. Dicho documento recibe el nombre de “Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3” (IDEAM, 2000).

*** Códigos informáticos desarrollados para el cálculo de las agregaciones**

- Visual Basic (Macros en Excel)

De manera preliminar se generó un código a través del software Visual Basic (perteneciente a la corporación Microsoft), descrito en la sección 1.2.4.2 (Diseño del análisis), mediante el cual se calculan: los promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global y los promedios mensuales, anuales y multianuales de la radiación global acumulada diaria para cada una de las estaciones automáticas. El anterior código de Visual Basic, se presenta como evidencia documental.

De acuerdo a los anteriores resultados estadísticos, se permite la verificar la consistencia de cada una de las series de tiempo analizadas, con las que fueron calculados los respectivos promedios.

Después de realizar estos análisis, junto a los que se proponen en la sección 1.2.4.2, se procede a cargar las series de tiempo de las estaciones automáticas del IDEAM, al portal DHIME.

- DHIME

En la página DHIME del IDEAM, además de los anteriores promedios obtenidos a través de Visual Basic, se generan de forma adicional otros indicadores para las estaciones automáticas, como también los promedios correspondientes para las estaciones convencionales, cuyas estructuras de cálculo son descritas en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos).

 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 99 de 135

Los cuadros de resultados que se presentan por este portal, tanto para estaciones automáticas como convencionales, se actualizan inmediatamente son cargadas las respectivas series de tiempo a DHIME.

Específicamente el cargue de las series de tiempo se hace a través del portal AQUARIUS de DHIME, cuyo procedimiento se presenta en el Manual de Usuario Proyecto DHIME (IDEAM, 2019b).

La totalidad de los CODIGOS informáticos empleados, fueron desarrollados por la empresa contratada para la implementación de esta base de datos, de acuerdo a actas que se desarrollaron conjuntamente entre los responsables temáticos del IDEAM y dicha empresa, en las cuales se describen las estructuras de cálculo relacionadas en la sección 1.2.1.5 y que se implementaron en la plataforma DHIME a manera de reportes.

1.3.4. Construcción o mejora de componentes de difusión /comunicación

Los medios a través de los cuales se hace la interpretación y se explican los usos para la información estadística difundida de la radiación global son: el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia y la página web del IDEAM, en donde, además, se expone un completo marco conceptual asociado con la medición de esta variable.

Sin embargo, en la página web del IDEAM se recomienda al usuario externo consultar directamente el Atlas (a través del enlace web que se indica), ya que en dicho documento, se encuentra la información de forma más completa y pormenorizada sobre la temática en cuestión.

En forma general, los componentes de la difusión y comunicación (tanto productos, como formas y/o medios de divulgación) son descritos de manera detallada en la sección 1.2.5.

Debido a que la operación estadística es por muestreo no probabilístico, no se requiere elaborar material y/o hacer publicidad para la recolección de datos.

1.3.5. Configuración de flujos de trabajo

En esta sección se construyen los flujos de trabajo y el mapa de riesgos para la operación estadística.

1.3.5.1. Flujos de trabajo

En la figura 17 se presentan los flujos de trabajo, teniendo en cuenta las diferentes fases e interrelaciones del proceso estadístico, junto con sus correspondientes responsables:

1.3.5.2. Mapa de riesgos

Se muestra el correspondiente mapa de riesgos para la presente operación estadística en la figura 18:

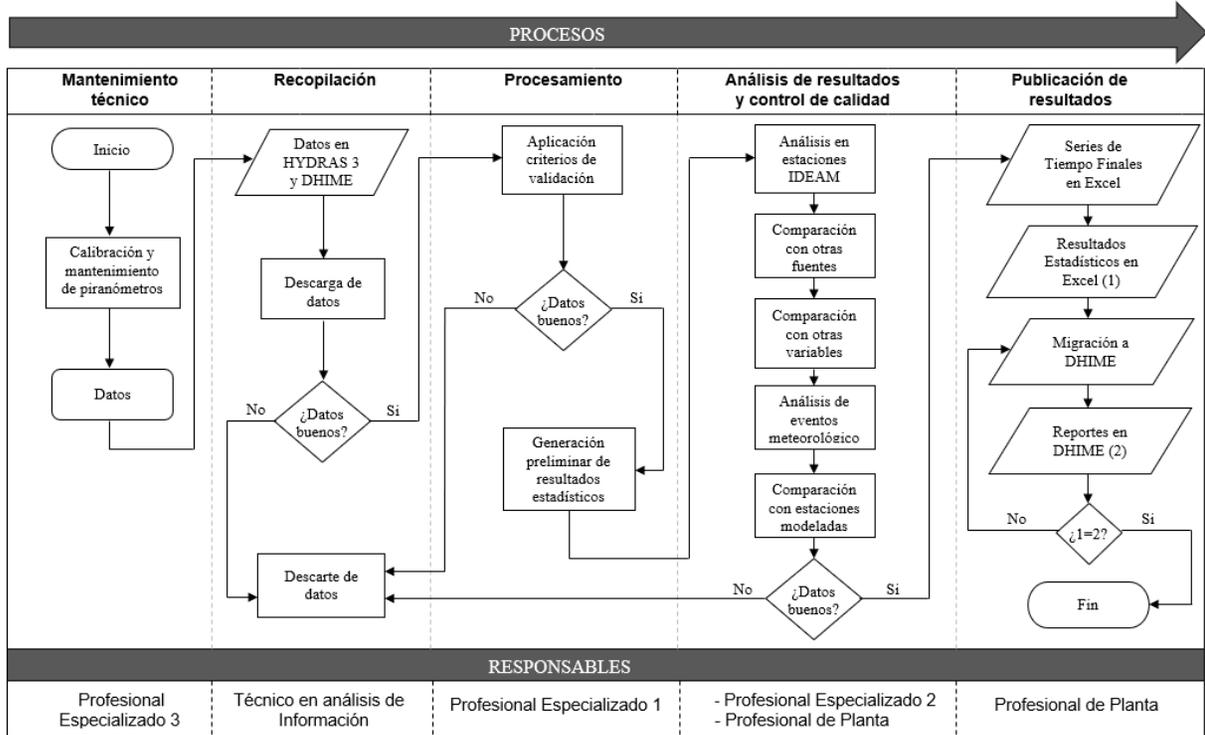


Figura 17. Sistema de producción y flujos de trabajo para la Operación Estadística Radiación Global del IDEAM. Fuente: Elaboración propia

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 101 de 135

PROCESO	RIESGO	ACCIONES PREVENTIVAS	ALTERNATIVAS
Generación de los datos	No asignación de recursos para contratación de personal	Mantenimiento anual Crear alianzas para la obtención de recursos externos al IDEAM	Asignar el trabajo pendiente en la próxima contratación
	Fallas en el sensor	Mantenimiento preventivo	Asignar el trabajo pendiente en la próxima contratación
	Robo del sensor	Garantizar armario de seguridad en la estación meteorológica	Instalación rápida de un nuevo sensor
Recopilación	No asignación de recursos para contratación	Crear alianzas para la obtención de recursos externos al IDEAM	Asignar el trabajo pendiente en la próxima contratación
	Fallas en el software HYDRAS 3	Mantenimiento periódico por parte de la Oficina de Informática	Descargar los datos directamente desde el Datalogger de la estación
Procesamiento	No asignación de recursos para contratación de personal	Crear alianzas para la obtención de recursos externos al IDEAM	Asignar el trabajo pendiente en la próxima contratación
Análisis de resultados y control de calidad	No asignación de recursos para contratación de personal	Crear alianzas para la obtención de recursos externos al IDEAM	Asignar el trabajo pendiente en la próxima contratación
Publicación de resultados	Fallas en la base de datos DHIME	Mantenimiento periódico por parte de la Oficina de Informática	Obtener las series de tiempo del DRIVE o de los archivos que el funcionario guarde en su equipo

Nivel de riesgo	
Alto	
Medio	
Bajo	

Figura 18. Mapa de riesgos para la Operación Estadística Radiación Global del IDEAM.
Fuente: Elaboración propia

1.3.6. Pruebas al sistema de producción

Debido a que la Radiación Global está incluida dentro de las variables hidrometeorológicas que el IDEAM maneja, a través del Grupo de Automatización, se tiene establecido el documento M-GDI-H-P009 PRUEBA DE EQUIPOS ELECTRÓNICOS, en donde se realizan las pruebas de verificación y funcionamiento de equipos electrónicos para las estaciones automáticas de la red del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. El formato empleado para el anterior procedimiento es el M-GDI-H-F005 FORMATO PRUEBA DE EQUIPOS PARA ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS.

Por otro lado, a través de la Subdirección de Meteorología, se tiene un documento M-GDI-M-PL001 PLAN DE CONTINGENCIA PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS, en donde se definen los procedimientos a seguir ante la ocurrencia de eventos atípicos que dejen fuera de operación las estaciones meteorológicas con el fin de dar una respuesta ágil y eficaz que permita continuar con la observación y medición de los elementos meteorológicos. Las variables meteorológicas, tales como temperatura, precipitación, humedad y radiación global, se miden en una misma estación meteorológica.

El IDEAM solo presenta información de radiación global, en la que los datos originales fueron ajustados con la correspondiente constante de calibración. Así las cosas, cuando no se tenga constante de calibración para alguna estación, los resultados asociados (promedios o series de tiempo) no son publicados.

Aspectos asociados a la medición y la calibración se especifican en la sección 1.2.3.1 (Métodos de recolección de datos), correspondientes a la sección de diseño. Por otro lado, en

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 102 de 135

la Guía N.º 8 (OMM, 2017), y la siguiente serie de normas ISO que se enlistan a continuación, se especifica el procedimiento para la calibración de los piranómetros:

- 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.

Adicionalmente, con la Oficina de Informática del Instituto, se trabaja estrechamente, en aspectos relacionados con:

- Correcto acopio de los datos medidos en las estaciones automáticas y que son reportados a través del software HYDRAS 3.
- Homologación de códigos y generación de etiquetas para las series de tiempo en la plataforma DHIME.
- Disposición de las series de tiempo finales en la plataforma DHIME.
- Generación de las diferentes agregaciones (promedios y/o indicadores) previamente definidas para la operación estadística y que finalmente se disponen en la plataforma DHIME, por medio de los reportes.

Las anteriores actividades se encuentran evidenciadas en las actas de trabajo y correos electrónicos que muestran la trazabilidad de cada una de las gestiones realizadas.

En este sentido, los documentos que se tienen de respaldo y que sirven de apoyo para realizar las anteriores pruebas, son los siguientes:

- Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3 (IDEAM, 2000)
- Manual de Usuario Proyecto DHIME (IDEAM, 2019b)
- Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos (IDEAM, 2019c)

1.3.7. Prueba piloto del proceso estadístico

No aplica. La obtención de los datos se realiza mediante mediciones continuas (dosminutales y horarias) a través instrumentos, los cuales son revisados regularmente.

1.3.8. Evaluación del diseño y la construcción

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 103 de 135

Para la evaluación de esta fase se aplica el indicador propuesto en la fase de diseño.

1.3.9. Finalización del sistema de producción

Acorde con la metodología de calibración de radiómetros definida en la sección 1.2.3.1 (Métodos de recolección de datos), los criterios de validación para los datos de radiación global que se muestran en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento) y los análisis de la información que se describen en la sección 1.2.4.2 (Diseño del análisis), el profesional encargado de la operación estadística, aprueba los diseños, procedimientos e instrumentos para la operación y se procede con la implementación de las siguientes fases.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 104 de 135

1.4 FASE 4. RECOLECCIÓN/ ACOPIO

En esta fase se ejecutan todas las acciones planeadas, diseñadas y construidas en las fases anteriores, con el fin de obtener los datos que permitirán generar la información estadística que satisfaga las necesidades identificadas. Para la presente operación estadística, la recolección se realiza por medio de piranómetros instalados en la red nacional de estaciones del IDEAM. Esta fase está conformada por cuatro subprocesos que suelen ser secuenciales, pero que también pueden ocurrir en paralelo y pueden ser iterativos. Estos subprocesos son:

1.4.1. Preparación de la recolección/acopio

En este subproceso se asegura que las personas, los procesos, las herramientas, la tecnología, los elementos y materiales, estén listos para la recolección/acopio de los datos de acuerdo con la metodología establecida para este fin. Se lleva a cabo en un período de tiempo previo a la ejecución de la recolección/acopio, ya que incluye actividades de estrategia, consecución, entrenamiento, contratación y logística que fueron diseñadas en la segunda fase y elaboradas o desarrolladas en la tercera fase.

1.4.1.1. Acopio de archivos o bases de datos del IDEAM

Los registros pertenecientes a estaciones convencionales, son debidamente manejados y almacenados en archivos de Excel, quedando listos así para su análisis y posterior cargue a la base de datos DHIME.

Por otro lado, una vez que los datos son medidos en los sensores de radiación global (piranómetros), correspondientes a las estaciones automáticas, se procede a su transmisión y almacenamiento, la cual se hace a través del sistema de recepción de datos HYDRAS 3.

En la sección 1.2.3.2 (Métodos de acopio de datos) se explica cómo se realiza el acopio o transmisión de los datos iniciales, desde la estación meteorológica automática que incluye el sensor de radiación global (piranómetro) hasta HYDRAS 3, de donde son descargadas las series de tiempo crudas. Mientras esté en funcionamiento HYDRAS 3, siempre habrá acceso a este sistema de recepción de datos.

1.4.1.2. Acopio de archivos o bases de datos de otras fuentes

En la presente operación estadística se gestionan datos de otras entidades, con el único fin de tener información de contraste, comparación y complementación respecto a los productos del IDEAM. Los datos suministrados y los resultados estadísticos que se generan de otras fuentes no son objeto de publicación por parte del Instituto, sin embargo, estos quedan disponibles para la entidad que suministro los datos originales.

El IDEAM gestiona datos de radiación global de otras entidades que los miden y procesan, acogiéndose al Decreto 235 de 2010, que regula el intercambio de información entre entidades

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 105 de 135

y las obliga a establecer mecanismos de intercambio, sin que se genere costo alguno para la entidad que la solicita. Las entidades ante las que se hacen las respectivas solicitudes de información son la CAR y el IPSE.

Por otra parte, se han materializado alianzas estratégicas para obtener información de radiación global de otras fuentes, entre los cuales se encuentran: Cenicaña, Cenicafé y Fedearroz, teniendo en cuenta el Artículo 3, del Decreto 235 de 2010, *“Para efectos de formalizar el intercambio de información, de manera ágil, oportuna y confiable, las entidades públicas o los particulares encargados de una función administrativa podrán emplear el mecanismo que consideren idóneo para el efecto, tales como cronograma de entrega, plan de trabajo, protocolo o convenio, entre otros”*.

1.4.2. Ejecución de la recolección/acopio

1.4.2.1 Acopio de archivos o bases de datos del IDEAM

A través del software HYDRAS 3 del IDEAM, se verifica periódicamente que los sensores de radiación global, se encuentren funcionando bien, es decir reportando datos en forma continua y correcta, por medio del diagnóstico mencionado en la sección 1.3.6 (Pruebas al sistema de producción). De no ser así, las novedades en cuanto a irregularidades que se presentan en las estaciones automáticas, asociadas a la toma de datos del sensor y su transmisión y reporte al sistema HYDRAS 3, son informadas a través de memorandos a la Oficina de Redes del IDEAM.

Como se menciona en la sección 1.3.6 (Pruebas al sistema de producción), se trabaja conjuntamente con la Oficina de Informática del Instituto, en aspectos relacionados con el acopio de los datos medidos en las estaciones automáticas y que son reportados a través del software HYDRAS 3.

1.4.2.2. Acopio de archivos o bases de datos de otras fuentes

Indistintamente a la normatividad y tiempos de respuestas establecidos que rigen en relación a la entrega de información, las solicitudes de datos a otras entidades, centros de investigación o gremios, siempre se han hecho en un ambiente de colaboración y cordialidad, teniendo en cuenta el beneficio que puede traer para ambas partes la obtención de los resultados estadísticos.

Para los datos obtenidos de otras fuentes, se realizan ciertas verificaciones relacionadas con la ubicación (coordenadas geográficas), características del instrumento de medición (la marca y modelo del sensor, si fue calibrado o no), calidad de los datos, entre otros aspectos.

El acopio de las series de tiempo y de las gráficas de actinógrafos (pertenecientes a Cenicafé), es realizada en forma física, a través de CDs, USBs y cajas de gráficas, respectivamente.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 106 de 135

1.4.3. Cierre de la recolección / acopio

Independientemente del origen de los datos de radiación global, ya sea del IDEAM o de otras fuentes, tales como entidades públicas, centros de investigación o gremios del sector productivo, se procede a analizar las series de tiempo, de acuerdo a los “Criterios de validación para los datos de radiación global”, de la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento), seguido de la generación de los promedios y/o indicadores que se mencionan en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos). Toda esta información es guardada con sus respectivas copias de seguridad en el equipo del funcionario.

1.4.4. Evaluación de la recolección/ acopio

Para la evaluación de esta fase se aplica el indicador propuesto en la fase de diseño.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 107 de 135

1.5 FASE 5. PROCESAMIENTO

En esta fase se desarrollan actividades que garantizan el adecuado procesamiento de los datos de entrada y su preparación para ser analizados. Está conformada por ocho subprocesos que integran, verifican y transforman los datos de entrada de modo que puedan ser analizados y difundidos como resultados estadísticos.

La fase de procesamiento debe ocurrir de forma reiterada, dependiendo de la regularidad en que se requieran los resultados estadísticos. Los subprocesos en esta fase son aplicados a datos recopilados por fuentes alternativas relacionadas con instrumentos tecnológicos de medición (equipos electrónicos). Estos subprocesos son:

1.5.1. Integración de datos

La única integración de datos o información de la presente operación estadística, fue la que se realizó a partir de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria de las estaciones del IDEAM, junto a los promedios generados a partir de los datos de otras entidades, con los cuales se elaboraron los mapas mensuales y anuales de la radiación global en el territorio nacional y que se presentan en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, versión 2018, tal como se explica en la sección 1.2.5.2 (Diseño de productos de comunicación y difusión). Para los demás resultados estadísticos propuestos en la presente metodología, tales como cuadros de resultados, graficas, series de tiempo, no se realiza integración de datos, ya que en ningún momento se combinan con datos de fuentes externas al IDEAM.

1.5.2. Clasificación y codificación

No aplica, ya que no se hace traducción de los datos obtenidos a ningún código o clasificación.

1.5.3. Revisión y validación

En este subproceso se examinan los datos en búsqueda de problemas potenciales, errores y discrepancias como valores atípicos, con la oportunidad de verificar directamente el dato.

1.5.3.1. Datos del IDEAM

Todas las series de tiempo, independiente que sean de estaciones convencionales o automáticas, están condicionadas a pasar por un proceso de verificación.

Las series de tiempo para estaciones convencionales se organizan de acuerdo a lo dispuesto en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento). En el caso de estaciones automáticas, después de la transmisión y almacenamiento de los datos de radiación global, mencionados

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 108 de 135

en la sección 1.2.3 (Diseño de la recolección/acopio), las series de tiempo son organizadas en archivos para proceder a validarlas, tal como se especifica en la sección 1.2.4.1 Diseño del procesamiento. Tanto los datos de radiación global de las estaciones automáticas como las convencionales, están sujetas a la aplicación de los Criterios de validación, definidos en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento).

1.5.3.2. Datos de otras fuentes

En el caso de las estaciones de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), Cenicaña, Cenicafé y Fedearroz, se sigue la misma metodología de las estaciones del IDEAM. De manera particular, para las estaciones del IPSE solo se aplican los criterios iniciales, debido a que dichas estaciones no han sido calibradas.

Estas series de tiempo validadas, son entregadas a las respectivas entidades, lo cual aplica como copia de seguridad, ya que en la plataforma DHIME, solo es cargada la información de las estaciones del IDEAM.

Los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria de todas las estaciones, tanto del IDEAM como de otras fuentes, son dispuestos en un mismo formato, el cual recibe el nombre de Catálogo general de estaciones que miden la radiación global en el país, el cual se encuentra como formato 7.

Por otra parte, se realiza el cálculo de la no respuesta de los datos obtenidos para la variable de interés, el cual se presenta en el FORMATO PORCENTAJE DE VALORES FALTANTES EN LA CAPTURA DE DATOS DE RADIACIÓN GLOBAL EN LAS ESTACIONES DE MEDICIÓN. En dicho formato además, se presenta el procedimiento de cálculo para dichos valores faltantes.

1.5.4. Edición e imputación

No se agregan ni se cambian valores para esta operación estadística.

1.5.5. Derivación de nuevas variables y unidades

No aplica, ya que no se generan nuevas variables.

1.5.6. Cálculo de ponderadores

No aplica, debido a que no se hace inferencia de resultados, ya que, para el caso de la radiación global, el valor medido corresponde a la porción de la atmósfera sobre la cual tiene influencia el sensor ubicado en la estación meteorológica.

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 109 de 135

1.5.7. Cálculo de agregaciones

Los cálculos para las diferentes agregaciones, relacionados con la obtención de los resultados estadísticos propuestos para la Operación Estadística Radiación Global, se explican de manera detallada en la sección 1.2.1.5. (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos) del presente documento metodológico. Los cuadros de salida para los anteriores indicadores, se presentan según lo descrito en la sección 1.2.1.6 (Plan de resultados), que a su vez se presentan con mayor detalle en la sección 1.2.5.2 (Diseño de productos de comunicación y difusión) y el acceso por parte de los usuarios se describe en la sección 1.2.5.3 (Entrega de productos).

Inicialmente los cálculos de los promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global y promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria para cada estación automática del IDEAM, son realizados con el código de Visual Basic (formato 2 y 3) y se guardan en carpetas, tal como se describe en la sección 1.2.4.1 (Diseño del procesamiento), las cuales el funcionario encargado de la variable de radiación global, conserva en su equipo con sus respectivas copias de seguridad.

En el Catálogo general de estaciones que miden la radiación global en el país (formato 7), se actualizan los promedios mensuales y el anual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie, para todas las estaciones que miden esta variable y cuyo sensor ha sido calibrado. Finalmente, a partir de este formato se extrae el indicador “Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria”, para las veintiséis (26) estaciones automáticas y convencionales del IDEAM, el cual se publica en la página web.

1.5.8. Finalización de los archivos de datos

El archivo en Excel de cada estación automática, que está conformado por los formatos 1 al 4, es guardado en la carpeta de la región en la cual está ubicada la estación.

Existen dos grupos de archivos para las estaciones convencionales, cada uno dispuesto en una carpeta diferente, el primero contiene el formato 4 para todas las estaciones, mientras que el segundo corresponde al formato 6, llamado Formato de datos de radiación global para estaciones convencionales, el cual incluye los datos para un año de la serie histórica.

Por otro lado, los archivos de las estaciones correspondientes a otras fuentes (IPSE, CAR, Fedearroz, etc.) se guardan en la carpeta de la entidad a la cual pertenecen.

En otras carpetas, se disponen los archivos correspondientes al Formato de Migración a DHIME para las series de tiempo históricas (anexo 8), discriminadas de acuerdo al tipo de estación (automáticas o convencionales del IDEAM).

Junto con las anteriores carpetas, también se adjunta el catálogo general de estaciones con los promedios mensuales y anual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para todas las entidades, el cual se encuentra como formato 7.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 110 de 135

Cabe subrayar que el Instituto guarda en carpetas debidamente organizadas, los archivos correspondientes a los resultados estadísticos obtenidos con series de tiempo de otras entidades o fuentes. Estos productos generados quedan disponibles para ser entregados (por sí los llegasen a solicitar) únicamente a la entidad que suministro los datos.

Como se menciona en la sección 1.5.1 (Integración de datos), la única información que es publicada y difundida por el Instituto, proveniente de otras entidades o fuentes, son los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global, que se integran con los correspondientes del IDEAM, para generar los mapas de esta variable y que se presentan en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, versión 2018, tal como se explica en la sección 1.2.5.2 (Diseño de productos de comunicación y difusión).

Para todas las anteriores carpetas, se crean las respectivas copias de seguridad en el equipo del funcionario encargado de la variable de radiación global en el IDEAM.

Una vez las series de tiempo del IDEAM (tanto automáticas como convencionales), son procesadas y analizadas, se procede a realizar su respectivo cargue al portal DHIME.

Por otro lado, periódicamente se revisa la base de datos DHIME, específicamente el módulo de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos, con el fin de verificar que las series de tiempo de radiación global, se encuentren disponibles para descarga de los usuarios externos. En caso contrario, se deben realizar las acciones correctivas para dar solución inmediata al problema, y si la falla corresponde al software, coordinar con la Oficina de Informática la gestión tendiente a superar el inconveniente.

Después de verificar la correcta migración de las series de tiempo de la radiación global del IDEAM al portal DHIME, de manera automática se actualizan los reportes que se describen en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos).

Por último, es importante destacar que la página DHIME, tiene un espacio de control de cambios, el cual muestra las acciones hechas dentro del portal, relacionadas al cargue y/o eliminación de series de tiempo finales en forma parcial o total, indicando los responsables de dichas novedades y las fechas en que se hicieron.

1.5.9. Evaluación del procesamiento

Para la evaluación de esta fase se aplica el indicador propuesto en la fase de diseño.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 111 de 135

1.6 FASE 6. ANÁLISIS

En esta fase se verifica la coherencia y la consistencia de los resultados con el fin de asegurar su calidad. Para esto se pueden emplear métodos y procedimientos de investigación cuantitativos o cualitativos y así asegurar que la información producida esté lista para su uso y posterior difusión. La fase está conformada por seis subprocesos que pueden ser secuenciales, sin embargo, también pueden realizarse en paralelo o ser iterativos. Estos subprocesos son:

1.6.1. Preparación de borradores de resultados

En este subproceso los datos de radiación global que son obtenidos a partir de estaciones automáticas y convencionales, son convertidos en resultados estadísticos. Desde las series de tiempo validadas, analizadas y ajustadas con la respectiva constante de calibración, se generaron los indicadores que se detallan en la sección de 1.2.1.5. (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos), donde se explica la obtención de los mismos para la presente operación estadística, de acuerdo al resultado esperado por el Plan Estadístico Nacional, y en la sección 1.2.1.6. (Plan de resultados), se describe y presenta la estructura de los cuadros de salida, para dichas estadísticas.

* **Análisis preliminar**

En el Instituto se realiza un análisis preliminar a través de las siguientes acciones:

- Estaciones automáticas: inicialmente se realiza la validación y ajuste de los datos recopilados con las constantes de calibración, seguido del cálculo de los promedios horarios mensuales multianuales de la radiación global y los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, para finalmente hacer el análisis que se describe en la sección 1.2.4.2 (Diseño del análisis). Lo anterior se ve reflejado en los formatos 1 al 4.
- Estaciones convencionales: inicialmente se realiza la validación de las series de tiempo diarias (que ya tienen incluida la constante de calibración), seguido del cálculo de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria, para finalmente hacer los análisis que se describen en la sección 1.2.4.2 (Diseño del análisis). Lo anterior se ve reflejado en los formatos 6 y el 4 para estaciones convencionales.

1.6.2. Validación de los resultados

La aprobación de la información se hace teniendo en cuenta aspectos tanto cuantitativos como cualitativos:

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 112 de 135

1.6.2.1. Validación de los resultados en forma cuantitativa

La forma cuantitativa para aceptar las diferentes series de tiempo de radiación global del IDEAM y por ende los indicadores estadísticos producidos a partir de dicha información, es a través del ajuste de los datos validados por medio de un factor de corrección. Dicho valor, es obtenido a través del proceso de calibración, el cual brindara precisión, exactitud y confiabilidad en todos los resultados obtenidos.

Este factor recibe el nombre de constante de calibración y es aceptado únicamente si se encuentra dentro del rango de error permisible para el tipo de medición respectiva (no mayor al 5%). En la sección 1.2.3.1 (Métodos de recolección de datos) se explica su forma de obtención.

1.6.2.2. Validación de los resultados en forma cualitativa

Todas las series de tiempo del IDEAM antes y después del ajuste con la respectiva constante de calibración, están condicionadas a la aplicación de los criterios de validación establecidos para datos de radiación global.

Sin embargo, en muchos casos los datos en esta forma no permite hacer inferencias en cuanto al comportamiento de la variable, por lo que una forma en la que se pueden realizar análisis, es disponer la información en otro estado de agregación con la aplicación de alguna herramienta estadística.

Lo anterior se realiza a través del análisis de los promedios propuestos en la sección 1.2.1.5 (Definición de variables y construcción de indicadores estadísticos), con los cuales se aceptan o descartan definitivamente, en primer lugar las series de tiempo que fueron ajustadas con la respectiva constante de calibración y por otro lado, los indicadores esperados de la presente operación estadística y definidos en el Plan Estadístico Nacional – PEN (DANE, 2020a), con base a las consideraciones explicadas en la sección 1.2.4.2 (Diseño del análisis).

Los indicadores definidos, de acuerdo al PEN, se incluyen en el formato “Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país”, el cual se encuentra como anexo 7.

Después de hacer el análisis tanto cuantitativo como cualitativo, se obtienen los productos propuestos en el plan de resultados.

* **Cuadro de resultados**

A manera de ejemplo, en el anexo 7, se presenta el cuadro de resultados correspondiente a los indicadores esperados por la Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie” de acuerdo al Plan Estadístico Nacional 2020-2022, (DANE 2020a, Anexo B) “Promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 113 de 135

diaria recibida en superficie para las principales ciudades del país”, reportando para 26 (veintiséis) estaciones, actualizados al año 2019.

* **Gráficas**

A manera de ejemplo, se presenta la gráfica para una de las 26 estaciones (en este caso Metromedellín, actualizada al año 2019), que hacen parte del cuadro de resultados correspondiente a los indicadores esperados por la Operación Estadística Información de la Radiación Global Recibida en Superficie, de acuerdo al PEN 2020-2022, (DANE, 2020a) “Promedios mensuales y anual multianuales de la radiación global.

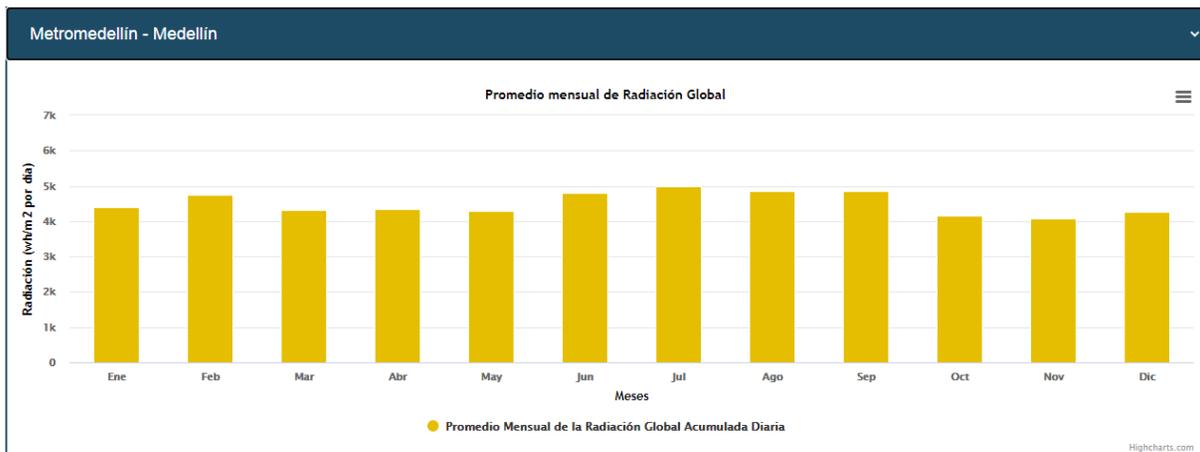


Figura 19. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para la estación Metromedellín. Fuente: Tomado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/clima>

A continuación, se presentan ejemplos para los demás resultados estadísticos de la variable radiación global, que aunque no hace parte de lo solicitado por el Plan Estadístico Nacional, fueron propuestos de acuerdo a las necesidades identificadas en los usuarios de información de la radiación global.

* **Datos meteorológicos en línea (series de tiempo)**

En el portal DHIME se pueden descargar las series históricas validadas para 119 estaciones automáticas y 34 series de estaciones convencionales del IDEAM.

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

En este documento se presentan los mapas de los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria para Colombia (trece en total). A manera de ejemplo se presenta el mapa con el Promedio anual multianual de la radiación global acumulada diaria para Colombia, actualizado al año 2017.

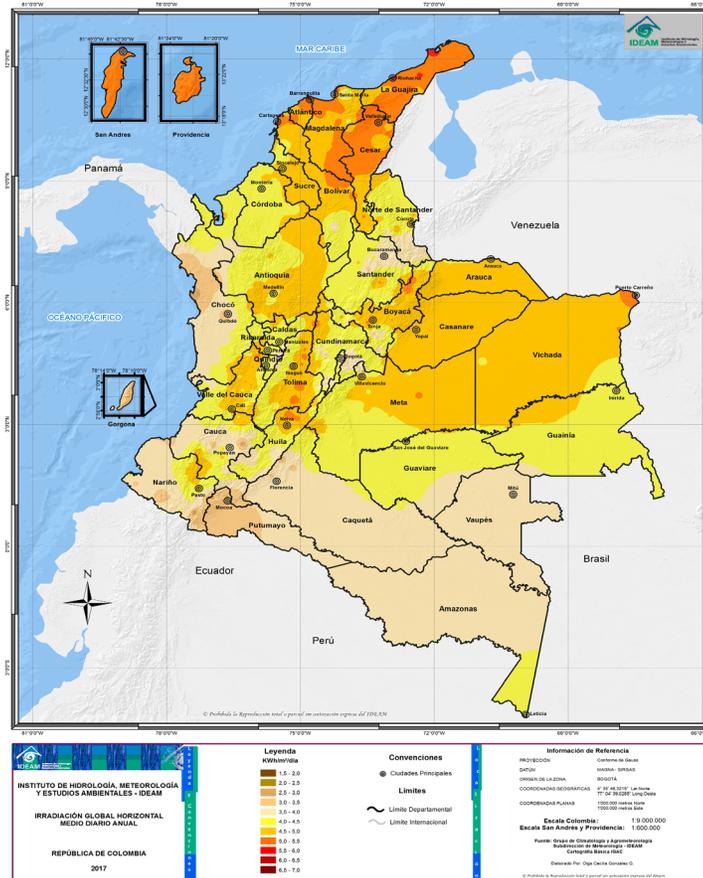


Figura 20. Mapa con los Promedios anuales multianuales de la radiación global acumulada diaria recibida en superficie para Colombia (actualizado al año 2017). Fuente: Tomado de (IDEAM, 2017)

Todos los anteriores resultados son presentados de acuerdo a los mecanismos definidos en la sección 1.2.5.2 (Diseño de productos de comunicación y difusión), para la difusión/comunicación de la información de radiación global, en el presente documento metodológico.

1.6.3. Interpretación y explicación de los resultados

Los resultados para esta variable se interpretan de acuerdo a lo descrito en los numerales 1.6.1 (Preparación de borradores de resultados) y 1.6.2 (Validación de los resultados). De forma complementaria, en el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia se realizan análisis regionales del comportamiento promedio anual y a lo largo del año de la radiación global. Para contextualizar el comportamiento medio de esta variable a nivel nacional, también se realiza un análisis de la radiación global a nivel mundial.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 115 de 135

1.6.4. Aplicación del control a la divulgación

No aplica, ya que la información manejada no corresponde a datos sensibles, privados o semiprivados, conforme a lo establecido en la Ley de 1377 de 2013.

Una vez analizados y avalados los resultados estadísticos de esta variable, se proceden a cargar a la plataforma DHIME las series de tiempo con las cuales estos fueron calculados.

1.6.5. Finalización de resultados

A través de los comités de expertos se discuten las fortalezas y pertinencia de los resultados expuestos, las necesidades, oportunidades de mejora, las dificultades que aún se presentan y observaciones que se tengan en general.

La mejor manera que ha encontrado la subdirección para socializar los resultados, es por medio de la invitación que se extiende a los profesionales expertos en la materia, que pueden aportar desde sus experiencias particulares, elementos claves en el mejoramiento de la información. En este sentido, se hace partícipes tanto entidades del sector público como del sector privado involucradas en proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), en particular la fotovoltaica. Dentro de este primer grupo se encuentran el IPSE, la UPME y el Ministerio de Minas y Energía, y por el lado del sector privado se encuentran la Fundación Universitaria Los Libertadores, XM, entre otros.

Con algunos sectores, se ha llegado hasta la formalización de convenios con el IDEAM, que han permitido en algunos casos la movilización de recursos en favor del Instituto, para cumplir con algunos de los objetivos propuestos en la gestión de información de la variable de radiación global como insumo para el sector de FNCE.

De estos comités, mesas de trabajo o técnicas en los que participan profesionales y académicos expertos en el área, quedan actas, en las cuales son registrados, entre otros elementos propuestos, convenios, intercambios de información y otros temas que en el futuro servirán para el desarrollo de la temática.

Debido al buen manejo de la Operación Estadística Radiación Global, por parte del instituto, el Consejo Profesional de Ingeniería Química de Colombia (CPIQ), declaró **como ganador del XIII Premio Nacional de Ingeniería Química 2020, categoría Investigación Institucional, al trabajo titulado “Atlas de Radiación Global, Ultravioleta y Ozono de Colombia”** elaborado por el IDEAM. El anterior reconocimiento establecido por el CPIQ, se otorgó como “estimulo a la investigación profesional que constituya un aporte a la solución de un problema nacional” y confirma una vez más la pertinencia y coherencia de la información estadística que el Instituto genera en relación a la variable de radiación global.

Eventualmente, también se hacen encuestas para identificar de primera mano las necesidades de los usuarios de la información de radiación global que genera el IDEAM.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 116 de 135

1.6.6. Evaluación del análisis

Para la evaluación de esta fase se aplica el indicador propuesto en la fase de diseño.

1.7 FASE 7. DIFUSIÓN

En esta fase, se pone a disposición de los usuarios la información estadística generada como resultado de la operación estadística, a través de los medios de divulgación establecidos, que incluyen todas las actividades asociadas con su respectiva documentación de soporte permitiendo a los usuarios acceder a estos.

La fase está conformada por seis subprocesos que pueden ser secuenciales, sin embargo, también pueden realizarse en paralelo o ser iterativos, los cuales son:

1.7.1. Actualización de los sistemas de salida

En este subproceso se realizan todas las actividades relacionadas con el ensamble y publicación de los diferentes productos generados por la operación estadística, en los medios tecnológicos determinados para que los usuarios puedan acceder a los datos publicados.

La administración de la información en términos tecnológicos lo realiza la Oficina de Informática del IDEAM, la cual se encarga de gestionar el almacenamiento y operatividad de la base de datos a través de la infraestructura que soporta el DHIME.

Los microdatos y los metadatos se encuentran centralizados en bases de datos localizadas en el servidor del IDEAM y son sometidos a copias de respaldo periódicas a cargo de la Oficina de Informática de la Entidad.

* **Página web del IDEAM**

Una vez calculados los promedios mensuales y anuales multianuales de la radiación global medida en superficie, por las estaciones automáticas seleccionadas, estos resultados estadísticos se proceden a consignar en el formato correspondiente al anexo 7, el cual posteriormente es cargado a la página web institucional.

* **Portal DHIME**

Por otro lado, la plataforma DHIME como se describió en el numeral 1.2.3.2 (Métodos de acopio de datos), 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.

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 117 de 135

El DHIME cuenta con un Portal Geográfico 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.

Los indicadores asociados a los anteriores medios (página web y portal DHIME), se actualizan al menos una vez al año.

*** Atlas de radiación Global, Ultravioleta y Ozono de Colombia**

Los mapas correspondientes a este documento se actualizan aproximadamente cada 10 años. En el presente documento (sección 1.7.4) se muestran los mecanismos que fueron empleados para la difusión del Atlas correspondiente a las versiones de los años 2015 y 2018, sin embargo, en cada versión se establecen los procedimientos y estrategias particulares para la difusión/comunicación, teniendo en cuenta los nuevos desarrollos tecnológicos y dinámicas sectoriales del momento.

1.7.2. Generación de productos de difusión/ comunicación

Una vez oficializada la información por parte de la Subdirección de Meteorología, esta se procede a publicar de acuerdo a lo establecido en los numerales 1.2.5.3. (Entrega de productos) y 1.6.2.2. (Validación de los resultados en forma cualitativa).

1.7.3. Gestión de la publicación de productos de difusión/ comunicación

Se realizan todas las gestiones y/o acciones tendientes a la generación o publicación de los productos referidos en el numeral 1.7.2. (Generación de productos de difusión/ comunicación), bien sea en la página web del IDEAM, el portal DHIME o con el Atlas de Radiación Global, Ultravioleta y Ozono de Colombia.

1.7.4. Promoción de productos de difusión/ comunicación

En este subproceso se realiza una comunicación efectiva donde se dan a conocer los productos estadísticos de la operación estadística a los usuarios, tanto permanentes como potenciales, de la información.

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

*** Participación en eventos del sector académico y empresarial**

- **Lanzamiento del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia:** Como regla general Institucional, el Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, se actualiza aproximadamente cada diez años, mejorando respecto a la versión anterior la

 <p>Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 118 de 135

resolución espacio-temporal y teniendo en cuenta además los últimos avances y estándares relacionados a la medición de esta variable.

Siempre la publicación de una nueva versión del Atlas, se realiza de la mano con un evento de carácter académico e institucional, para dar a conocer y explicar de primera mano la estructura y contenido general del documento.

En la presentación del Atlas de versiones anteriores, varios ejemplares impresos de estos fueron dados a algunos participantes presentes en dichos lanzamientos. Sin embargo, con el tiempo esta forma de entrega ha tendido a desaparecer para realizarse completamente de manera digital, como fue el caso de los años 2015 y 2018 (versión digital y en PDF, respectivamente), en donde se regalaron memorias USB que además de contener el documento en mención, también incluían los Atlas Climatológico y el de Viento. De esta forma, se ayuda a que la difusión de la información en el sector se realice de manera más efectiva.

- **Feria Exposolar:** Una de las apuestas del Instituto, a través de la Subdirección de Meteorología, para dar a conocer los productos que se generan de la variable de radiación solar global, es participar activamente en eventos de índole nacional, asociados al campo de las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), en particular la fotovoltaica. Con dicha estrategia, se pretende acercar a dicho sector, que requiere la información, además de conocer de primera mano sus necesidades en relación a esta temática.

Es así que, a partir del año 2018 se hace presencia en la Feria Exposolar, en la cual participan, desde entidades públicas, las cuales dan a conocer los diferentes tipos de servicios que brindan asociados a la temática, hasta empresas del sector privado y mixto, que ofrecen diferentes tipos de productos y servicios en relación al campo de la energía solar.

1.7.5. Gestión de soportes de usuarios

Las PQRS en relación a la información de radiación global, evidencian el historial, desde que se recibe la solicitud, hasta que esta es contestada, inclusive en algunos casos llegando a recibir comentarios positivos y de satisfacción por parte de los usuarios atendidos y en otras ocasiones resolviendo nuevas inquietudes que surjan de la respuesta enviada inicialmente.

Para evidenciar la anterior afirmación, se dispone de una carpeta, en donde se pueden encontrar las respuestas a todas las PQRS correspondientes a la variable de radiación global.

1.7.6. Evaluación de la difusión

Para la evaluación de esta fase se aplica el indicador propuesto en la fase de diseño.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 119 de 135

1.8 FASE 8 EVALUACIÓN

1.8.1. Concentración de insumos para la evaluación

Una vez finalizado el ciclo de producción de la operación estadística y con el fin de conocer si los objetivos planteados fueron cumplidos e identificar las posibles oportunidades de mejora, en la presente fase se consolidan los insumos en marco de la evaluación de la operación, tales como: opiniones de usuarios, informes parciales de evaluación de fases previas, metadatos, planes de mejora históricos o informes de autoevaluaciones anteriores o de auditorías.

1.8.2. Evaluación

La evaluación se enmarca en la aplicación del siguiente indicador que se extrae de la tabla 20:

Tabla 20. Indicador para la evaluación de la Operación Estadística Radiación Global

Indicador	Criterio de evaluación	Procedimiento/Evidencia	Periodo de Evaluación	Responsable
Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Claridad / Exhaustividad	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística radiación global, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.	Anual	Subdirector (a), Coordinador (a), Profesional de planta (encargado de la variable)

Fuente: Elaboración propia

1.8.3. Determinación de un plan de acción o mejora

En este subproceso se determina la generación de un plan de acción o mejora de acuerdo con los resultados obtenidos durante el desarrollo de la evaluación. Este subproceso debe incluir igualmente la consideración de un mecanismo para monitorear el impacto de dichas acciones que, al mismo tiempo, proveen insumos para evaluaciones de iteraciones futuras del proceso. El plan de acción requiere la aprobación, por parte de las instancias directivas, de las acciones identificadas, así como la asignación de los recursos correspondientes.

De acuerdo a los resultados de la evaluación, se generan acciones a implementar dentro del proceso estadístico del siguiente año. Estas acciones de mejora se consolidan en el plan de acción anual (PAA) de la Subdirección de Meteorología.

Producto de las auditorías internas, se generan informes de auditoría y en respuesta a ello el respectivo plan de mejora, con el fin de subsanar los hallazgos identificados y contribuir a la mejora continua del proceso estadístico. Dicho plan de mejora, es sujeto de seguimiento con el fin de verificar el cumplimiento y efectividad de las acciones propuestas.

 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 120 de 135

En el formato E-SGI-F014 FORMATO FORMULACION Y SEGUIMIENTO PLAN DE MEJORAMIENTO, se propone el plan de mejoramiento para cada una de las No Conformidades detectadas en la auditorías internas.

Por otra parte, el IDEAM a través del Grupo de Gestión de la Calidad y el responsable de la operación estadística, se comprometen a garantizar el cumplimiento de todos los requisitos normativos antes de volver a presentarse a auditorías y procesos de evaluación externos.

Adicionalmente, se dispone de indicadores operativos y de calidad para evaluar el desarrollo de cada una de las fases y determinar en qué medida se logra el cumplimiento de los objetivos planteados en la operación estadística, en contraste con las necesidades de información de los usuarios y con los resultados obtenidos.

En la tabla 21, se presentan los indicadores aplicados en cada fase de la operación estadística:

Tabla 21. Indicadores aplicados en cada una de las fases de la Operación Estadística

Fase	Indicador	Objetivo del Indicador	Documentos y/o registros soporte
Fase 1. Detección y análisis de necesidades	Necesidades de información radiación global confirmadas. (No. necesidades de necesidades atendidas /No. necesidades allegadas)	Identificar las necesidades de información global y confirmar la oportunidad en respuesta.	Tabla 1. Caracterización de los principales usuarios de la información de la radiación global.
	Planeación operación estadística radiación global. (Programación física y presupuestal de la Operación estadística).	Establecer los aspectos necesarios para una planeación efectiva del proceso.	Plan general de la operación estadística radiación global. Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística radiación global, diligenciado.
Fase 2. Diseño	Interacción con usuarios (Aplicación de encuesta a usuarios internos y externos)	Identificar y confirmar necesidades de información de radiación global. Analizar si en algún momento es necesario el rediseño de la operación estadística.	Aplicación de Encuesta
Fase 3. Construcción	Documentos elaborados y/o actualizados. (No. Documentos elaborados y/o actualizados).	Verificar la construcción, desarrollo y/o prueba de los instrumentos y herramientas diseñadas en la etapa anterior.	Documentos: Manuales, Instructivos, Guías, Procedimientos, Protocolos, Formatos u Otros, elaborados y/o actualizados.
Fase 4. Recolección	Series de tiempo recopiladas.	Verificar la ejecución de las acciones planeadas,	Series de tiempo actualizadas.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 121 de 135

	(No. Series de tiempo recopiladas).	diseñadas y construidas en las fases anteriores, con el fin de obtener los datos que permitirán generar la información estadística que satisfaga las necesidades identificadas.	
Fase 5. Procesamiento	Series de tiempo validadas y ajustadas. (No. Series de tiempo validadas y ajustadas).	Realizar el procesamiento de la información con base a los criterios de validación.	Series de tiempo actualizadas en el computador del funcionario.
Fase 6. Análisis	Series de tiempo ajustadas y analizadas. (No. Series de tiempo ajustadas y analizadas).	Realizar el análisis de la información con base a las herramientas propuestas.	Indicadores en DHIME. Indicadores en la página web.
Fase 7. Difusión	Solicitudes de información atendidas (PQRS solucionadas/PQRS recibidas)	Verificar la disposición de la información estadística generada como resultado de la operación estadística, a los usuarios y partes interesadas, a través de los medios de divulgación establecidos.	Atlas de radiación Indicadores en la página web. Indicadores en DHIME.
Fase 8. Evaluación	Ejecución física y presupuestal de la operación estadística (% de ejecución física y financiera).	Verificar el cumplimiento de objetivos de la operación estadística en términos de ejecución física y presupuestal.	Formato Plan de actividades, cronograma y presupuesto para la operación estadística radiación global, con seguimiento. Contratos y/o convenios suscritos y/o celebrados.
	Indicadores (acción de mejora) Evaluación y seguimiento de la Operación Estadística Radiación Global (No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación ejecutados / No. de espacios y/o eventos de socialización y evaluación planeados).	Identificar y priorizar las posibles acciones de mejora, a partir de la retroalimentación por parte del grupo técnico de trabajo, usuarios y partes interesadas.	Acta de Reunión / Lista de asistencia de las mesas realizadas. Informe acciones de mejora

Fuente: Elaboración propia

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 122 de 135

2. DOCUMENTOS RELACIONADOS

-----, Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE. *Lineamientos para el Proceso Estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, Versión 2.* (2020), disponible en https://www.sen.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estad%3%ADstico_v2.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Guía para la elaboración del Plan General de las Operaciones Estadísticas.* (2020), disponible en: https://www.sen.gov.co/files/sen/lineamientos/Gu%3%ADa_Plan_General.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Guía para la elaboración del documento metodológico de operaciones estadísticas.* (2020), disponible en: https://www.sen.gov.co/files/sen/lineamientos/Guia_Documento_Metodol%3%B3gico.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Condiciones para la evaluación y certificación de la Calidad Estadística.* (2018), disponible en: <https://www.dane.gov.co/files/sen/calidad/evaluacion/CO-01-condiciones-evaluacion-certificacion.pdf> [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Manual de uso del marco geoestadístico nacional en el proceso estadístico.* (2018), disponible en: https://www.sen.gov.co/files/BuenasPracticas/Manual_MGN_.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Lineamientos para el proceso estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, versión 1.* (2017), disponible en: https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/Lineamientos_Proceso_Estadistico.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

-----, *Norma Técnica de la Calidad del Proceso Estadístico (NTCPE 1000).* (2017), disponible en: https://www.dane.gov.co/files/sen/normatividad/NTC_Proceso_Estadistico.pdf [fecha de consulta: 13 de agosto de 2020].

 <p> IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales </p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 123 de 135

3. BIBLIOGRAFÍA

- DANE, (2013). *Plan de Mejoramiento variables meteorológicas* - IDEAM. Bogotá.
- DANE, (2020a), *Plan Estadístico Nacional, Actualización 2020-2022 (versión 2), Anexo B*, Bogotá, D.C.
- DANE, (2020b), *Lineamientos para el proceso estadístico en el Sistema Estadístico Nacional, Actualización 2020-2022 (versión 2)*, Bogotá, D.C.
- IDEAM (2000). *Manual de formación de IDEAM para el software de aplicación HYDRAS 3*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2005a). *Atlas Climático de Colombia*. Bogotá D. C.: IMPRENTA NACIONAL DE COLOMBIA.
- IDEAM, (2005b). *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2018). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2019a). *Guía metodológica de la operación estadística variables meteorológicas*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2019b). *Manual de Usuario Proyecto DHIME!*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2019c). *Manual de Usuario Consulta y Descarga de datos hidrometeorológicos*. Bogotá, D.C.
- IDEAM (2020a). Diccionario Meteorológico (Agosto 2019). Recuperado desde: <http://www.ideam.gov.co/documents/11769/72085840/Anexo+10.+Glosario+meteorol%C3%B3gico.pdf/6a90e554-6607-43cf-8845-9eb34eb0af8e>
- IDEAM, (2020b). *Acerca de la Entidad*. Recuperado desde: <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>
- IDEAM, (2021a). *Guía para la operación y mantenimiento de las estaciones meteorológicas convencionales*. Bogotá, D.C.
- IDEAM, (2021b). *Caracterización de usuarios 2020*. Bogotá, D.C.
- ISO 9059 (1990a). *Solar Energy – Calibration of Field Pyrheliometers by Comparison to a Reference Pyrheliometer*. Ginebra.
- ISO/TR 9901 (1990b). *Solar Energy – Field Pyranometers – Recommended Practice for Use*. Ginebra.
- ISO 9847 (1992). *Solar Energy – Calibration of Field Pyranometers by Comparison to a Reference Pyranometer*. Ginebra.
- ISO 9846 (1993). *Solar Energy – Calibration of a Pyranometer Using a Pyrheliometer*. Ginebra.
- ISO 9060, (2018). *Solar Energy – Specification and Classification of Instruments for Measuring Hemispherical Solar and Direct Solar Radiation*. Ginebra.
- Mudelsee, M. (2010). *Climate time series analysis*. Nueva York: Springer.
- OCDE, (2020). *Glossary of Statistical Terms*. Recuperado desde: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=4622>
- OMM, (1989). *Cálculo de las normales estándares mensuales y anuales para un período de 30 años* (WMO/TD-No. 341). Ginebra.
- OMM, (1998). *Baseline Surface Radiation Network (BSRN): Operations Manual* (WMO/TD-No. 879). Ginebra. Recuperado desde: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=8885; <https://www.kippzonen.com/Download/418/BSRN-Operations-Manual-WCRP>.
- OMM, (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación* (OMM N° 488), Genève, Suiza.

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 124 de 135

- OMM, (2017). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* (OMM N.º 8), Genève, Suiza.
- OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG., (1999). *Introducción a HYDRAS 3*, Kempten, Alemania. Recuperado desde: <https://www.ott.com/es-la/productos/soluciones-de-software-82/ott-hydras-3-510/>
- OTT MESSTECHNIK GmbH & Co. KG. *Software Description Application Software OTT Hydras 3 net*, Kempten, Alemania. Recurado desde: <https://www.ott.com/download/software-description-application-software-ott-hydras-3-net-2/>
- UPME, (2015). *Plan Energético Nacional Colombia: Ideario energético 2050*. Bogotá, D.C.



**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 1

FECHA: 19/08/2021

Página: 126 de 135

Anexo 2. Promedio horario mensual de la radiación global por año

Promedio horario mensual de la radiación global por año

Fecha: 2017 **Etiqueta:** RSGVAL_AUT_60 **Unidad:** Wh/m²

Nombre Estación: OLAYA HERRERA - AUT [27015330] **Categoría:** Sinóptica Principal **Corriente:**

Área Operativa: Area Operativa 01 - Antioquia-Chocó **Longitud:** -75.59 **Latitud:** 6.22

Entidad: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES **Elevación:** 1490 **Municipio:** Medellín

Departamento: Antioquia **Fecha instalación:** 12/05/2014 00:00 **Fecha suspensión:**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0 - 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 - 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2 - 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3 - 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4 - 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5 - 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
6 - 7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8	0.4	0.1	0.3	0.4	1.1	0.4	0.1
7 - 8	14.8	16.8	19.4	43.4	50.4	46.9	53.4	40.3	49.0	54.0	41.4	29.7
8 - 9	103.7	130.1	123.2	172.5	178.2	159.3	228.1	186.3	191.7	201.2	191.9	153.2
9 - 10	282.5	345.8	264.9	333.9	372.3	320.2	419.9	361.9	357.1	385.4	355.1	337.9
10 - 11	467.6	547.0	415.0	488.6	546.4	488.1	605.4	528.0	588.0	534.2	523.3	541.4
11 - 12	633.8	683.7	530.2	566.9	600.5	608.7	666.6	687.5	665.7	605.8	550.2	635.8
12 - 13	670.5	779.1	572.9	655.9	640.0	642.9	631.0	733.3	700.6	620.0	597.3	658.8
13 - 14	660.3	772.8	596.3	569.9	547.8	612.4	600.2	636.7	580.1	578.4	563.7	645.9
14 - 15	577.8	696.7	467.9	448.8	447.6	581.1	520.6	525.7	391.7	429.6	450.2	543.3
15 - 16	449.8	547.6	326.1	309.3	384.3	432.3	469.2	468.6	274.0	260.0	302.5	393.1
16 - 17	287.7	317.3	188.2	257.1	284.6	305.4	334.9	371.4	202.0	169.6	177.9	262.4
17 - 18	134.5	168.7	115.0	149.1	142.8	153.9	170.6	204.6	117.8	81.6	98.2	119.1
18 - 19	39.0	64.8	34.6	42.4	35.3	47.1	65.8	60.0	33.5	14.8	13.2	19.3
19 - 20	0.3	2.1	0.8	0.2	0.1	0.5	1.2	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
20 - 21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21 - 22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22 - 23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23 - 24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	4322.0	5070.4	3653.7	4038.1	4231.0	4398.7	4765.8	4804.6	4151.6	3935.8	3865.3	4340.0



**METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN
ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA
RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN
SUPERFICIE**

CÓDIGO: M-GCI-M005

VERSIÓN: 1

FECHA: 19/08/2021

Página: 127 de 135

Anexo 3. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria

Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria multianual

Fecha: 2014 - 2018 Etiqueta: RSGVAL_AUT_60 Unidad: Wh/m²
 Nombre Estación: OLAYA HERRERA - AUT [27015330] Categoría: Sinóptica Principal Corriente:
 Área Operativa: Área Operativa 01 - Antioquia-Chocó Longitud: -75.59 Latitud: 6.22
 Entidad: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES Elevación: 1490 Municipio: Medellín
 Departamento: Antioquia Fecha instalación: 12/05/2014 00:00 Fecha suspensión:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio	Mínimo	Máximo
2014							4780.2	4933.9	4997.2	4011.7	3823.9	3820.7	3820.7	3820.7	Dic.
2015								5157.0		4240.0	3878.2	3718.6	4412.0	3878.2	Nov.
2016	4624.4	4467.5	4388.5	3946.0		5085.8	4855.5	4804.5	4151.4	3935.7	3885.3	4340.2	4298.1	3853.8	Nov.
2017	4322.1	5070.3	3853.8	4038.0	4230.8	4398.6	4785.9	4804.5	4151.4	3935.7	3885.3	4340.2	4298.1	3853.8	Mar.
2018	4264.7	4493.8	4388.9	3935.6	4271.1	4807.8	5089.9	5336.4	4246.8				4537.0	3935.6	Abr.
Promedio	4403.7	4677.2	4136.7	3973.2	4251.0	4757.4	4867.9	5058.0	4465.1	4062.5	3789.1	4029.7			

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínimo	4264.7	4467.5	3853.8	3935.6	4230.8	4398.6	4780.2	4804.5	4151.4	3935.7	3878.2	3718.6
	2018	2016	2017	2018	2017	2017	2015	2017	2017	2017	2016	2016
Máximo	4624.4	5070.3	4388.9	4038.0	4271.1	5085.8	5089.9	5336.4	4997.2	4240.0	3885.3	4340.2
	2016	2017	2018	2017	2018	2016	2018	2018	2015	2016	2017	2017

Mínimo Global 3853.8 Mar. 2017

Máximo Global 5336.4 Ago. 2018

Anexo 4. Promedio horario mensual multianual de la radiación global

Promedios horarios multianuales de la radiación global para cada mes

Fecha: 2014 - 2018 **Etiqueta:** RSGVAL_AUT_60 **Unidad:** Wh/m²

Nombre Estación: OLAYA HERRERA - AUT [27015330] **Categoría:** Sinóptica Principal **Corriente:**

Área Operativa: Area Operativa 01 - Antioquia-Chocó **Longitud:** -75.59 **Latitud:** 6.22

Entidad: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES **Elevación:** 1490 **Municipio:** Medellín

Departamento: Antioquia **Fecha instalación:** 12/05/2014 00:00 **Fecha suspensión:**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
00 - 01	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01 - 02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
02 - 03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
03 - 04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
04 - 05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
05 - 06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
06 - 07	0.1	0.0	0.0	0.4	0.8	0.7	0.3	0.4	0.7	0.9	1.4	0.2
07 - 08	15.7	14.6	23.3	42.0	49.0	58.5	48.6	44.5	49.5	52.8	42.8	29.9
08 - 09	115.7	114.2	138.7	157.7	181.0	194.1	196.3	200.0	195.1	184.3	176.7	159.6
09 - 10	285.3	295.8	283.7	336.4	371.2	395.0	395.5	400.9	385.3	357.3	332.7	329.7
10 - 11	457.5	482.1	460.6	479.0	542.4	559.7	587.7	587.2	594.6	507.3	495.1	488.7
11 - 12	606.7	625.6	600.9	579.5	645.2	651.8	681.1	712.8	690.3	622.4	579.7	606.1
12 - 13	673.3	715.7	694.3	627.9	680.1	674.2	658.2	718.2	703.7	646.9	604.3	635.3
13 - 14	663.5	736.0	663.4	570.9	567.8	662.9	655.7	657.7	632.6	588.3	551.1	606.7
14 - 15	602.1	647.4	543.0	433.4	438.9	550.1	546.8	626.3	473.5	474.0	430.8	495.1
15 - 16	485.0	503.9	360.5	327.3	348.7	448.8	495.7	498.5	353.2	327.1	291.0	341.4
16 - 17	308.3	314.1	219.3	240.7	260.5	333.4	343.5	359.0	229.1	196.1	187.6	216.2
17 - 18	152.7	173.0	112.5	138.0	130.4	179.2	192.7	195.2	125.6	90.4	84.1	102.4
18 - 19	37.8	54.8	36.5	40.0	35.1	48.8	65.8	57.3	31.9	14.7	11.9	18.5
19 - 20	0.2	1.4	0.9	0.3	0.2	1.8	1.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
20 - 21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21 - 22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22 - 23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23 - 24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Promedio	4403.7	4677.2	4136.7	3973.2	4251.1	4757.2	4867.9	5058.0	4465.1	4062.5	3789.2	4029.8

Anexo 5. Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año

Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria por año

Fecha: 1991 **Etiqueta:** RSAG_CON **Unidad:** Wh/m²
Nombre Estación: AEROPUERTO BENITO SALAS [21115020] **Categoría:** Sinóptica Secundaria **Corriente:**
Área Operativa: Área Operativa 04 - Huila-Caquetá **Longitud:** -75.29305556 **Latitud:** 2.948750
Entidad: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES **Elevación:** 439 **Municipio:** Neiva
Departamento: Huila **Fecha instalación:** 15/01/1930 00:00 **Fecha suspensión:**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	5470.1	6311.6	5399.9	5633.7	6241.5	5072.7	3740.2		5002.5	6124.6	4535.0	6031.1
2	5680.4	6451.9	6405.1	6264.8	5470.1	6264.8	5586.9	3553.2	6031.1	5025.9	5914.2	5773.9
3	4696.6	4815.5	5867.5	4488.2	6288.2	6194.7	5259.7	4441.5	6148.0	6451.9		5610.3
4	5236.3	3857.1	6148.0	4882.3	5002.5	5563.8	4558.4	6264.8	6171.3	6802.5	5259.7	5727.2
5	5890.8	6264.8	5820.7	5119.4	4885.6	5633.7	4722.0	4090.9	4955.8	6358.4	4745.4	3880.5
6	5750.6	4955.8	4161.0	4558.4	5540.2	4254.5	5610.3	4207.7	5727.2	6288.2	3823.3	5376.5
7	5657.1	5797.3	5890.8	5212.9	1987.0	5096.0	4231.1	6101.2	5586.9	6218.1	4722.0	5283.0
8	6031.1	6264.8	4815.5	4484.9	6101.2	2337.6	5168.2	5750.6	6264.8	5002.5	4722.0	5797.3
9	6054.5	5493.4	6194.7	5914.2	2898.7	5961.0	5283.0	5329.8	4488.2	3459.7	1940.2	4207.7
10	5633.7	6335.0		4558.4	5797.3	5189.5	4788.8	5142.8	4909.0		5657.1	4932.4
11	3740.2	3974.0	5937.6	4792.1	5119.4	6498.6	4161.0	4875.3		6919.4	5961.0	6124.6
12	5049.3	5166.2	4722.0	6171.3	5797.3	4792.1		6101.2	4371.4	6896.0	5002.5	6101.2
13	6241.5	4161.0	6311.6	5329.8	5680.4	5306.4	4698.6	4535.0	4605.1	5914.2	5283.0	4231.1
14	6358.4	4792.1	6264.8	6218.1	4161.0	5657.1	4651.9	4681.8	4862.3	6849.3	5727.2	4651.9
15	5967.5	3319.4	6101.2	5890.8	5025.9	5119.4	4628.5	5610.3	4628.5	6779.1	4605.1	4698.6
16	6007.7	5423.3	6615.5	6101.2	5586.9	3506.4	3997.3	4020.7	4745.4	5657.1	6335.0	3249.3
17	6381.7	5493.4	6264.8	6264.8	3319.4	4651.9	4488.2	3997.3	4535.0	5072.7	4020.7	2875.3
18	5750.6		6358.4	6335.0	4348.0	5306.4	5820.7	3927.2	5727.2	2594.8	6405.1	
19	4838.9	6288.2	6496.6	5820.7	4488.2	6148.0	6311.6	3319.4	4862.3	4324.6	6218.1	4488.2
20	4698.6	4020.7	6358.4	4792.1	4651.9	5890.8	3974.0	5633.7	3950.6	4815.5	5610.3	4698.6
21	5890.8	5586.9	5914.2	5166.2	4722.0	5096.0	5096.0	3716.8		6919.4	4441.5	4488.2
22	6288.2	5423.3	3693.5	5563.8	4161.0	3997.3	5376.5	4628.5	6194.7	5890.8	5750.6	4511.6
23	5329.8	3783.6	6054.5	5563.8	4441.5	4394.7	4722.0	4418.1	5423.3	6592.1	5703.8	3132.4
24	5563.6	4161.0	3342.8	5259.7	4792.1	3553.2	3833.7	5049.3	4535.0	4098.6	6101.2	3319.4
25	6288.2	4535.0	4184.4	5329.8	6148.0	5259.7	5166.2	5633.7	5937.6	6194.7	5880.4	6358.4
26	6358.4	5703.8	3645.7	5610.3	6568.7	4932.4	5329.8	6007.7	6498.6	5586.9	4768.8	5072.7
27	5423.3	5142.8	4885.6	5119.4	6358.4	4675.3	5423.3	6264.8	5984.3	6054.5	4488.2	5773.9
28	5259.7	6194.7	5399.9	5353.2	5399.9	5984.3	4207.7	4535.0	6335.0	4675.3	3202.6	6101.2
29	5820.7		6264.8	5897.5	4955.8	4558.4	5142.8	6194.7	5703.8	5820.7	4277.9	4909.0
30	5049.3		5540.2	4722.0	5540.2	3576.6	3787.0	3529.8	6264.8	4418.1	4955.8	5914.2
31	5914.2		5586.9				4558.4	4815.5		6381.7		5493.4
Promedio	5820.1	5173.9	5555.0	5411.6	5049.3	5015.8	4810.1	4869.3	5373.2	5692.9	5022.7	4960.4

Anexo 6. Promedio mensual multianual de la radiación global acumulada diaria para estaciones convencionales

Promedio mensual de la radiación global acumulada diaria multianual

Fecha: 1990 - 2003 **Etiqueta:** RSAG_CON **Unidad:** Wh/m²
Nombre Estación: AEROPUERTO BENITO SALAS [21115020] **Categoría:** Sinóptica Secundaria **Corriente:**
Área Operativa: Área Operativa 04 - Huila-Caquetá **Longitud:** -75.29305555 **Latitud:** 2.948750
Entidad: INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES **Elevación:** 439 **Municipio:** Neiva
Departamento: Huila **Fecha instalación:** 15/01/1930 00:00 **Fecha suspensión:**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Mínimo	Máximo
1990			5139.5	4923.2	5208.2	5118.6	5301.0	5193.4	5357.2	5011.9	5034.5	5149.8	4923.2	Abr. 5357.2
1991	5620.1	5173.9	5555.0	5411.8	5049.3	5015.8	4810.1	4869.3	5373.2	5692.9	5022.7	4980.4	4810.1	Jul. 5692.9
1992	5057.5	4831.8	4864.3	4731.3	4903.4	4888.8	4638.0	5182.4	5075.6	5001.3	4189.6	4765.2	4189.6	Nov. 5182.4
1993	4697.0	4918.2	4564.2	4783.9	4614.8	4322.1	4940.3	4969.8	4851.3	4813.4	4736.0	4780.4	4322.1	Jun. 4969.8
1994	4588.1	4696.0	4288.6	4584.2	4480.6	4547.0	4807.8	4558.6	4441.0	4809.1	4509.6	4588.8	4288.6	Mar. 4809.1
1995	4857.6	4875.1	4142.0	4430.1	4493.4	4510.9	4554.7	4803.4	4831.7	4725.1	4804.2	4868.4	4142.0	Mar. 4831.7
1996	4804.3	4327.9	4542.5	4703.4	4444.1	4567.9	4326.5	4536.2	4733.1	4744.0	4590.3	4491.3	4326.5	Jul. 4744.0
1997	4499.1	4970.2	4754.9	4735.3	4435.2	4527.2	4323.0	4472.9	4596.3	4711.8	4286.6	4793.0	4286.6	Nov. 4970.2
1998	4965.3	4371.4	4140.8	4431.5	4158.1	4473.4	4297.0						4140.8	Mar. 4965.3
1999		4727.6	4400.9	4577.6	4901.2	4692.5	4948.7	4708.5	4870.9	4648.1	4932.5	4400.9	4400.9	Abr. 4948.7
2000	4908.8	4948.1	4804.4	4335.8	4338.4	4583.6	4493.2	4878.8	4811.5	4807.8	4471.1	4176.5	4176.5	Dic. 4948.1
2001	4914.1	4741.1	4454.7	4522.0	4620.2	4594.3	4431.6	4422.4	4643.2	4687.9	4224.9	3995.3	3995.3	Dic. 4914.1
2002	4809.1	4354.3	4428.6	4397.8	3862.0	4138.1	3910.5	3881.0	4198.1	3931.5	4095.2	4116.7	3862.0	May. 4809.1
2003	4710.9	4397.0	4229.7	4233.6	4480.8	3813.2	3840.0	4020.6					3813.2	Jun. 4710.9
Promedio	4836.0	4700.4	4801.2	4614.6	4546.2	4550.2	4509.7	4656.6	4785.1	4782.3	4551.1	4618.0		

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Mínimo	4499.1	4327.9	4140.8	4233.6	3862.0	3813.2	3840.0	3881.0	4198.1	3931.5	4095.2	3995.3
	1997	1996	1998	2003	2002	2003	2003	2002	2002	2002	2002	2001
Máximo	5620.1	5173.9	5555.0	5411.8	5208.2	5118.6	5301.0	5193.4	5373.2	5692.9	5034.5	5149.8
	1991	1991	1991	1991	1990	1990	1990	1990	1991	1991	1990	1990

Mínimo Global 3813.2 Jun. 2003

Máximo Global 5692.9 Oct. 1991

Anexo 7. Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país



Colombia. Promedios Mensuales de la Radiación Global Acumulada Diaria recibida en Superficie para las principales ciudades del país																			
Estación	Departamento	Municipio	Lat.	Long	Elevación (m.s.n.m)	Promedio multianual	Valor promedio (Wh/m ² por día) ¹												Período de Información (Años aproximados con información)
							Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
							Wh/m ² por día												
Aeropuerto Vásquez Cobo	Leticia	Amazonas	-4,19	-69,94	84	4282,4	4194,8	3984,5	4195,8	4017,0	3810,4	3770,0	4241,4	4667,4	4880,6	4668,4	4674,0	4284,3	ago-14 a sep-18 (5)
Medellin	Medellin	Antioquia	6,33	-75,55	1440	4505,8	4391,2	4738,2	4318,7	4331,6	4300,3	4802,5	4966,4	4862,0	4861,2	4155,0	4071,5	4251,5	jul-05 a ago-18 (10)
Aeropuerto Santiago Pérez	Arauca	Arauca	7,07	-70,74	128	4621,8	5156,3	4484,1	4617,1	4395,5	4292,6	4204,0	4299,1	4416,1	4895,9	4702,5	4786,5	5212,4	ene-86 a ene-92 (4)
Las Flores (NAVAL)	Barranquilla	Atlántico	11,04	-74,82	8	5599,7	6212,7	6025,0	6297,6	5660,4	5566,3	5696,4	5830,2	5520,2	5080,8	4800,3	4899,6	5627,4	nov-09 a ago-15 (6)
Aeropuerto Rafael Núñez	Cartagena	Bolívar	10,45	-75,52	2	5527,4	5987,7	6412,9	6378,8	6012,8	4951,4	4988,7	5644,2	5213,1	5291,3	5014,5	4988,2	5445,1	feb-90 a dic-00 (7)
UPTC	Turija	Boyacá	5,54	-73,36	2690	4501,1	5061,0	4979,7	4855,5	4479,6	4198,1	4143,0	4167,1	4289,4	4412,5	4537,3	4341,2	4548,1	dic-92 a dic-02 (7)
E.M.A.S.	Manizales	Caldas	5,09	-75,51	2211	3816,8	4116,3	4051,2	3783,9	3670,8	3508,3	3584,7	4046,0	4004,1	4114,5	3705,9	3486,6	3729,0	may-05 a oct-16 (11)
Macagual - Florencia	Florencia	Caquetá	1,50	-75,66	280	3613,6	4082,3	3952,6	3349,6	3485,4	3004,8	3193,8	3137,7	3577,7	3770,0	3939,0	3951,1	3918,7	jul-05 a oct-15 (6)
Aeropuerto Yopal (El Alcaraván)	Yopal	Casanare	5,32	-72,39	325	4947,5	5747,4	5595,0	4889,3	4511,8	4430,1	4357,2	4283,2	4528,4	5192,6	5129,7	5183,4	5521,8	nov-09 a feb-17 (6)
El Tablazo	Popayán	Cauca	2,47	-76,58	1837	4178,1	4302,6	4482,5	4035,6	4044,5	3641,7	4072,7	4429,4	4831,0	4366,2	4054,1	3700,0	4176,9	dic-16 a oct-19 (3)
Fedeairroz	Valledupar	Cesar	10,46	-73,25	183,7	5431,1	5533,1	5844,0	5531,7	5629,6	5402,4	5648,2	5716,6	5482,3	5202,7	4982,0	4973,0	5227,2	sep-05 a feb-17 (12)
Aeropuerto Los Garzones	Montería	Córdoba	8,83	-75,83	20	4596,4	4900,3	5111,5	4669,2	4785,9	4130,8	4616,5	4713,9	4822,1	4300,2	4195,6	4206,7	4703,9	jun-15 a oct-19 (5)
Aeropuerto El dorado	Bogotá	Cundinamarca	4,71	-74,15	2547	4038,4	4681,9	4322,1	4322,2	3716,7	3506,0	3658,9	3917,3	4168,2	3947,8	3961,0	4017,7	4241,4	mar-81 a dic-04 (23)
Inrída	Inrída	Guainía	4,02	-67,67	90	4054,1	4508,0	4332,7	3947,3	4146,0	3641,3	3849,7	3530,6	3858,1	4289,3	4147,5	4153,7	4245,6	feb-97 a sep-02 (4)
Aeropuerto Benito Salas	Neiva	Huila	2,95	-75,29	439	4646,7	4836,0	4700,4	4590,5	4628,9	4552,2	4550,1	4509,7	4656,6	4785,1	4782,3	4551,1	4618,0	mar-90 a ago-03 (14)
Aeropuerto Almirante Padilla	Rohacha	La Guajira	11,53	-72,92	4	5325,2	4644,3	5284,1	5419,4	5160,6	5344,1	6100,5	6116,3	6141,0	5637,6	4922,5	4513,2	4638,9	dic-14 a may-19 (5)
Universidad Tecnológica de Magdalena	Santa Marta	Magdalena	11,22	-74,19	7	5637,3	5927,7	6273,6	6081,5	6079,3	5872,3	5736,6	5689,1	5368,1	5492,3	4885,7	4803,0	5438,5	sep-07 a feb-17 (8)
ICA Villavicencio	Villavicencio	Meta	4,14	-73,63	444	4704,3	5207,6	4741,6	4376,0	4406,7	4422,2	4242,7	4358,2	4585,3	5264,8	5102,0	4839,2	4905,6	mar-07 a sep-16 (10)
Uninariño	Pasto	Nariño	1,23	-77,28	2626	4341,4	4206,0	4555,9	4093,8	4533,3	4164,5	4312,4	4132,6	4204,4	4271,5	4633,5	4583,6	4405,4	nov-16 a oct-19 (3)
Apto Camilo Daza	Cúcuta	Norte de Santander	7,93	-72,51	313	4900,6	4462,2	4748,3	4451,1	4630,7	5055,9	4817,9	5058,7	5828,2	5431,6	5125,4	4691,4	4505,8	oct-15 a oct-18 (3)
El Pepino	Mocoa	Putumayo	1,08	-76,67	760	3474,9	3622,2	3476,3	3157,7	3535,5	3321,2	2862,8	3124,3	3181,6	3744,4	3974,3	3894,8	3803,9	ago-05 a oct-16 (8)
Armenia	Armenia	Quindío	4,53	-75,69	1485	4078,8	4144,2	4133,6	4057,0	3909,2	3724,8	3889,2	4358,1	4399,0	4522,1	4003,4	3999,8	3804,9	feb-06 a oct-16 (10)
Aeropuerto Matecaña	Pereira	Risaralda	4,81	-75,74	1342	4582,7	4638,7	4874,5	4876,4	4470,8	4146,2	4271,7	4591,1	5126,8	4856,0	4478,8	4140,9	4521,1	dic-14 a oct-19 (4)
Neomundo	Bucaramanga	Santander	7,10	-73,11	970	4458,2	4436,5	4841,8	4620,0	4750,6	4394,4	4216,4	4243,5	4459,0	4673,6	4381,1	4057,6	4424,3	dic-14 a oct-19 (5)
Aeropuerto Sesquicentenario	San Andrés	San Andrés y Providencia	12,54	-81,73	1	5259,8	4716,4	6145,0	6630,6	5910,1	5432,0	5005,1	5444,9	5268,3	5193,1	4591,7	4364,2	4416,1	jul-14 a sep-18 (4)
Puerta Roja - Unisucre	Sincelejo	Sucre	9,32	-75,39	160	4465,0	5003,3	5240,1	4795,0	4429,4	3995,7	4613,1	4602,4	4517,8	4397,9	3977,8	3750,9	4256,4	may-05 a feb-17 (5)
Batalión Rooke	Ibagué	Tolima	4,42	-75,25	1323	4669,6	4507,3	4546,3	4579,3	4532,7	4555,7	4985,3	5160,1	4981,4	5087,8	4621,3	4208,1	4269,5	dic-06 a sep-16 (8)
Univalle	Calí	Valle del Cauca	3,38	-76,53	996	4510,2	4568,3	4564,2	4525,8	4436,1	4312,8	4488,1	4762,5	4829,5	4794,4	4473,5	4133,4	4234,4	nov-06 a oct-16 (9)

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM Subdirección de Meteorología.

1) El valor del indicador corresponde al valor agregado de los Wh que en promedio inciden durante el día sobre un metro cuadrado, expresado en Wh/m² por día.

Fecha de actualización. Abril de 2020

 <p>IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales</p>	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 132 de 135

Anexo 8. Formato de Migración a DHIME para las series de tiempo históricas

ESTACION	FECHA/HORA	DATO	UNIDAD
28035060	01/09/2005 17:00	243,0	Wh/m²
28035060	02/09/2005 17:00	149,2	
28035060	02/09/2005 19:00	1,1	
28035060	02/09/2005 20:00	0,0	
28035060	02/09/2005 21:00	0,0	
28035060	02/09/2005 22:00	0,0	
28035060	02/09/2005 23:00	0,0	
28035060	03/09/2005	0,0	
28035060	03/09/2005 1:00	0,0	
28035060	03/09/2005 2:00	0,0	
28035060	03/09/2005 3:00	0,0	
28035060	03/09/2005 4:00	0,0	
28035060	03/09/2005 5:00	0,0	
28035060	03/09/2005 6:00	1,1	
28035060	03/09/2005 7:00	11,7	
28035060	03/09/2005 8:00	26,6	
28035060	03/09/2005 9:00	115,1	
28035060	03/09/2005 10:00	238,7	
28035060	03/09/2005 11:00	449,7	

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 133 de 135

Anexo 9. Requerimientos técnicos del sensor de radiación global

<i>SENSOR DE RADIACION GLOBAL</i>	
<i>Descripción: Sensor de radiación global (piranómetro) de primera clase según clasificación ISO.</i>	
<i>Ítem</i>	<i>Requerimientos Técnicos de Obligatorio Cumplimiento</i>
Sensor Radiación Global	
1	<i>Principio de funcionamiento: termopila</i>
2	<i>Debe cumplir el estándar ISO 9060 y la recomendación WMO-N.º 8 de 2017 para piranómetros de primera clase según clasificación ISO o de buena calidad según clasificación OMM.</i>
3	<i>Sensibilidad: (5 a 20) uV/W/m2 o mayor.</i>
4	<i>Para longitudes de onda que incluya el rango de 280 a 2800nm</i>
5	<i>Rango: Debe incluir el rango de 0 a 1400 W/m2</i>
6	<i>Máxima Radiación: 2000W/m2 o mayor</i>
7	<i>Tiempo de respuesta del sensor: Igual o menor a 28 segundos.</i>
8	<i>Interfaces de salida: Análoga en voltaje dentro del rango de (0 - 50) mV o (0 a 2,5) V o serial SDI-12 V1.3 o superior en protocolo estándar abierto.</i>
9	<i>Certificado de calibración expedido por el fabricante del mismo o autoridad competente con trazabilidad a patrones internacionales con antigüedad menor a 6 meses, cumpliendo con el estándar de la ISO 17025.</i>
10	<i>Manuales de conexión, mantenimiento y configuración. En Español e Inglés.</i>
11	<i>Cable de conexión original de fábrica, de mínimo diez (10) metros con conector o el que se requiera.</i>
12	<i>Todos aquellos accesorios necesarios para la instalación, conexión y correcto funcionamiento del sensor.</i>
CONDICIONES AMBIENTALES O DE OPERACIÓN Y ESPECIFICACIONES MECÁNICAS	
13	<i>Rango de temperaturas: debe incluir e rango de -30°C hasta 60°C.</i>
14	<i>Rango de humedad: 0 a 100% HR</i>
15	<i>Debe contar con protección IP65 o NEMA equivalente o mayor.</i>
16	<i>Materiales de construcción resistentes a la corrosión y a la radiación UV.</i>
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	
17	<i>Consumo activo en medición: ≤ 10 mA. Aplica para sensores inteligentes.</i>
18	<i>Voltaje de alimentación: el suministro de alimentación debe incluir el rango de 10.5 VDC hasta 15 VDC. Aplica para sensores inteligentes.</i>
19	<i>La conexión entre el sensor ofertado y la plataforma colectora de datos debe ser de forma directa, no se aceptan convertidores de ningún tipo</i>

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 134 de 135

HISTORIAL DE CAMBIOS

<i>Metodología de la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie.</i>			
Fecha	Versión	Datos del autor o de quien ajustó la Metodología	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</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). Metodología de la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie (Versión 2,0). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.</p>	Actualización de la Metodología de 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>	Elaboración de la primera versión de la Metodología de la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie.

	METODOLOGÍA DE LA OPERACIÓN ESTADÍSTICA INFORMACIÓN DE LA RADIACIÓN GLOBAL RECIBIDA EN SUPERFICIE	CÓDIGO: M-GCI-M005
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 19/08/2021
		Página: 135 de 135

	<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). Metodología de la Operación Estadística Información de la Radiación Global recibida en superficie (Versión 1,0). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.</p>	
--	---	--

<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>
--	---	--