

# Cambio Climático Global: un gran desafío para el mundo de hoy

---

MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA (EDITOR A ACADÉMICA)

---





# **Cambio Climático Global: un gran desafío para el mundo de hoy**

**MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA (EDITORA ACADÉMICA)**

# **Cambio Climático Global: un gran desafío para el mundo de hoy**

© MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA (EDITORIA ACADÉMICA)  
Y VARIOS AUTORES

Cali. Universidad Icesi, 2024.

358 pp. 17x24cm

ISBN: 978-628-7630-71-0

DOI: <https://doi.org/10.18046/EUI/disc.5.2024>

**Palabras Clave:** 1. Cambio climático | 2. Gases de efecto invernadero  
| 3. Objetivos de desarrollo sostenible | 4. Mitigación

**Código Dewey:** 551.6

---

© **Universidad Icesi**

Primera edición / Febrero de 2024

Colección «Discernir»

## **Rector**

Esteban Piedrahita Uribe

## **Secretaria General**

María Cristina Navia Klemperer

## **Director Académico**

José Hernando Bahamón Lozano

## **Coordinador Editorial**

Adolfo A. Abadía

## **Diseño y Diagramación**

Natalia Ayala Pacini | [estudiocasual.co](mailto:estudiocasual.co)

## **Revisión de Estilo**

Paola Vargas Heredia

---

## **Editorial Universidad Icesi**

Calle 18 No. 122-135 (Pance), Cali – Colombia

Teléfono: +57 (2) 555 2334 | E-mail: [editorial@icesi.edu.co](mailto:editorial@icesi.edu.co)

<http://www.icesi.edu.co/editorial>

Publicado en Colombia – *Published in Colombia*

La publicación de este libro se aprobó luego de superar un proceso de evaluación doble ciego por dos pares expertos.

La Editorial Universidad Icesi no se hace responsable de la ideas expuestas bajo su nombre, las ideas publicadas, los modelos teóricos expuestos o los nombres aludidos por el(los) autor(es). El contenido publicado es responsabilidad exclusiva del(los) autor(es), no refleja la opinión de las directivas, el pensamiento institucional de la Universidad Icesi, ni genera responsabilidad frente a terceros en caso de omisiones o errores.

El material de esta publicación puede ser reproducido sin autorización, siempre y cuando se cite el título, el autor y la fuente institucional.



## ÍNDICE

05    Prefacio

07    Prólogo

09    **CAPÍTULO DE APERTURA**

---

El fenómeno ambiental denominado  
"Cambio Climático Global"

**TEMA I. PRINCIPALES INDUSTRIAS GENERADORAS  
DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

31    **CAPÍTULO 1**

---

La industria mundial del carbón

47    **CAPÍTULO 2**

---

La industria mundial del petróleo

69    **CAPÍTULO 3**

---

La industria automotriz

87    **CAPÍTULO 4**

---

La industria mundial del plástico

109    **CAPÍTULO 5**

---

La industria de refrigerantes: principal generadora  
de Hidrofluorocarbonos (HFC'S)

123    **CAPÍTULO 6**

---

La industria de distribución eléctrica: principal generadora  
de Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ )

135    **CAPÍTULO 7**

---

La industria microelectrónica: principal generadora  
de Trifluoruro de Nitrógeno ( $\text{NF}_3$ )

## **TEMA II. BIOMAS AFECTADOS Y OTROS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

<b>145</b>	<b>CAPÍTULO 8</b>	
		El permafrost
<b>159</b>	<b>CAPÍTULO 9</b>	
		Los Páramos Andinos
<b>173</b>	<b>CAPÍTULO 10</b>	
		Aparición y resurgimiento de enfermedades virales

## **TEMA III: MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

<b>191</b>	<b>CAPÍTULO 11</b>	
		Los humedales: su capacidad de captura y acumulación de carbono para mitigación del cambio climático
<b>217</b>	<b>CAPÍTULO 12</b>	
		Energía hidroeléctrica: mitigando el cambio climático y generando ecoturismo
<b>249</b>	<b>CAPÍTULO 13</b>	
		Energía eólica a nivel mundial y oportunidades para Colombia
<b>275</b>	<b>CAPÍTULO 14</b>	
		Energía solar a nivel mundial y su potencial en Colombia
<b>291</b>	<b>CAPÍTULO 15</b>	
		Hidrógeno verde: una nueva fuente de energía renovable
<b>307</b>	<b>CAPÍTULO 16</b>	
		Etanol a partir de yuca amarga: otra alternativa de reducción de emisiones de GEI generadas por la gasolina
<b>335</b>	<b>CAPÍTULO 17</b>	
		Políticas de control de COVID-19: un respiro para la tierra
<b>349</b>	<b>Epílogo</b>	
<b>351</b>	<b>Sobre los autores</b>	

## PREFACIO

La Universidad ICESI de Cali, Colombia, tiene el gusto y el orgullo de presentar el libro *Cambio Climático Global: Un gran desafío para el mundo de hoy* a la comunidad académica de países de habla hispana –directivos, profesores y estudiantes de cualquier carrera o disciplina científica–, al sector empresarial, a organizaciones públicas y privadas, a tomadores de decisión sobre este tema de interés mundial y al público en general que desee comprender y profundizar en su complejidad.

Es nuestra responsabilidad como sector de la Educación Superior, el fomentar el conocimiento científico, el análisis, la comprensión y la conciencia social sobre la existencia de este fenómeno causado por la supremacía de la industrialización sobre el cuidado de la naturaleza. Reconociendo que la industrialización, creada a partir de la Revolución Industrial en Inglaterra, 1750, con un crecimiento exponencial hasta el presente, ha producido un inmenso aporte al desarrollo, bienestar y mejoramiento de la calidad de vida de la población humana, ha generado también un desbalance en la armonía que debe existir entre ser humano-naturaleza-sociedad, y nos ha llevado a descuidar y en ocasiones a destruir la naturaleza, generando una alerta grave a los líderes políticos, industriales, sectores económicos, entre otros del mundo de hoy.

Resalto la opinión de uno de los evaluadores internacionales externos de la presente obra:

Este libro presenta un valioso aporte investigativo sobre el cambio climático y los factores asociados a su incremento en la última centuria. Las y los autores han realizado una juiciosa revisión de las fuentes, lo que posibilita la presentación de información veraz, actualizada y coherente que fortalece el contenido de los diversos capítulos. Se aprecia el gran entusiasmo puesto por el autor en la labor investigativa y en concatenar bien los temas principales, buscar la bibliografía más pertinente y actualizada y finalmente ilustrar la situación asociada a cada una de las fuentes generadoras de gases de efecto invernadero.

Felicitamos y agradecemos a nuestra profesora Dra. María Cristina Amézquita, PhD Ciencias Ambientales, por dedicar sus conocimientos científicos, su experiencia y su amor al logro exitoso de la publicación del presente libro. Es de resaltar que los diversos capítulos del libro

tienen como coautores a sus estudiantes de diversas carreras del curso “Cambio Climático Global: Un desafío para la gestión y política pública” que ella ofrece en nuestra Universidad. Esto es muy novedoso y extremadamente motivador para ellos, quienes ahora ejercen como jóvenes profesionales, ejecutivos, en distintas empresas o instituciones públicas o privadas del ámbito nacional e internacional y que llevan en su mente el mensaje de lograr y mantener siempre un armonioso balance “ser humano-naturaleza-sociedad”.

**JUAN FELIPE HENAO**

State University of New York Polytechnic Institute

## PRÓLOGO

La pregunta más importante de nuestros tiempos es cómo podremos crear un mundo donde la humanidad y la naturaleza puedan coexistir dentro de un nuevo balance. Por ello, las próximas décadas serán claves para alcanzar una existencia más sostenible sobre la tierra. Hace unos 12.000 años el hombre comenzó a aprovechar la naturaleza para satisfacer sus demandas y usó su capacidad y creatividad para resolver las limitaciones que ella le imponía. Y así, hemos llegado a una nueva etapa de la humanidad llamada por los científicos como el Antropoceno o la era de los humanos en la que el hombre domina a la naturaleza y en teoría somos los dueños de un futuro sostenible.

El Antropoceno ha sido impulsado, principalmente, por tres factores: el progreso tecnológico que se ha venido desarrollando de manera acelerada tras la Revolución Industrial; el crecimiento explosivo de la población gracias a las mejoras en alimentación, sanidad e higiene; y el creciente consumo de combustibles fósiles para satisfacer las necesidades de energía eléctrica y calórica cada vez más altas y de mayor exigencia de la población humana.

Infelizmente, hoy tenemos claras evidencias que ya hemos sobrepasado la capacidad de la naturaleza de atender nuestras demandas y absorber los impactos que generamos. Producto del calentamiento global, debido a las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, se han intensificado las condiciones meteorológicas extremas, como por ejemplo las olas de calor, las inundaciones, y las sequías prolongadas que han provocado no solo conmociones en la producción agrícola y la disponibilidad de alimentos, sino en la infraestructura urbana y portuaria y han afectado la economía mundial. A medida que aumentan las temperaturas globales, dichas conmociones serán cada vez más frecuentes y fuertes y si el calentamiento global cruza el umbral de 1,5 °C (en comparación con la temperatura preindustrial de la Tierra), es probable que se conviertan en catastróficas.

La situación será aún más compleja, si se cumplen las proyecciones de crecimiento de la población y del consumo de alimentos y energía fósil para el 2050. Según esto llegaremos a los 9 billones de personas, necesitaremos incrementar en un 70% la producción de alimentos. Con ello incrementaremos el consumo de agua, energía y fertilizantes y las emisiones de CO<sub>2</sub> llegaran a un nivel que será insostenible.

El último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), propone tomar medidas inmediatas y drásticas para evitar cruzar este umbral. Según el prestigioso biólogo David Attenborough todavía podemos alcanzar un nuevo nivel de equilibrio con la naturaleza si pasamos de la dependencia de los combustibles fósiles al uso sostenible de energías limpias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, si le devolvemos al mar y a los ecosistemas terrestres su capacidad de absorber y acumular carbono, si producimos y consumimos alimentos de una manera más eficiente y si restauramos y protegemos la biodiversidad.

Un paso previo para implementar cualquiera de estas opciones es caracterizar y documentar el estado actual de las emisiones de los diferentes sectores productivos y sus impactos en los ecosistemas terrestres.

El presente libro, preparado bajo el liderazgo de la Dra. María Cristina Amézquita, aborda de manera integral estos temas haciendo una revisión exhaustiva con soporte científico de la información disponible en términos de acciones y políticas en diferentes componentes de la industria, sus efectos sobre los biomas más importantes y las posibles alternativas de mitigación. Este debe ser un documento de consulta obligatoria para educadores de niños y adolescentes, para la comunidad universitaria de habla hispana, para organizaciones públicas y privadas que consideren importante permear en su grupo humano la comprensión de este fenómeno ambiental que afecta todos los ámbitos de la vida de nuestras sociedades y, en general, para todos aquellos interesados en el tema.

Mención especial se merece la Universidad Icesi de Cali, Colombia, por su apoyo a la publicación del presente libro. Este libro contribuirá a una mejor comprensión del fenómeno ambiental más importante que está viviendo nuestro planeta y al reconocimiento de que el ser humano tiene todavía la capacidad de mitigar sus efectos adversos.

**MIGUEL ÁNGEL AYARZA MORENO**

Centro Internacional e Agricultura Tropical CIAT(r)

**El fenómeno  
ambiental  
denominado  
"Cambio Climático  
Global"**

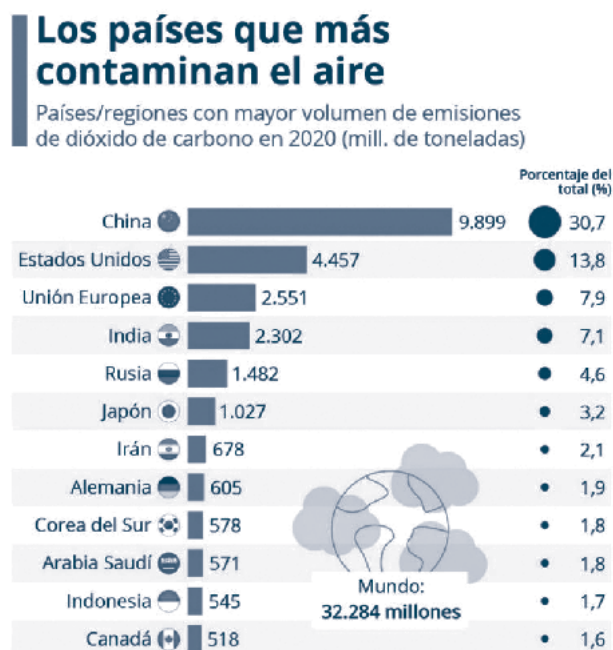




El *Cambio Climático Global* y la pandemia del COVID-19 han sido considerados por la comunidad científica y por los líderes mundiales como los dos más grandes desafíos globales que debe afrontar la humanidad durante el 2021 y años venideros según el informe del *Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático* (IPCC su sigla en inglés) de agosto 9 de 2021 y la Organización Mundial de la Salud (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021; Organización Mundial de la Salud [OMS], 2021c). El incremento en frecuencia, magnitud y duración de desastres ambientales muy recientes ocurridos en solo tres meses (julio, agosto y septiembre de 2021), como las inundaciones catastróficas en países europeos con costa sobre el Mar del Norte de Alemania, Austria, Bélgica, Holanda; en países de la Península Arábiga, como Omán, Arabia Saudita e Irán dejando ríos de agua roja inundando el desierto; en China e India con devastadores deslizamientos de tierra; en Detroit y Nueva York, Estados Unidos; en Lagos, Nigeria, África; los devastadores incendios forestales espontáneos en Turquía, Brasil, Estados Unidos y en otros países por incremento en la fuerza del viento, en la sequía y en la temperatura hasta los 48°C, entre otros, son resultado de los drásticos cambios en parámetros ambientales producidos por las emisiones crecientes a la atmósfera de los llamados *Gases de Efecto Invernadero* (GEI) generados por la industrialización. Esto confirma lo expuesto en el Informe IPCC 2021 “Bases Científicas de la Física del Cambio Climático”, que afirma que “la influencia humana sobre el Cambio Climático es inequívoca” y “la gravedad de sus efectos ya es perceptible, no son solo predicciones resultantes de modelos probabilísticos” (IPCC, 2021). La lucha contra el Cambio Climático es además uno de los principales objetivos de la *Agenda Global de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (2015-2030)* y su efecto tiene repercusión directa sobre el cumplimiento de sus objetivos que buscan el bienestar económico y la calidad de vida de la humanidad (CEPAL, 2022).

El presidente de **Estados Unidos**, Joseph Robinette Biden, revirtiendo la decisión de su antecesor Donald Trump, anunció como prioridades de su mandato el día de su posesión, 20 de enero de 2021, el luchar contra estos dos inmensos desafíos. **China y Estados Unidos**, los mayores emisores de GEI del mundo representando en 2020 el 30.7% y 17.8% respectivamente de las emisiones globales (Figura 1), a pesar de sus grandes diferencias ideológicas, sostuvieron una cumbre virtual entre

sus presidentes Joe Biden y Xi Jinping donde anunciaron que trabajarán juntos y tomarán medidas específicas adicionales para mitigar el Cambio Climático. **Rusia**, gran productor de carbón e hidrocarburos, está sufriendo catástrofes ecológicas graves y se comprometió a través de su presidente Vladimir Putin que luchará en alianza con Estados Unidos contra el Cambio Climático (El Economista, 2021). **India**, con 1.300 millones de habitantes, el cuarto país más emisor representando el 7.1% de las emisiones globales en 2020 (Figura 1), ya está sufriendo los estragos del Cambio Climático con el derretimiento de los glaciares del Himalaya, pero presenta inmensas dificultades en su lucha contra él debido al incremento de su población urbana, estimado en 270 millones para 2040 (Administración de Información Energética de los Estados Unidos,

**FIGURA — 1**China y Estados Unidos, los mayores emisores de CO<sub>2</sub> en 2020

Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2021

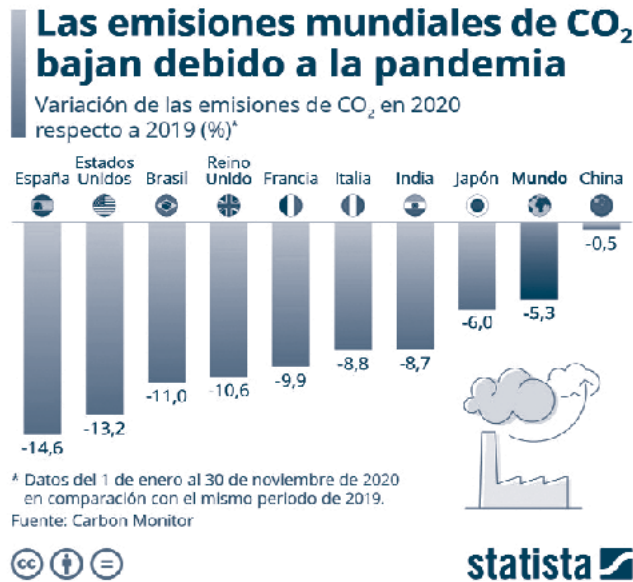


statista

Fuente: tomado de Statista (2021) a partir de British Petroleum (BP, 2021)

**FIGURA — 2**

Disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020 por las políticas de control del COVID-19



Fuente: tomado de Statista (2020) a partir de Carbon Monitor (2020)

AIE, abril 2020). **Colombia** no es un país emisor, representando el 0.47% de las emisiones globales en 2019; sin embargo, siempre ha estado comprometida con su lucha contra el Cambio Climático, desde su adhesión al *Protocolo de Kioto*, 1997, sus compromisos ante la *Cumbre Climática de Paris*, 2015, la *Cumbre de la Tierra, Madrid*, 2019 y la reciente *Cumbre de la Ambición Climática, Glasgow*, 2021.

Es muy interesante mencionar la relación existente entre las políticas de control de la pandemia del COVID-19 y el Cambio Climático Global. Las medidas y políticas de control del COVID-19 adoptadas por los países como aislamiento social; cierre de industrias y fábricas; reducción máxima del transporte terrestre, aéreo y marítimo; cierre de bases, restaurantes y espectáculos donde haya aglomeración de personas, entre otros mostraron en lo corrido de marzo a diciembre de 2020 una reducción sin precedentes de las emisiones de GEI a la atmósfera, estimada de 17% a nivel mundial, de 31.6% en Estados Unidos (Izaguirre et al., 2021) una reducción prevista de 7.5% en 2020-2021 debido a la disminución de

emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del uso de combustibles fósiles para generación de energía y hasta del 25% en China (Carbon Brief, 2020). La Figura 2 muestra datos de reducción porcentual de emisiones a nivel mundial y para varios países entre enero 1 y noviembre 30 de 2020 relativo al mismo período en 2019 (Statista, 2020a).

Con la apertura de la economía en la mayoría de los países en 2021, el nivel de emisiones de GEI aumentó de nuevo a sus niveles de 2019. Este hecho confirma indiscutiblemente que el aumento de emisiones de GEI, causante del Cambio Climático, es producto de la industrialización excesiva del mundo moderno y despierta serias reflexiones de los líderes mundiales, de los grandes industriales, y de la sociedad en general sobre opciones concretas y más agresivas de lucha contra este desafío.

## EL CICLO BIOGÉNICO NATURAL

La presencia en la atmósfera de tres gases que emite la vida en la Tierra en sus procesos biogénicos naturales, como son el **Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)** producido por la respiración de los seres vivos terrestres, acuáticos y aéreos; el **Metano (CH<sub>4</sub>)** generado por la descomposición de la materia orgánica de microorganismos, animales, plantas y ser humano; y el Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) producido por emisiones naturales del suelo y subsuelo, ha permitido el aumento gradual y natural de la temperatura promedio del planeta Tierra desde su formación hace muchos millones de años hasta el inicio del período industrial (1750). Durante la era preindustrial (10.000 a.C -1750) estos gases se mantuvieron en balance siguiendo el ciclo biogénico natural de emisión-absorción. Por su función de calentamiento natural de la atmósfera terrestre, se denominaron Gases de *Efecto Invernadero* y han permitido que la vida en la Tierra sea posible.

## ORIGEN, CAUSAS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

La Revolución Industrial iniciada en Inglaterra en 1750, marcó el comienzo de la era industrial (1750-hasta el presente) y sus efectos tanto positivos como negativos empezaron a ser detectados por la comunidad científica en la década de 1990. El proceso histórico de industrialización

trajo grandes beneficios a la humanidad pues promovió el crecimiento económico, mejoró las condiciones de salud y de calidad de vida, permitió acumular riqueza al pasar de una economía de subsistencia a una que generó excedentes de capital y permitió modernizar los medios de producción, transporte, comunicaciones, la infraestructura, la salud, entre otros. Sin embargo, la industrialización también trajo dos aspectos negativos: la inequidad en el desarrollo económico de los países, pues la adopción de la industrialización ha sido muy desigual entre ellos, generando riqueza en unos y pobreza y grandes conflictos sociales en otros; y el Cambio Climático Global, causado por la generación por parte de las industrias, de emisiones cada vez más altas y crecientes de gases a la atmósfera que afectan el ciclo biogénico natural antes descrito, incluidos por el IPCC en la lista de GEI por su alto potencial de calentamiento atmosférico.

Los GEI considerados por el IPCC a la fecha son los tres gases naturales: **Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )** cuyo incremento en emisiones se debe al uso industrial de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) para la generación de energía y a la deforestación desmedida; el **Metano ( $\text{CH}_4$ )** cuyo incremento en emisiones se debe a la descomposición de basuras orgánicas en vertederos abiertos, a los altos volúmenes de residuos orgánicos vegetales y animales en descomposición, a las inmensas áreas con siembra industrial de arroz de inundación en China y otros países, factores asociados con el incremento poblacional del mundo; y el Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) cuyo incremento en emisiones se debe principalmente a la industria de fertilizantes químicos demandados por la agricultura intensiva (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007, 2014); y gases industriales fabricados, como los **Hidrofluorocarbonos (HFC)** generados por la industria de refrigerantes; **Perfluorocarbonos (PFC)** generados por la industria del aluminio, la industria cosmética y otras; **Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ )** generado por la industria de la microelectrónica, cableado eléctrico y torres de alta, media y baja tensión; el **Trifluoruro de Nitrógeno ( $\text{NF}_3$ )** generado por la industria de la microelectrónica, celulares y pantallas de cristal líquido (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007, 2014). La Tabla 1 muestra el porcentaje de los distintos GEI en la atmósfera en el año 2019 y la Tabla 2 indica su potencial de calentamiento global (GWP, *Global Warming Potential*, su sigla en inglés).

**TABLA — 1**  
Porcentaje de GEI en la atmósfera en 2019

GAS	PORCENTAJE
CO <sub>2</sub>	66%
CH <sub>4</sub>	16%
N <sub>2</sub> O	7%
Clorofluorocarbonos 11	2%
Clorofluorocarbonos 12	5%
Otros	4%
Total	100%

Fuente: adaptado a partir de Energías Renovables (2020)

**TABLA — 2**  
Potencial de Calentamiento Global de los GEI

NOMBRE INDUSTRIAL	FORMULA QUÍMICA	GWP
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	28
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	265
HIDROFLUROCARBONADOS		
HFC-161	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	4
HFC-152	CH <sub>2</sub> FCH <sub>2</sub> F	16
HFC-41	CH <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	116
HFC-152A	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	138
HFC-143	CH <sub>2</sub> FCHF <sub>2</sub>	328
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	677
HFC-245CA	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	716
HFC-365MFC	CH <sub>3</sub> CF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	804
HFC-245FA	CHF <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	858
HFC-134	CHF <sub>2</sub> CHF <sub>2</sub>	1.120
HFC-236CB	CH <sub>2</sub> FCF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	1.210
HFC-134A	CH <sub>3</sub> FCF <sub>3</sub>	1.300

HFC-236EA	$\text{CHF}_2\text{CHFCF}_3$	1.330
HFC-43-10MEE	$\text{CF}_3\text{CHFCHFCF}_2\text{CF}_3$	1.650
HFC-125	$\text{CHF}_2\text{CF}_3$	3.170
HFC-227EA	$\text{CHF}_3\text{CHFCF}_3$	3.350
HFC-143A	$\text{CH}_3\text{CF}_3$	4.800
HFC-236FA	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{CF}_3$	8.060
HFC-23	$\text{CHF}_3$	12.400
<b>PERFLUOROCARBONADOS</b>		
PFC-14	$\text{CF}_4$	6.630
PFC-91-18	$\text{C}_{10}\text{F}_{18}$	7.190
PFC-51-14	$\text{C}_6\text{F}_{14}$	7.910
PFC-41-12	$\text{C}_5\text{F}_{12}$	8.550
PFC-218	$\text{C}_3\text{F}_8$	8.900
PFC-31-10	$\text{C}_4\text{F}_{10}$	9.200
Perfluorociclopropan	$\text{c-C}_3\text{F}_6$	9.200
PFC-318	$\text{c-C}_4\text{F}_8$	9.540
PFC-116	$\text{C}_2\text{F}_6$	11.100
Tricloruro de Nitrógeno	$\text{NF}_3$	16.100
Hexafluoruro de Azufre	$\text{SF}_6$	23.500

**Fuente:** adaptado a partir del IPCC (2014)

Los datos científicos producidos por el IPCC entre 2000 y 2021 demuestran que la intensificación en las emisiones de GEI ha venido generando cambios drásticos en el sistema climático del planeta en tres parámetros ambientales (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007, 2014, 2021): 1) la temperatura, con grandes contrastes regionales, con predicción al año 2.100 de hasta +12°C en los polos y hasta -2°C en otras regiones del mundo, causando el deshielo del permafrost, el deshielo de los glaciares o la desertización de algunas regiones del mundo; 2) la precipitación y el patrón de las lluvias, con cambios drásticos y contrastantes entre regiones, con predicciones al año 2.100 de entre -30% y +30%; y 3) aumento del nivel del mar que se predice entre 20 y 40 cm en diferentes océanos para el año 2.050.

Como resultado, el mundo está experimentando graves efectos y alteraciones en los ecosistemas globales terrestres y marítimos. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies animales, incluyendo insectos, y de especies vegetales principalmente arbóreas en bosques nativos y selvas, han variado significativamente (Houghton, 1992; Houghton et al., 1990). El derretimiento del permafrost con la liberación de microorganismos que se hallaban congelados por miles de años, desconocidos por la comunidad científica, representa un riesgo para las poblaciones humanas (Tchebakova & Parfenova, 2012). La pérdida de cobertura de hielo de los glaciares y nevados con la disminución drástica de la fuente de agua potable (Mejía & Garcia, 2021). La pérdida de cobertura de selva virgen en conjunto con su fauna y flora, con migraciones de animales salvajes a áreas rurales o semiurbanas (Beirne & Kelty-Huber, 2015; Martínez & Ruiz Orjuela, 2016). El aumento del nivel del mar, con alto riesgo para las poblaciones que habitan en zonas costeras o insulares (Carbajal-Domínguez, 2011; Mitrani et al., 2000; Tovar Cabañas et al., 2021) y muchas otras afectaciones.

## POLÍTICA MUNDIAL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y RECIENTES DECISIONES

La política mundial de lucha frente al Cambio Climático la lidera la *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático* (UNFCCC, su sigla en inglés) cuyos miembros son los presidentes de cada país de las Naciones Unidas, y su órgano científico asesor el *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático* (IPCC, su sigla en inglés) conformado por científicos de todo el mundo. La UNFCCC se reúne cada año en distintos países con el fin de analizar y proponer acciones concretas para reducir las emisiones de GEI a la atmósfera, en reuniones denominadas *Conferencias de las Partes* (COP's). Las de mayor transcendencia han sido:

### Protocolo de Kioto, 1997

Este acuerdo, vigente hasta el presente, se firmó como resultado de la primera reunión de la UNFCCC en Kioto, Japón, 1997 y produjo compromisos concretos para la reducción de GEI respecto a 1990 por parte de los países industrializados (denominados países Anexo 1) de 5%, con



excepción de los países europeos que ofrecieron reducir el 8%. Dichos compromisos para realizarse en el primer período de cumplimiento del Protocolo de Kioto (2008-2012) (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2008b).

### **Cumbre Climática de Copenhagen, 2009 (COP 15)**

En esta reunión se acordó: a) que China, India y Brasil, anteriormente considerados países no emisores (denominados países Anexo 2) pasarán a ser considerados países emisores (denominados países Anexo 1); b) constituir el llamado “Fondo de Copenhagen” de US\$ 100.000 millones/año que durante 2010-2020 los países Anexo 1 constituirían para apoyar las crisis causadas a países Anexo 2 por el Cambio Climático; y c) reducir las emisiones mundiales de GEI en 50% con respecto a 1990 durante 2013-2020, denominado el segundo período de cumplimiento del Protocolo de Kioto (Acuerdos de la COP 15, United Nations Climate Change [UNFCCC], 2022).

### **Cumbre Climática de París 2015 (COP 21)**

Los 196 países participantes, incluyendo por primera vez a Estados Unidos, acordaron: a) ratificar el acuerdo sobre el Fondo de Copenhagen; b) reducir las emisiones mundiales de GEI en 50% en el 2030 con respecto a 1990 y llegar a 0 emisiones netas en el 2050; y c) no permitir que la temperatura promedio de la tierra supere un incremento de 2°C con respecto a 1750, por considerarlo extremadamente riesgoso (Acuerdo de París por United Nations Climate Change [UNFCCC], 2015).

### **Cumbre Mundial de la Tierra, Madrid, 2019 (COP 25)**

Los países participantes consideraron que el límite máximo de aumento promedio de la temperatura de la atmósfera terrestre con respecto a 1750 no debía superar 1.5°C (Acuerdo de la COP 25 por United Nations Climate Change [UNFCCC], 2022a).

### **Sexto Informe IPCC 2021: Bases Científicas de la Física del Cambio Climático**

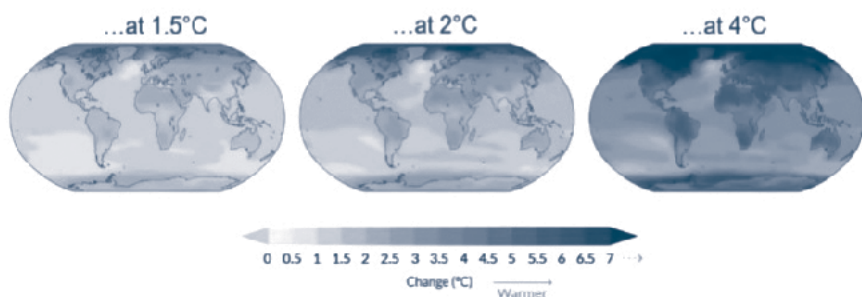
Sus conclusiones están basadas en el análisis de más de 14.000 publicaciones científicas de todo el mundo. Dicho informe urge a los países tomar medidas inmediatas para reducir el nivel de emisiones de GEI, proponiendo que se cumplan los compromisos de la Cumbre Climática

de París 2015 para que en el 2030 se reduzcan en 50% el nivel global de emisiones de GEI y para el 2050 el mundo llegue a 0 emisiones netas. El informe advierte que:

“con cada cantidad adicional de calentamiento global los cambios se hacen mayores...” (Figura 3); “la necesidad de actuar ya, con acciones de mitigación efectivas y llevadas a la práctica...; el cambio es inmenso para nuestra cultura actual: debemos repensar cómo producir alimentos, cómo y qué comer; cómo fabricar equipos, vivienda, ciudades; cómo consumir, cómo transportar la energía, cómo transportarnos nosotros mismos...; esto exige un diálogo profundo entre la ciencia, los tomadores de política y la población en general” (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).

### FIGURA — 3

Cambios esperados con aumento de temperatura de 1.5, 2 y 4°C



Fuente: tomado del Informe IPCC (2021)

Entre las conclusiones, el Informe menciona que algunos efectos del Cambio Climático ya son irreversibles, aunque otros pueden detenerse. Cita lo siguiente: a) la concentración actual de CO<sub>2</sub> es la más alta en al menos 2 millones de años; b) el aumento en el nivel mar muestra un ritmo más rápido en al menos 3000 años; c) el área del hielo marino en el Ártico presenta su nivel más bajo en al menos 100 años; d) el retroceso de glaciares no tiene precedentes en al menos 2000 años; e) el pH de la superficie de los océanos, que en 1950 era superior a 8.1, ha disminuido a 8 en el 2020 y se pronostica que continuará disminuyendo a diferente tasa según distintos escenarios de actividad humana (Figuras 4 y 5) (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021).

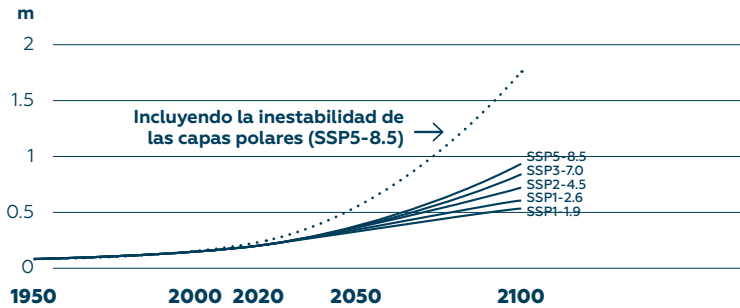
**FIGURA — 4**

Aumento del nivel del mar entre 1950-2015 y pronósticos al 2100

### OCÉANOS Y CRIÓSFERA

El nivel del mar continuará aumentando por miles de años

d) Cambio del nivel del mar global relativo al 1900



Fuente: tomado del Informe IPCC (2021)

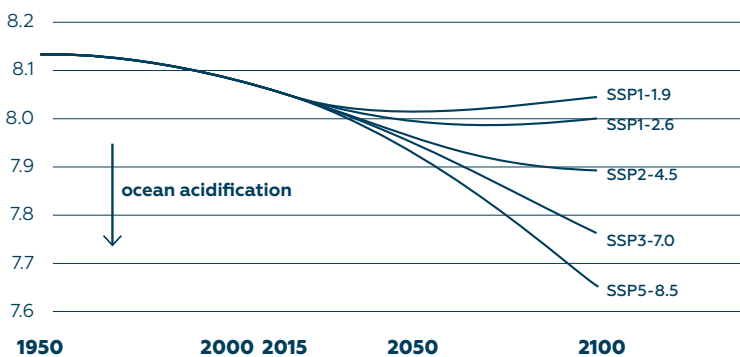
**FIGURA — 5**

Disminución del pH del océano entre 1950-2015 y pronósticos al 2100

### OCÉANOS Y CRIÓSFERA

Los cambios en los océanos continuarán por cientos a miles de años

c) pH en la superficie de los océanos



Fuente: tomado del Informe IPCC (2021)

## Cumbre de la Ambición Climática, Glasgow, 2021 (COP 26)

Ante aproximadamente 200 países participantes, se presentaron las recomendaciones del Sexto Informe del IPCC antes mencionado. Después de múltiples desacuerdos entre los países, afectados en gran medida por la recesión económica causada por las medidas de control del COVID-19, las conclusiones de la Cumbre de la Ambición Climática, Glasgow, 2021, resumidas en el documento denominado *Pacto de Glasgow* fueron las siguientes (United Nations Framework Convention Climate Change [UNFCCC], 2021):

Se reconoció que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático. Esta conclusión apoya lo mencionado por IPCC, 2000 indicando que el 75% de las emisiones de CO<sub>2</sub> se atribuyen al uso de combustibles fósiles. Asimismo, apoya el informe de World Resources Institute (2016) que señala al sector energético dominado por el uso de combustibles fósiles como responsable del 72% de las emisiones globales de GEI.

- Las subvenciones ineficientes a combustibles fósiles deberán ir eliminándose.
- El carbón, el combustible fósil más contaminante, debe reducirse gradualmente en los próximos años. El *Pacto de Glasgow* no fijó plazos debido que China, India, Indonesia y otros países utilizan el carbón como su principal fuente energética.
- Para lograr que el incremento de temperatura promedio global con respecto a la era preindustrial no sea mayor a 1,5°C, las emisiones de GEI deberán reducirse en un 45% antes del 2030.
- La financiación de la adaptación climática por parte de países Anexo 1 a países Anexo 2, de US\$ 100.000 millones/año entre 2010-2020 a través del Fondo de Copenhagen, no se ha cumplido. Este aspecto produjo grandes desacuerdos entre los países participantes y debe priorizarse.
- Se regulan a nivel mundial los Mercados de Carbono, aunque sin muchos detalles.

La comunidad científica, particularmente la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ha calificado el Pacto de Glasgow con falta de concreción, urgencia y contundencia. Y los expertos climáticos aseguran que lo pactado no es suficiente para mantener el aumento promedio de la temperatura mundial con respecto a la era preindustrial en menos de 1.5°C. Los países más vulnerables del mundo y las comunidades indígenas expresaron que las decisiones de la financiación no han tenido en cuenta la urgencia que viven por los impactos del Cambio Climático. Recuerdan que el 80% de la biodiversidad mundial se encuentra en territorios indígenas. Algunos países y organizaciones ven el Pacto de Glasgow como positivo en su apoyo a otros pactos multilaterales: *Freno a la Deforestación, Atención al Metano, Fin a las centrales de Carbón, Aceleración hacia la Movilidad Sostenible* (Clotet, 2021; Dewan & Cassidy, 2021).

El mundo espera que la COP 27 a realizarse en Egipto 2022, ofrezca soluciones más concretas que la COP 26 para mitigar los problemas del Cambio Climático y los compromisos adquiridos anteriormente en COP 21 y COP 25.

## AUDIENCIA DEL PRESENTE LIBRO Y SU ESTRUCTURA

El libro **Cambio Climático Global: Un gran desafío para el mundo de hoy** presenta una visión integral de este fenómeno ambiental, analizando sus orígenes y causas, algunos de sus mayores efectos, e importantes medidas de mitigación adoptadas por los países siguiendo la política internacional liderada por la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* apoyada por su cuerpo científico asesor, el *Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático*. Cada uno de sus capítulos está sustentado en la revisión de artículos científicos, informes técnicos de corporaciones y empresas industriales, y documentos de política pública internacional y nacional relacionados con los distintos aspectos del Cambio Climático. Está dirigido a la comunidad académica de países de habla hispana (directivos, profesores y estudiantes de cualquier carrera o disciplina científica), miembros de organizaciones públicas y privadas, tomadores de decisión sobre este tema y al público en general que sienta el interés de comprender y profundizar en su complejidad.

Los 17 capítulos del libro están agrupados en tres temas:

## Tema I

Industrias generadoras de los diferentes GEI (capítulos 1 a 7). En estos se abordan y analizan: la industria mundial del carbón (capítulo 1), la industria mundial del petróleo (capítulo 2), la industria mundial automotriz (capítulo 3), la industria mundial del plástico (capítulo 4), la industria de refrigerantes (capítulo 5), la industria de la microelectrónica (capítulo 6) y la industria de la microelectrónica (capítulo 7). En cada capítulo se definen conceptos científicos, historia de la industria, se analizan las diferentes etapas de su cadena productiva y el nivel de emisiones de GEI en cada etapa, se exponen las decisiones de política internacional emitidas por la UNFCCC sobre opciones de mitigación del Cambio Climático en cada industria, y se presentan las conclusiones de la investigación.

## Tema II

Biomás afectados por el Cambio Climático y otros efectos (capítulos 8 a 10). En ellos se describe y analiza cómo el Cambio Climático ha afectado y continúa afectando ecosistemas vitales como el permafrost (capítulo 8), el ecosistema de páramo (capítulo 9), y analiza el efecto del Cambio Climático en la aparición y resurgimiento de enfermedades virales (capítulo 10).

## Tema III

Acciones de Mitigación del Cambio Climático (capítulos 11 a 17). El capítulo 11 muestra la función ecológica de los humedales a través de la captura y acumulación de Carbono para mitigar el Cambio Climático. Los capítulos 12 a 16 analizan la importancia de **la transición energética**: de energía eléctrica generada con combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) a la generada utilizando fuentes renovables infinitas para reducir las emisiones de GEI. Se analiza la energía hidráulica (capítulo 12), la energía eólica (capítulo 13), la energía solar (capítulos 14), la nueva y prometedora energía renovable generada por hidrógeno verde (capítulo 15) y la opción de producir alcohol carburante a partir de yuca amarga para reemplazar parcialmente el uso de gasolina en la industria automotriz (capítulo 16). El capítulo 17, el final, presenta datos de la reducción sin precedentes en las emisiones de GEI observada entre marzo y diciembre de 2020, a nivel mundial y en varios países, como consecuencia de las medidas de aislamiento y cierre de industrias como

política de control del COVID-19, ofreciendo evidencia clara que apoya el mensaje emitido por el Informe IPCC 2021 “la influencia humana sobre el Cambio Climático es inequívoca”.

## REFERENCIAS

- BEIRNE, P. & Kelty-Huber, C.** (2015). *Los animales y la migración forzada*.
- CARBAJAL-DOMINGUEZ, A.** (2011). Zonas costeras bajas en el Golfo de México ante el incremento del nivel del mar. *ArXiv Preprint ArXiv:1102.4323*.
- CARBON BRIEF.** (2020, February 19). *Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter*. <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter>
- CEPAL.** (2022). *Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible#:~:text=En el 2015%2C los 193, alianzas toman un rol central>.
- CLOTET, P.** (2021). Balance de la COP26: “Es un paso importante pero no es suficiente.” *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/vida/20211115/7863036/paso-importante-suficiente.html>
- DEWAN, A. & Cassidy, A.** (2021). *Análisis. La COP26 concluyó con un acuerdo climático. En esto tuvo éxito y en esto fracasó la cumbre*.
- EL ECONOMISTA.** (Abril 21, 2021). *Putin promete que Rusia luchará contra el cambio climático*. <https://www.eleconomista.com.mx/internacionales/Putin-promete-que-Rusia-luchara-contra-el-cambio-climatico-20210421-0040.html>
- ENERGÍAS RENOVABLES.** (2020). *Las emisiones de gases de efecto invernadero siguen disparadas pese a la pandemia*. <https://www.energias-renovables.com/panorama/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-20201123>
- HOUGHTON, J. T.** (1992). *Climate change 1992*.

**HOUGHTON, J. T., Jenkins, G. J., & Ephraums, J. J. (1990).** *Climate change.*

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. (2007).** *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. (2014).** *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. (2021).** *Cambio Climático 2021: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.*

**IZAGUIRRE, C., Losada, I. J., Camus, P., Vigh, J. L. & Stenek, V. (2021).** Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change*, 11(1), 14–20. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>

**MARTÍNEZ, L. & Ruiz Orjuela, L. M. (2016).** *Análisis de la pérdida en la cobertura vegetal a partir de un estudio multitemporal 2007-2013 parque nacional natural alto fragua indi wasi.*

**MEJIA, C. B. C. & Garcia, R. M. (2021).** Deshielo, un problema a flote: Calentamiento global, cambio climático, deshielo, amenazas. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 12, 1-3.

**MITRANI, I., Parrado, R. P., Concepción, O. G., García, I. S., Allen, Y. J., Pérez, M. B., Padrón, P. B., Hernández, A. L. P. & Otero, C. R. (2000).** Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posterior incremento del nivel medio del mar por cambio climático. *Revista Cubana de Meteorología*, 7(1), 45-50.

**ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS]. (Noviembre 8, 2021).** *Muchos países están dando prioridad a la salud y a la lucha contra el cambio climático, pero carecen de fondos para actuar.* <https://www.who.int/es/news/item/08-11-2021-many-countries-are-prioritizing-health-and-climate-change-but-lack-funds-to-take-action>



- STATISTA.** (2020). ¿Cuánto han disminuido las emisiones de CO2 en 2020? <https://es.statista.com/grafico/23231/variacion-de-las-emisiones-de-co2-en-2020-respecto-a-2019/>
- STATISTA.** (2021). *Los países que más contaminan el aire*. [https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/?utm\\_source=Statista+Newsletters&utm\\_campaign=caca06f9a6-All\\_InfographTicker\\_daily\\_ES\\_AM\\_KW16\\_2021\\_TH&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_662f7ed75e-caca06f](https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/?utm_source=Statista+Newsletters&utm_campaign=caca06f9a6-All_InfographTicker_daily_ES_AM_KW16_2021_TH&utm_medium=email&utm_term=0_662f7ed75e-caca06f)
- TCHEBAKOVA, N. M. & Parfenova, E. I.** (2012). Efectos del cambio climático del siglo 21 en los bosques y coníferas primarias en Siberia central. *Bosque (Valdivia)*, 33(3), 253-259.
- TOVAR CABAÑAS, R.,** Ávila Sánchez, M. de J., Vargas Castilleja, R. del C. & Rolón-Aguilar, J. C. (2021). Vulnerabilidad socioeconómica, cambio climático e incremento del nivel del mar en Matamoros, Tamaulipas. *Economía, Sociedad y Territorio*, 21(65), 179-203.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2008). *KYOTO PROTOCOL REFERENCE MANUAL ON ACCOUNTING OF EMISSIONS AND ASSIGNED AMOUNT*. [https://unfccc.int/sites/default/files/08\\_unfccc\\_kp\\_ref\\_manual.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/08_unfccc_kp_ref_manual.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2022a). *Acerca de la Conferencia de la ONU el Cambio Climático - Diciembre de 2019*. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/conferences/un-climate-change-conference-december-2019/acerca-de-la-conferencia-de-la-onu-el-cambio-climatico-diciembre-de-2019>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2022b). *Copenhagen Climate Change Conference - December 2009*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/copenhagen-climate-change-conference-december-2009/copenhagen-climate-change-conference-december-2009>



## TEMA I

# Principales industrias generadoras de gases de efecto invernadero





## CAPÍTULO 1

# La industria mundial del carbón

JUAN PABLO MUÑOZ  
SOFIA PATIÑO  
KATHERIN DAYANN RODRÍGUEZ  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Profundizar en el proceso de producción y uso industrial del carbón mineral como fuente de energía térmica y eléctrica, haciendo énfasis en las ventajas y desventajas de su producción, y en la emisión de GEI a través de su cadena de producción energética. Analizar la política mundial de la UNFCCC sobre el uso del carbón como fuente energética.



## INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles son el carbón, el petróleo y el gas natural, fuentes de energía derivadas de recursos finitos o agotables. Se han desarrollado a partir de biomasa muerta (plantas y animales) que, durante muchos millones de años, debido a la exposición a alta presión y calor en ausencia de oxígeno, se ha convertido en carbón, petróleo o gas natural. Estas fuentes de energía fósil se clasifican en biogénicas y minerales: las fuentes biogénicas son principalmente el carbón (lignito y carbón bituminoso) y las fuentes minerales son hidrocarburos líquidos o gaseosos (petróleo crudo y gas natural). Estas fuentes de energía se diferencian de las fuentes de energía renovable que son inagotables, por ejemplo: la bioenergía, energía eólica, hidráulica, solar y geotérmica (Oiltanking, 2022b). Según Energy Information Administration (EIA, 2019) los combustibles fósiles representan el 82% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial y su cadena de producción de energía genera aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Es probable que las emisiones de metano estén subestimadas (Pacto de Glasgow, COP26, United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021); por lo tanto, la contribución del uso de combustibles fósiles a las emisiones globales de GEI puede ser mayor.

## EL CARBÓN

El carbón se originó por descomposición de biomasa muerta: vegetales terrestres, hojas, maderas, cortezas y esporas que, a través de millones de años, se ha ido acumulando en zonas pantanosas, lagunares o marinas de poca profundidad, quedando cubiertos de agua y protegidos del aire que los destruiría. Este proceso se produjo en los períodos carboníferos de la Era Primaria (hace 280 a 345 millones de años) y también en el Pérmico, Triásico y Jurásico cuando se formaron grandes depósitos de carbón (Uriarte, 2020).

La formación del carbón es producto de una lenta transformación por la acción de bacterias anaerobias que, debido a la pérdida de agua, oxígeno e hidrógeno, a través del tiempo generan un progresivo enriquecimiento en carbono (Minalvierno, 2022). La transformación de la vegetación muerta en “turba” (primer carbón), que al comprimirse forma “lignito” (segundo carbón) que sometido a mayor presión y temperatura

forma la “hulla” (tercer carbón) y finalmente con más presión y temperatura forma la “antracita” (carbón de mayor calidad) (AreaCiencias, 2022).

La explotación del carbón como fuente de energía se originó al inicio de la Revolución Industrial (1750) en Inglaterra, cuyo subsuelo es rico en este combustible fósil. El invento de la máquina de vapor, por combustión del carbón, se basa en la transformación de energía fósil en energía mecánica, dio apertura a la industria de transporte especialmente en trenes y barcos (Newcomen, 1712; Watt, 1769). La primera Guerra Mundial (1914-1918) consolidó al carbón como principal fuente de energía a nivel mundial. Poco antes de la segunda Guerra Mundial (1939-1945) el petróleo sustituyó al carbón en ese papel preponderante como fuente de energía. Sin embargo, al final de la década de los setenta, con la denominada crisis del petróleo, el carbón representó más del 25% de la demanda de energía primaria mundial (Junta de Castilla y León, 2022).

Actualmente, China, India y otros países dependen del carbón como su principal fuente energética (expuesto en la cumbre climática de Glasgow, UNFCCC, 2021). Es importante diferenciar este proceso de carbonización que produce el **carbón mineral**, combustible fósil agotable, del **carbón vegetal**, producido por la combustión incompleta de la madera y otros residuos vegetales o quema de leña, considerado como fuente de energía renovable inagotable (Combustibles Aragón, 2017; Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1983).

## CADENA PRODUCTIVA DE LA ENERGÍA GENERADA UTILIZANDO EL CARBÓN Y SUS EMISIONES DE GEI

De acuerdo con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME, 2005) la cadena de producción de carbón consiste en las siguientes etapas:

### Exploración

Consiste en la búsqueda de yacimientos carboníferos con condiciones geológicas como potencialidad y calidad, las cuales serán valoradas primero. Esta etapa está relacionada con la tendencia económica del momento.

### Explotación

Dependiendo de la profundidad del yacimiento carbonífero, la explotación se efectúa **a cielo abierto** o **subterránea**. Comprendiendo en primer



lugar: el desarrollo y montaje de la mina, incluyendo vías de acceso, obras de infraestructura y servicios a la mina; en segundo lugar, la preparación, que consiste en la delimitación de áreas dentro del yacimiento, como bancos, niveles, subniveles, tambores, entre otros; y finaliza con la producción en mina, por diferentes métodos y sistemas de explotación, según las condiciones del yacimiento carbonífero.

### **Producción**

Se realizan pretratamientos a la materia prima: molienda, tamizado, oxidación, paletizado y secado.

### **Transformación**

Obtención de productos comerciales distintos al carbón por destilación, tales como coque, gas y brea.

### **Transporte**

Según el país productor, el carbón es transportado por medio de bandas transportadoras, volquetas, camiones, cables aéreos y vías férreas.

### **Comercialización, distribución y usos finales**

Según la demanda del usuario.

## **EMISIONES DE GEI EN CADA ETAPA DE PRODUCCIÓN**

Durante las etapas de **exploración y explotación** ocurren emisiones de **CH<sub>4</sub>** y **CO<sub>2</sub>** que se llevan a la superficie por medio del sistema de ventilación instalado, por lo que deben realizarse trabajos de desgasificación previa, la puesta en marcha de la mina y durante toda su vida útil. El caudal volumétrico que se ventila de **CH<sub>4</sub>** suele ser elevado, siendo significativamente menor en la minería a cielo abierto que en la minería subterránea, pues al encontrarse de manera más superficial, las capas han liberado metano con el transcurso del tiempo al estar sometidas a menor presión litostática.

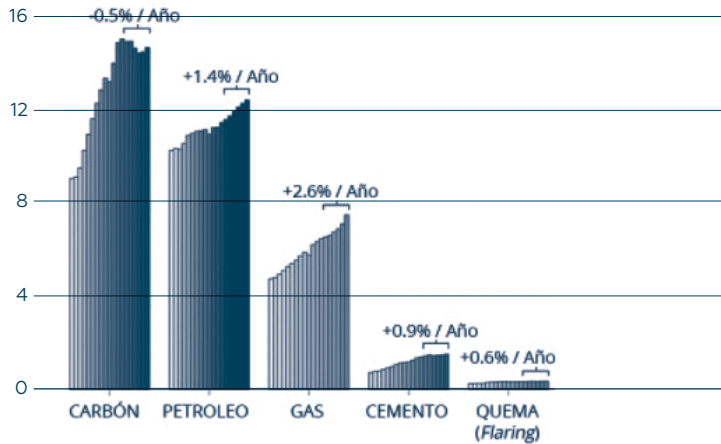
Las emisiones en las etapas de **producción, transformación y transporte** del carbón dentro de la mina o en zonas cercanas, son significativamente inferiores a las producidas en la explotación. Esta misma con-

clusión se extiende a las pilas de almacenamiento de carbón en parques de centrales térmicas, siderúrgicas, y otras instalaciones que necesitan disponer de acopio de carbón (Centro Tecnológico Aitemin, 2015).

En la Figura 1 se muestra el crecimiento entre 2013-2018 de las emisiones globales de GEI debido al uso de combustibles fósiles a través de todas las etapas de su cadena productiva. El carbón es el mayor emisor ascendiendo a 16 gigatonelada de CO<sub>2</sub> en el 2018, aunque por políticas internacionales de la UNFCCC ha mostrado una leve reducción de 0.5% en 2018 respecto al 2013.

**FIGURA — 1**  
Emisiones mundiales de GEI por combustibles fósiles 2013-2018

En gigatoneladas de CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>)



Fuente: tomado de La Vanguardia (2019)

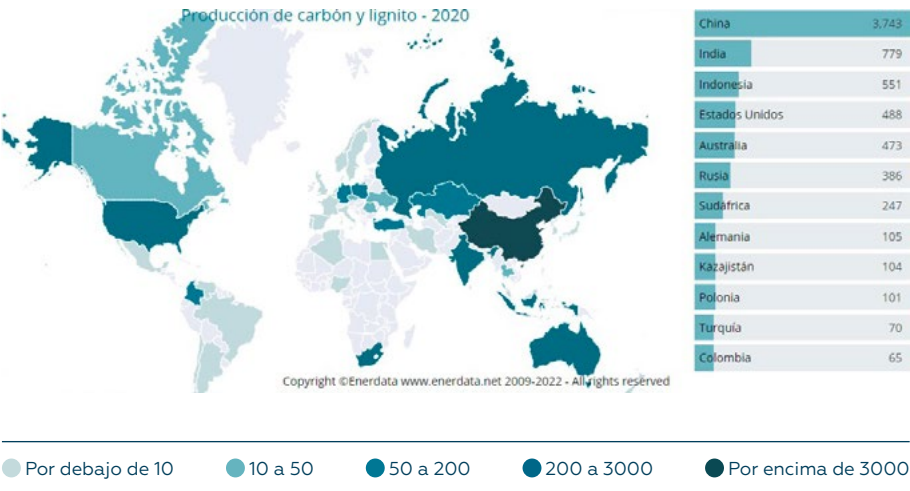
## PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN

Según las estadísticas de Enerdata (2022b), en el 2020 la producción de carbón a nivel mundial fue de 7581 Mtoe (megatoneladas equivalentes de petróleo). La Figura 2 muestra los 12 mayores productores a nivel mundial que contribuyen con 7112 Mtoe representando el 93,8% de la

producción total, siendo los cuatro mayores: China, con 3743 Mtoe de carbón representa el 49.4% de la producción mundial; India, con 779 Mtoe representa el 10.3%; Indonesia con 551 Mtoe representa el 7.3% y Estados Unidos con 488 Mtoe representa el 6.4%. Los ocho siguientes productores: Australia, Rusia, Sudáfrica, Alemania, Kazajistán, Polonia, Turquía y Colombia representan el 20.4% de la producción mundial.

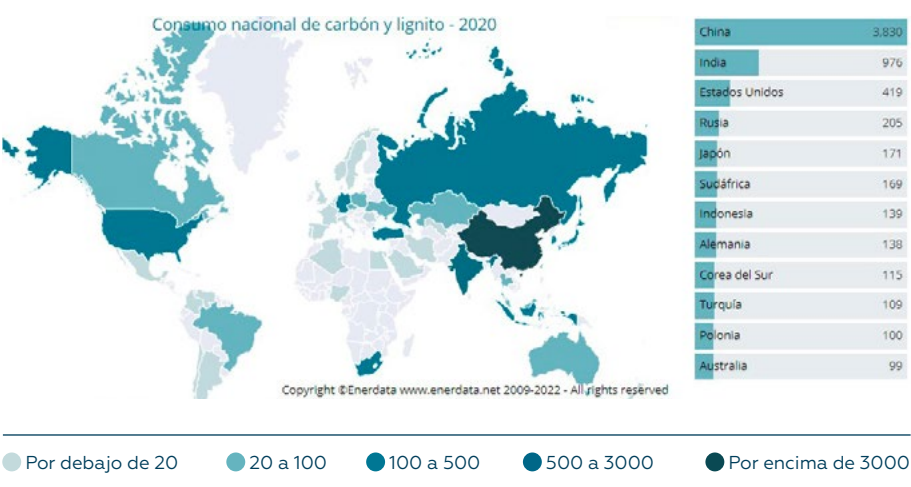
Según Enerdata (2022a), en el 2020 el consumo del carbón a nivel mundial fue de 7306 Mtoe que representa el 96.4% de la producción mundial, indicando que prácticamente toda la producción de este combustible fósil se consume. 10 de los principales países productores (China, India, Indonesia, Estados Unidos, Rusia, Sudáfrica, Alemania, Turquía, Polonia y Australia) hacen parte de los 12 mayores consumidores de carbón en el mundo, destacándose: China con el 52.4% e India el 13.3% del consumo mundial del carbón (Figura 3), siendo además países importadores de carbón: China importa 2.3% de su consumo e India el 20.2%.

**FIGURA — 2**  
Principales países productores de carbón y lignito 2020



Fuente: tomado de Enerdata (2022b)

**FIGURA — 3**  
Consumo de carbón y lignito 2020



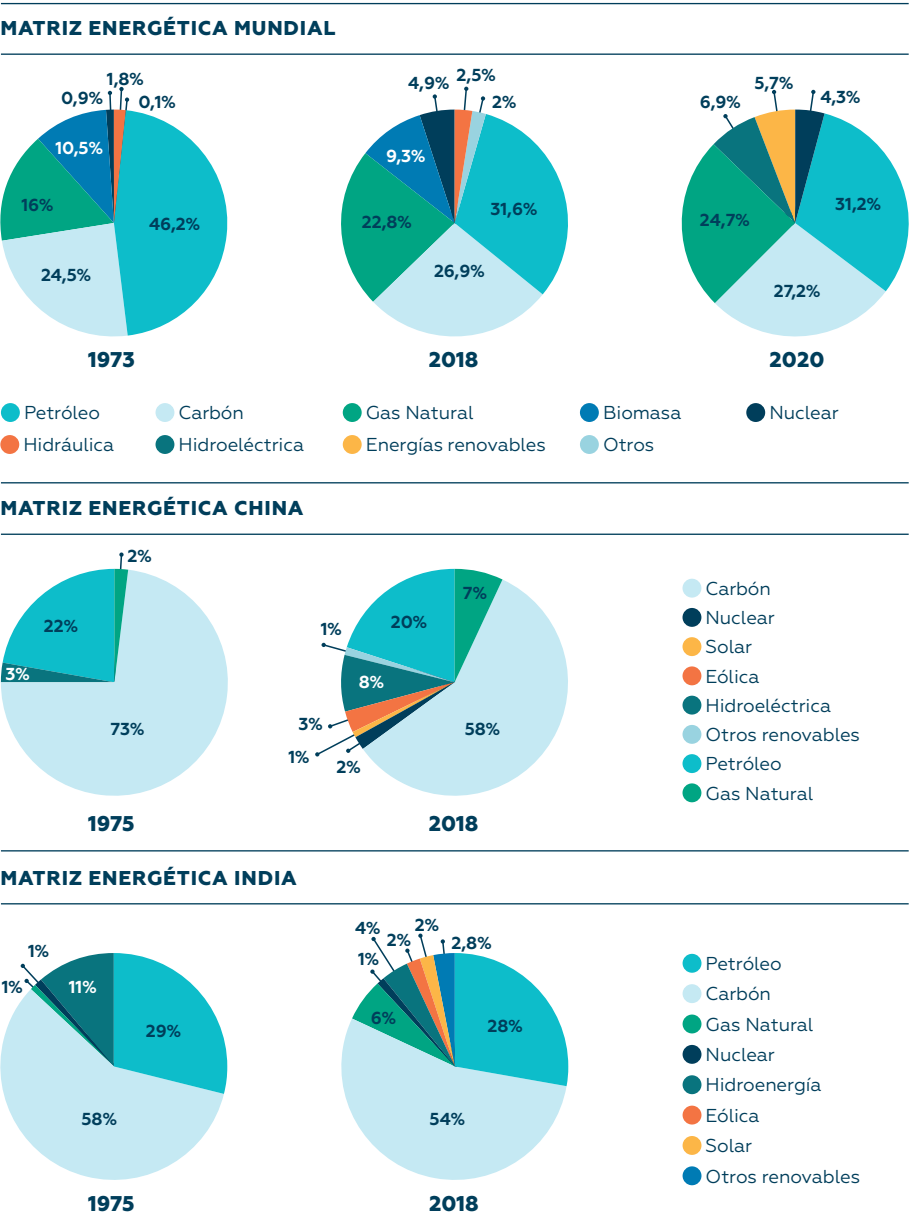
Fuente: tomado de Enerdata (2022a)

## MATRIZ ENERGÉTICA: MUNDIAL Y DE PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE CARBÓN

La Tabla 1 muestra los cambios (1973-2020) en la contribución del carbón como fuente energética en la matriz mundial; y en la de China e India (1975-2018), los dos principales productores de carbón, y que dependen de este combustible fósil como su principal fuente energética. En este período la utilización del carbón a nivel mundial creció levemente pasando de 24.5% a 27.2%. En China se redujo de 73% a 58% siendo sustituida por gas natural y energías renovables y en India decreció levemente (58% a 54%).

En los países de Asia, por su creciente población, se predican los mayores aumentos en la demanda de energía, principalmente en el uso del carbón. En contraste, en Estados Unidos, Rusia y Europa se ha reducido su uso para la generación de energía (British Petroleum [BP], 2019; Energy Information Administration, 2019).

**TABLA — 1**  
Contribución del Carbón en la matriz energética -  
Transición entre 1973 y 2020

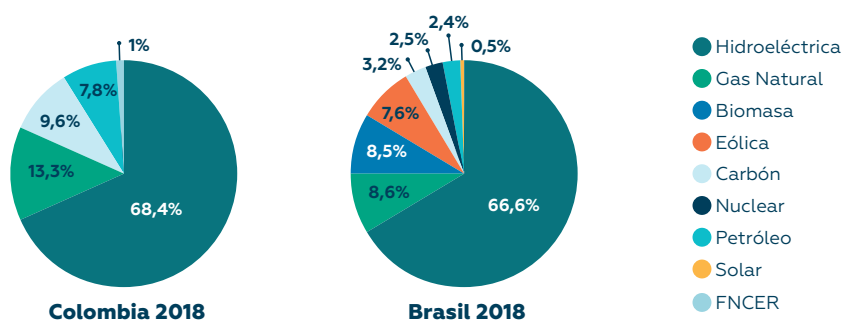


## PAÍSES DE AMÉRICA DEL SUR

En América del Sur el carbón no es de las principales fuentes de energía. Sin embargo, Brasil y Colombia, cuya fuente principal de energía es la hidráulica (figura 4), son los países que más reservas de carbón tienen en la región.

**FIGURA — 4**

Uso del carbón como fuente de energía en Colombia y Brasil 2018



Fuente: adaptado de Canal Energía (2019) y Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019)

## PRODUCCIÓN DE CARBÓN EN COLOMBIA

En Colombia, la mayor producción de carbón se encuentra en los departamentos de Cesar y Guajira, cuya minería es a cielo abierto y a gran escala, con concesiones dadas por el Estado a empresas extranjeras. La principal operación minera de Colombia es El Cerrejón en la Guajira, motor de la economía de este departamento y de Colombia. En El Cerrejón, la mayoría del carbón se utiliza para la generación de energía eléctrica y en menor proporción en diversos procesos industriales y calefacción doméstica. El 60% del carbón minado en Cerrejón es triturado y despachado en tren y depositado en las bodegas de los buques carboneros para exportación. El 40% restante es almacenado de acuerdo con sus parámetros de calidad para calefacción a nivel nacional. Adicionalmente, los departamentos de Cundinamarca y Boyacá contribuyen con el 5%

de la producción nacional de carbón, con minería pequeña y mediana escala. El carbón producido en esas zonas presenta unas propiedades caloríficas interesantes, más no se ha utilizado aun para la generación de energía (Cerrejón: Minería Responsable, 2022).

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA PARA REDUCIR GEI GENERADAS POR LA INDUSTRIA DEL CARBÓN

### Política Internacional

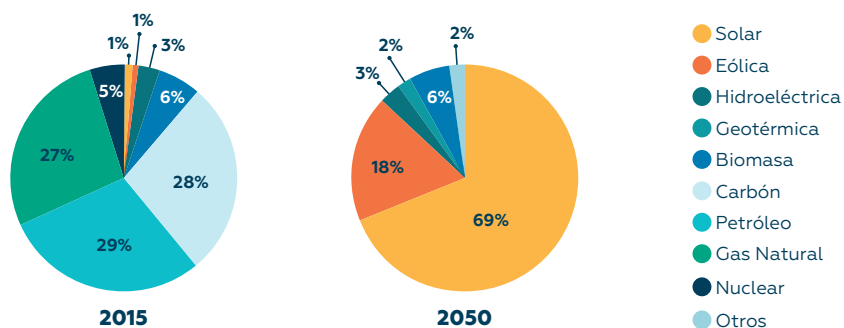
El carbón es el combustible fósil más contaminante. Su combustión para uso energético representó en Estados Unidos y en la Unión Europea un 40% de sus emisiones de GEI en el año 2018, seguidas del petróleo (34%) y del gas natural (20%) (Cerrillo, 2019). Comparado con el petróleo y el gas, el carbón es, con diferencia, el mayor emisor por unidad de energía (Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME], 2015b). Al mismo tiempo, los usos energéticos del carbón, tanto en generación eléctrica como en la industria, pueden sustituirse hoy día de forma eficiente por energías renovables y gas natural.

En la Cumbre Climática de París 2015, 196 países incluyendo naciones desarrolladas, emergentes y en vía de desarrollo, aprobaron el “Acuerdo de París” y propusieron como respuesta de carácter universal al cambio climático que en el 2050 el carbón se excluya de la matriz energética mundial con el fin de preservar el umbral de los 2°C de aumento promedio de la temperatura de la tierra en comparación con la de la Era Preindustrial (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2015; United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015). Posteriormente, en la Cumbre Climática de la Tierra, Madrid 2019, se acordó que el incremento promedio de la temperatura de la superficie terrestre en comparación con la del período preindustrial no exceda 1.5 °C (UNFCCC, 2021a). La Figura 5 ilustra la **transición deseada** en la matriz energética mundial entre 2015 y 2050. Esto implicaría una reducción en el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) de 84% en el 2015 a 0% en el 2050 y un aumento de energías renovables de 16% en el 2015 a 98% en el 2050 (Ram et al., 2019).

Sin embargo, en la más reciente Cumbre Climática de Glasgow 2021 fue imposible llegar a un acuerdo sobre la eliminación del carbón de

**FIGURA — 5**

Transición esperada en las fuentes de generación de energía eléctrica entre 2015 y 2050



Fuente: tomado de Ram et al. (2019)

la matriz energética mundial en el 2050, debido particularmente a la oposición de China e India porque para ellos el carbón es su principal fuente energética. Se firmó el “Pacto de Glasgow” que cita entre otros acuerdos lo siguiente (UNFCCC, 2021b): 1- se reconoce que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático; 2 - el carbón, siendo el combustible fósil más contaminante, debe reducirse gradualmente en los próximos años sin fijar plazos; y 3 - las emisiones de GEI debe reducirse en un 45% antes del 2050 para lograr que el aumento de temperatura promedio global con respecto a la era preindustrial no sea mayor a 1.5 °C.

## Política Colombiana

Está basada en alcanzar las metas internacionalmente acordadas respecto a que el incremento promedio de la temperatura de la superficie terrestre, vs la del período preindustrial, no supere 1.5 °C (UNFCCC, 2021a). Colombia cuenta con un marco de política pública para enfrentar el Cambio Climático (2010-2021) una de cuyas estrategias es la Estrategia Colombiana de Desarrollo bajo en Carbono (ECDBC). Esta estrategia



busca generar acciones de adaptación y mitigación del Cambio Climático en seis sectores de la economía nacional, emisores de GEI, entre ellos el sector energético. Busca que entre 2030 y 2050 el país sea carbono neutral, actualizando la información cada 12 años. En el marco de la ECDBC, en el año 2016, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible generó algunas políticas territoriales como la del “Desarrollo Urbano y Rural Resiliente al Clima y bajo en Carbono” que persigue reducir las emisiones de GEI en el sector energético, específicamente el uso de combustibles fósiles y estimular la utilización de fuentes alternativas de energías renovables. La política energética se focaliza en expandir la cobertura de los servicios energéticos, diversificar la canasta energética incorporando fuentes de energías renovables, garantizar la calidad y confiabilidad de la oferta energética y fomentar actividades productivas que aceleren el crecimiento económico sin aumentar el uso del carbón (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2022; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], s.f.).

## CONCLUSIONES

El carbón es una de las fuentes de producción energética más asequible para los países alrededor del mundo. Este combustible fósil representa el 26.9% de la matriz energética mundial en el 2018, siendo la segunda después del petróleo que representa el 31.6%.

La industria mundial del carbón como fuente de energía causa los más altos niveles de emisiones de GEI, especialmente  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , comparada por otros combustibles fósiles (petróleo y gas natural). Debido a esto, la política internacional sobre el Cambio Climático busca que en el período entre 2030 e idealmente 2050 desaparezca el carbón como fuente energética y sea reemplazado por gas natural, el combustible fósil de menor emisiones de GEI o por energías renovables.

A pesar de que Colombia tiene una de las mayores reservas de carbón en Latinoamérica, este no es su fuente principal de energía, representando solo el 9.5% de su matriz energética. En 2030-2050 se espera que las emisiones globales de GEI sean compatibles con la preservación del umbral de seguridad de los 1.5°C.

## REFERENCIAS

- AREACIENCIAS.** (2022). *Origen del carbón*. El Carbón. [https://www.areaciencias.com/geologia/carbon/#\\_¿Que\\_es\\_el\\_Carbon](https://www.areaciencias.com/geologia/carbon/#_¿Que_es_el_Carbon)
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (2019, Marzo 26). *La matriz energética de Colombia se renueva*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- BRITISH PETROLEUM [BP].** (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- CANAL ENERGIA.** (2019). *BEN: oferta interna de energía eléctrica subió 1,7% en 2018*. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53118732/ben-oferta-interna-de-energia-eletrica-subiu-17-em-2018>
- CENTRO TECNOLÓGICO AITEMIN.** (2015). *REVISIÓN DE LAS ESTIMACIONES DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROCEDENTES DE LAS MINAS EN ESPAÑA*. [https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/estudiomina-sactivasaiteminsei\\_tcm30-445554.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/estudiomina-sactivasaiteminsei_tcm30-445554.pdf)
- CERREJÓN: MINERÍA RESPONSABLE.** (2022). *Mina. Nuestra Operación*. <https://www.cerrejon.com/nuestra-operacion/mina>
- CERRILLO, A.** (2019). Las emisiones mundiales de los combustibles fósiles son un 60% superiores a las de 1990. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20191204/472038796221/cumbre-del-clima-cop25-carbon-proyect.html>
- COMBUSTIBLES ARAGÓN.** (2017). Las diferencias entre el carbón vegetal y el carbón mineral. *Combustibles Limpios*. <https://combustiblesaragon.es/las-diferencias-entre-el-carbon-vegetal-y-el-carbon-mineral/>
- ENERDATA.** (2022a). *Consumo nacional de carbón y lignito*. Energía y Clima Mundial - Anuario Estadístico 2021. <https://datos.enerdata.net/carbon-ligno/consumo-mundial-carbon.html>

- ENERDATA.** (2022b). *Producción de carbón y lignito*. Energía y Clima Mundial - Anuario Estadístico 2021. <https://datos.enerdata.net/carbon-lignito/produccion-carbon.html>
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.** (2019). *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES [IDEAM].** (2022). ¿QUÉ ES LA ESTRATEGIA COLOMBIANA DE DESARROLLO BAJO EN CARBONO? <http://www.cambioclimatico.gov.co/estrategia-colombiana-de-desarrollo-bajo-en-carbono>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA].** (2018). *World Energy balances 2018*. [https://webstore.iea.org/download/direct/2263?fileName=World\\_Energy\\_Balances\\_2018\\_O%0Averview.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2263?fileName=World_Energy_Balances_2018_O%0Averview.pdf)
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN.** (2022). *NATURALEZA Y ORIGEN DEL CARBÓN*. Unidad 5. Carbón. <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/naturaleza-origen-carbon.html#:~:text=El carbón es una roca,partir de la vegetación existente>.
- LA VANGUARDIA.** (2019). *Emisiones globales anuales de CO2 de origen fósil, 2000-2018: tasas anuales de crecimiento de 2013 a 2018*. <https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20191204/472038796221/cumbre-del-clima-cop25-carbon-proyect.html#foto-2>
- MINAINVIERNO.** (2022). *Formación del Carbón*. <https://www.minainvierno.cl/formacion-del-carbon/>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (s.f.). *Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono ECDBC*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade3a8222934.pdf>
- OILTANKING.** (2022). *Energía fósil (combustibles fósiles)*. Glosario. <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/energia-fosil-combustibles-fosiles.html>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN [FAO].** (1983). PROCESOS DE CARBONIZACION. In *Métodos simples para fabricar carbón vegetal*. <https://www.fao.org/3/X5328S/X5328S00.htm#Contents>

- RAM, M.**, Bogdanov, D., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Oyewo, A. S., Child, M., Caldera, U., Sadovskaia, K., Farfan, J., Barbosa, L., Fasihi, M., Khalili, S., Dalheimer, B., Gruber, G., Traber, T., De Caluwe, F., Fell, H.-J. & Breyer, C. (2019). *Global Energy System based on 100% Renewable Energy – Power, Heat, Transport and Desalination Sectors*. [http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG\\_LUT\\_100RE\\_All\\_Sectors\\_Global\\_Report\\_2019.pdf](http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_LUT_100RE_All_Sectors_Global_Report_2019.pdf)
- RUNRUN ENERGÉTICO.** (2020). *LA ERA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES CONTINUARÁ POR VARIAS DÉCADAS*. <https://www.runrunenergetico.com/la-era-de-los-combustibles-fosiles-continuara-por-varias-decadas/>
- SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA [UPME].** (2005). *EL CARBÓN COLOMBIANO. Fuente de Energía para el Mundo* (Ministerio de Minas y Energía [Ed.]). [http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena\\_carbon.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/Cadena_carbon.pdf)
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA [UPME].** (2015). *PLAN ENERGÉTICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050*. [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>
- URIARTE, J. M.** (2020). *Período Pérmico. Características.Co*. <https://www.caracteristicas.co/periodo-permico/>

## CAPÍTULO 2

# La industria mundial del petróleo

BORIS SEBASTIÁN AGUIRRE CAREIS  
GERALDINNE CALDERÓN LÓPEZ  
KAREN GISSELLE HERNANDEZ  
GABRIEL SALAZAR REDONDO  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

El siguiente capítulo proporciona información sobre la Industria Mundial del Petróleo en todas las etapas de su cadena productiva, describe el proceso de obtención de los productos derivados del petróleo y expone las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) generadas en cada etapa. Analiza la industria mundial del petróleo frente a su efecto sobre el Cambio Climático y las diferentes medidas de control en un marco político a nivel mundial y nacional.



## INTRODUCCIÓN

Como resultado de la más reciente Cumbre Climática, en Glasgow, 2021, se firmó por los 200 países participantes el “Pacto de Glasgow” que cita entre otros acuerdos lo siguiente (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b): 1- se reconoce que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático; y 2- las emisiones de GEI deben reducirse paulatinamente hasta un 45% antes del 2050 para lograr que el aumento de temperatura promedio global con respecto a la era preindustrial no sea mayor a 1.5 °C según el acuerdo de la Cumbre Climática de Madrid, 2019 (UNFCCC, 2021a). De los tres combustibles fósiles, el carbón es el mayor emisor ascendiendo a cerca de 16 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> en el 2018, seguido por el petróleo cuya utilización a nivel mundial produjo emisiones de 12.5 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> en el 2018 y en tercer lugar el gas natural con emisiones en 2018 cercanas a 7.5 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> (La Vanguardia, 2019). Dado lo anterior, es muy relevante comprender la industria mundial del petróleo, sus valiosos productos derivados indispensables para la vida cotidiana de las sociedades actuales y, asimismo, sus efectos negativos sobre el Cambio Climático.

## EL PETRÓLEO

### ¿Qué es el Petróleo?

El petróleo es un aceite mineral menos denso que el agua, de un color oscuro y olor característico (Foro de la Industria Nuclear Española, 2021). Se produce en el interior de la tierra, por transformación de la materia orgánica acumulada en sedimentos del pasado geológico y puede acumularse en trampas geológicas naturales. Se tarda aproximadamente 500 millones de años en lograr su creación. Está formado por una mezcla de hidrocarburos acompañados de azufre, oxígeno y nitrógeno en cantidades variables. Con alguna frecuencia se encuentra en manantiales o charcas, aunque predomina su presencia en el subsuelo a una gran profundidad y se extrae mediante perforación de pozos (Ambientum, 2021). Anteriormente denominado aceite de roca o aceite mineral, el petróleo sin refinar se conoce en la actualidad como petróleo crudo. El

petróleo se clasifica según su densidad en liviano, intermedio y pesado, según grados API (American Petroleum Institute), siendo el liviano el de mayor calidad (Ecopetrol S.A., 2014).

## **¿Cómo se explora?**

Actualmente existen numerosos procesos de exploración, que de acuerdo con PetroPerú S. A. (2022) se destacan los siguientes procesos:

### ***Exploración Geológica***

Sirve para identificar inicialmente zonas potenciales para la exploración del petróleo. El geólogo analiza las capas superficiales de la corteza terrestre, tipos de roca y su dureza, porosidad, contenido orgánico, edad y estructura (PetroPerú S.A., 2022).

### ***Exploración Geofísica***

Se basa en que las rocas que constituyen la corteza terrestre poseen diversas propiedades físicas que afectan la propagación de ondas, la composición de las rocas y el valor de la gravedad. Estas propiedades permiten calcular la constitución y profundidad de las rocas del subsuelo.

### ***Exploración Sísmica***

Mediante explosivos y vibraciones se obtienen gráficos que producen ondas sísmicas y dan información de la forma y profundidad de los estratos en el subsuelo (Figura 1).

### ***Exploración Gravimétrica***

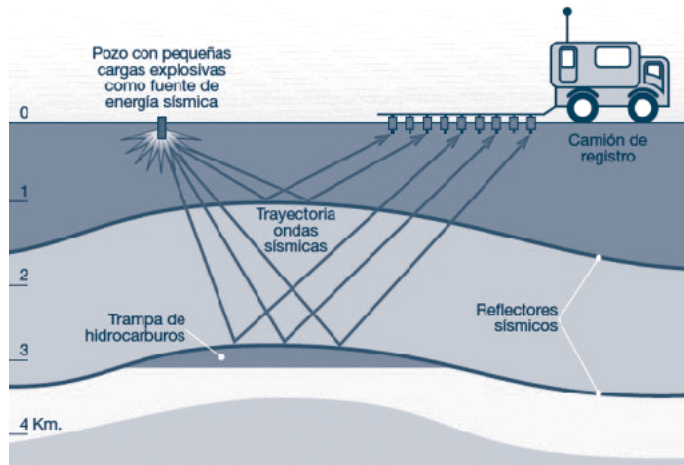
Mide las variaciones en la atracción de gravedad de las rocas en el subsuelo como producto de la distribución de masa presente en el área bajo análisis, complementando la información sobre la naturaleza del subsuelo (Figura 2).

### ***Exploración Magnética***

Identifica la posible presencia de petróleo midiendo con un magnetómetro las fluctuaciones del campo magnético del área de exploración.



**FIGURA — 1**  
Exploración sísmica



Fuente: tomado de Sector Electricidad (2014)

**FIGURA — 2**  
Exploración gravimétrica



Fuente: tomado de Griem (2016)

### Exploración Geoquímica

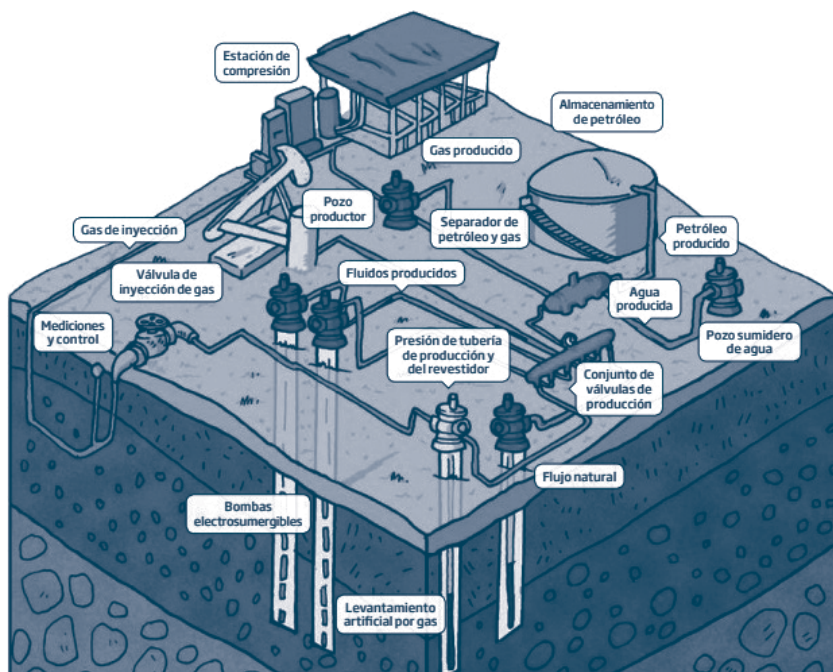
Estudia la composición química de las rocas superficiales y de las emanaciones de petróleo. Sin embargo, a pesar del uso de estas técnicas, la existencia de yacimientos petroleros no está asegurada, por lo que se hace necesario perforar para la comprobación.

### ¿Cómo se extrae?

Una vez que se ha detectado una zona con presencia de petróleo se procede a hacer una perforación de cierta profundidad para llegar hasta él, que puede ser de hasta 7.000 metros. Existen diferentes métodos para la extracción del petróleo (figuras 3 y 4): gas lift o extracción con inyección de gas, bombeo centrífugo sumergido o extracción con inyección de agua y bomba mecánica con astas.

**FIGURA — 3**

Extracción de petróleo – Central petrolera

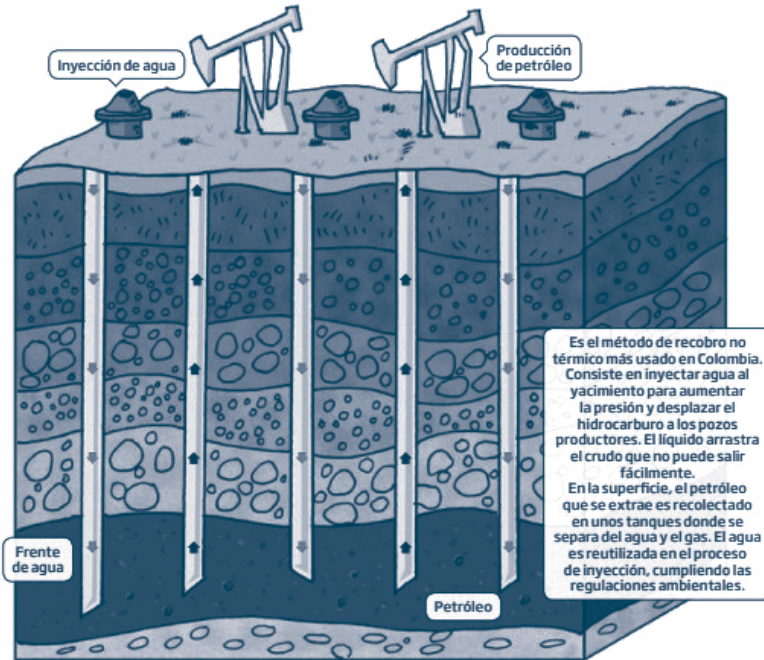


Fuente: tomado de Ecopetrol S.A. (2014)

**FIGURA — 4**

**Extracción de petróleo por Inyección de agua**

Inyección de agua



Fuente: tomado de Ecopetrol S.A. (2014)

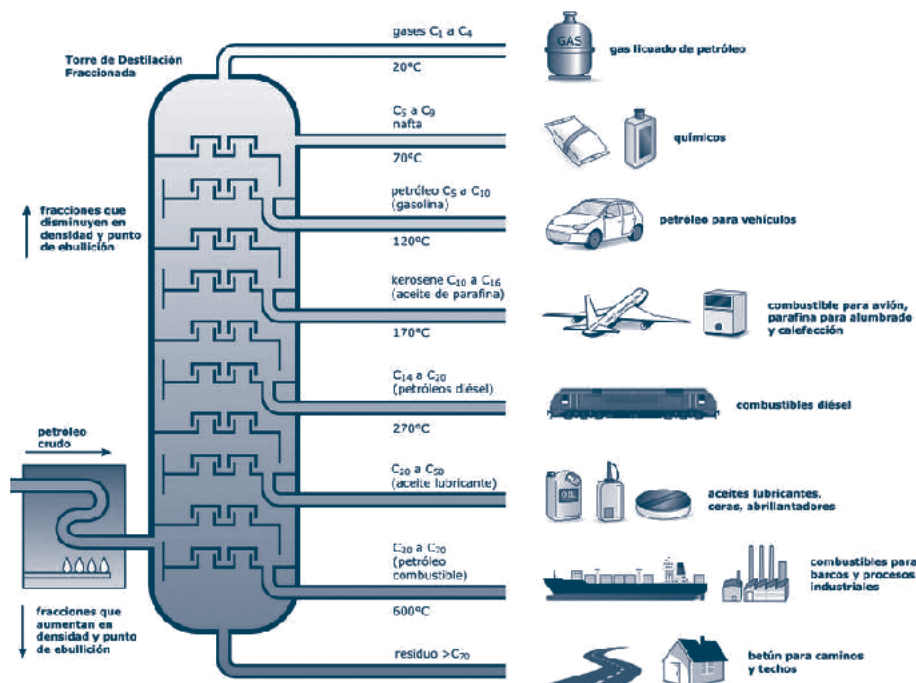
### ¿Cómo se transporta?

Actualmente, cerca de la totalidad del petróleo se transporta, bien por vía marítima, en buque-tanques que pueden contener hasta 500.000 toneladas (los llamados superpetroleros), o por vía terrestre a través de los oleoductos o *pipe-lines*, conductos de más de un metro de diámetro y centenares de kilómetros de longitud, a través de los cuales es impulsado el aceite mineral. Por los mares y océanos del planeta, navega constantemente una flota de petroleros con una capacidad de más de 250 millones de toneladas de crudo de petróleo. Se pueden transportar diferentes tipos de petróleo: pesado, ligero y de diferente calidad, desde las estaciones de transferencia a las refinerías, y del combustible refinado del petróleo, diésel y gasolina a diferentes lugares del país a través de unos tubos más pequeños denominados poliductos.

## ¿Cómo se refina?

El refino se inicia con una destilación, una operación que se realiza en una torre de más de 50 m de altura, dividida en diferentes compartimentos horizontales, en la que se introduce el petróleo previamente calentado hasta los 400°C. Continuamente, entra el crudo de petróleo y salen los diferentes productos destilados según sus puntos de ebullición (Figura 5). Con esta operación, no se acaba el proceso de refino, sino que, posteriormente, los compuestos obtenidos son tratados en otras unidades de proceso, donde se modifica su composición molecular o se eliminan los compuestos no deseados, como el azufre. Los cinco procesos básicos de la refinación de petróleo son: separación mediante la destilación o absorción; craqueo: rompimiento de grandes cadenas de moléculas en moléculas más pequeñas; reformación: redistribución de la estructura

**FIGURA — 5**  
Proceso de Refinamiento del petróleo



Fuente: tomado de Oiltanking (2022)

molecular; combinación: combinación de moléculas más pequeñas con el fin de obtener moléculas más grandes; y tratamientos: remoción química de los contaminantes.

### ¿Cómo se entrega al consumidor final?

Se entrega en pipas de gas para los hogares, vías de gas natural por tuberías, gasolina y Diésel para vehículos, cera para velas, asfalto para construir las carreteras, el coque del petróleo para generar energía calórica, aceites para maquinaria como vehículos, motos, aviones, motores de distintas clases y muchísimas presentaciones más.

## CADENA PRODUCTIVA DE LA ENERGÍA GENERADA UTILIZANDO EL PETRÓLEO Y SUS EMISIONES DE GEI

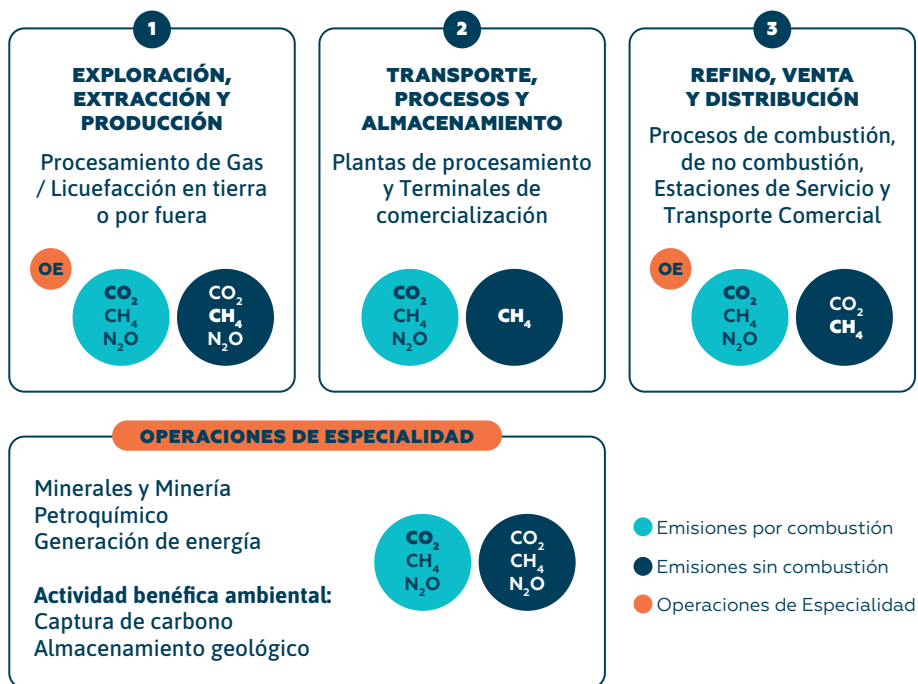
La energía generada a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) es de dos tipos: térmica y eléctrica. Los GEI generados en las distintas etapas de la cadena productiva del petróleo para la generación de energía eléctrica son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), Hidrofluorocarbonados (HFC), Clorofluorocarbonados (CFC) y Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ). Las etapas del proceso productivo del petróleo y sus derivados se dividen en: exploración, extracción y producción; transporte, procesos y almacenamiento; y refino, venta y distribución. La Figura 6 ilustra los GEI emitidos en cada etapa.

En la primera etapa (*exploración, extracción y producción*) se emite  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , siendo el  $\text{CO}_2$  el de mayor emisión. Las principales fuentes de emisión durante la exploración son los escapes de motores de combustión interna utilizados en operaciones de perforación, la ventilación o quema de gas asociado con pruebas o terminaciones de pozos, emisiones de fuentes móviles asociadas con equipo usado en el sitio del pozo, y transporte de personal y equipo hacia el sitio. Si se dispone de gas natural a presiones suficientemente altas, se puede utilizar como fuerza motriz para perforar pozos, o para limpiar los sedimentos que se acumulan durante la perforación o para descargar agua del pozo. En este caso, el  $\text{CH}_4$  se emitirá a la atmósfera. La boca del pozo puede tener un respiradero para liberar los gases  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .

En la segunda etapa (*transporte, procesos y almacenamiento*) se emiten  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$ , en la separación de petróleo/gas, la separación y recolección de petróleo/agua y el almacenamiento. Las fugas de equipos son una fuente de emisiones de  $\text{CH}_4$ . En la tercera etapa (*refino, venta y distribución*) se emiten  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$ . Las operaciones en alta mar son similares a las operaciones en tierra. Las configuraciones de equipos y procesos son las mismas, aunque las emisiones de  $\text{CH}_4$  fugitivas y ventiladas son generalmente más pequeñas en alta mar que en tierra, debido a los espacios reducidos en las plataformas y un mayor énfasis en la seguridad del personal y la prevención de riesgos y pérdidas. Las operaciones en alta mar generan emisiones de combustión del transporte de equipos y personal hacia y desde las plataformas en barcos de suministro y helicópteros.

**FIGURA — 6**

Emisiones de GEI de la industria petrolera en cada etapa de su Cadena Productiva



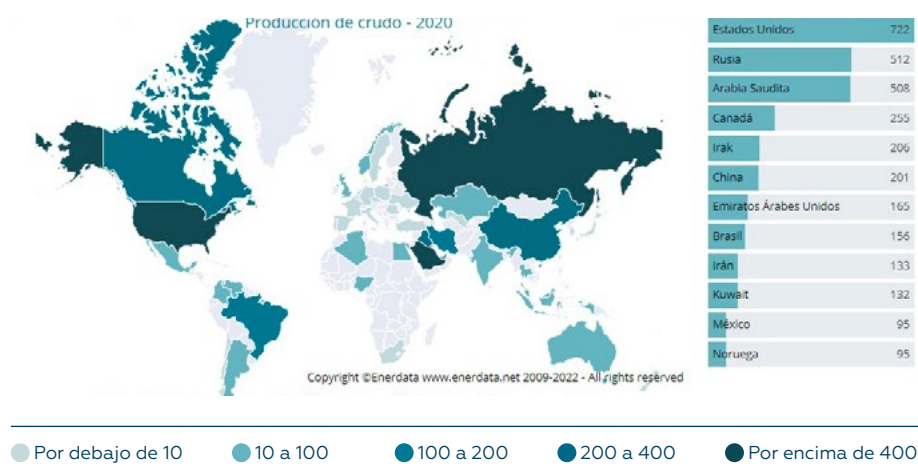
Fuente: adaptado a partir de American Petroleum Institute (API, 2019)

Además, las compañías de petróleo y gas natural generan emisiones de Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ), Perfluorocarbonos (PFC) y de Hidrofluorocarbonos (HFC). El  $\text{SF}_6$ , durante la operación de equipos de transmisión eléctrica o como gas trazador para detectar fugas en tuberías; los HFC por equipos de aire acondicionado, de refrigeración y de extinción de incendios; y los PFC en la construcción de equipos con aluminio.

## PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PETRÓLEO

A nivel mundial existen países con los más altos niveles de producción de petróleo, debido a los grandes yacimientos petrolíferos ubicados en su territorio geográfico, la tecnología existente para generar una mayor extracción, su innovación en procesos extractivos/productivos y por la demanda energética de su población. La Figura 7 muestra los 12 países mayores productores de petróleo en el 2020, siendo los tres primeros **Estados Unidos**, el mayor productor, con 722 Mt/año, seguido por **Rusia** con 512 Mt/año y **Arabia Saudita** con 508 Mt/año, país que es además el primer exportador y el segundo en reservas de este hidrocarburo en el mundo (Figura 8) (Statista, 2017, 2022). Entre estos 12 países productores,

**FIGURA — 7**  
Los principales países productores de petróleo 2020



Fuente: tomado de Enerdata (2022)

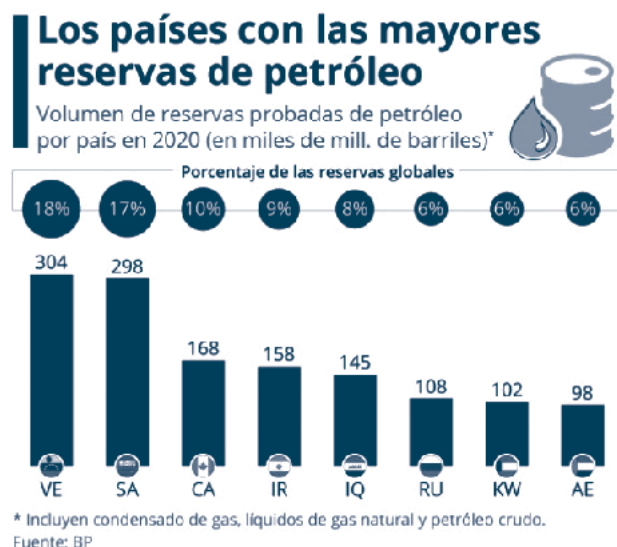


seis de ellos (China, Estados Unidos, Rusia, Irán, Arabia Saudita y Canadá) aparecen entre los 12 países con mayores emisiones de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera en el 2020 (figura 9) reflejando que la industria mundial del petróleo y sus derivados es altamente emisora de GEI, especialmente de  $\text{CO}_2$ .

En la América Latina, según la Administración de Información Energética de los Estados Unidos (EIA, citado en Traders.Studios, 2021), los principales productores de petróleo son: **Brasil, México y Venezuela** representando el 75% de la producción regional seguidos por **Colombia y Ecuador** con los siguientes niveles de producción: Brasil: 3,67 millones de bpd, México: 2,82 millones de bpd, Venezuela: 900 mil de bpd, Colombia: 715 mil de bpd y Ecuador: 600 mil de bpd. Estos datos muestran un panorama favorable respecto a los yacimientos petrolíferos ubicados en su territorio geográfico, la tecnología, la innovación y la inversión para poder abastecer la demanda energética de este hidrocarburo. Pero también indican, como se ilustra en la Figura 10, que México y Brasil fueron los mayores emisores de  $\text{CO}_2$  de América Latina en 2018 y los que más incrementaron sus emisiones entre 2008 y 2018.

**FIGURA — 8**

Los países con las mayores reservas de petróleo 2020



statista

Fuente: tomado de Statista (2022)

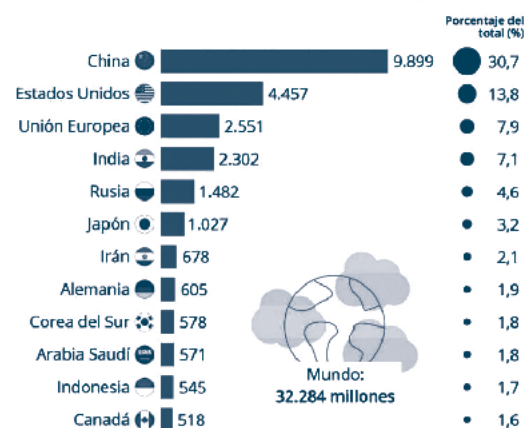


**FIGURA — 9**

Seis de los mayores productores de petróleo, son altos emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en 2020

## Los países que más contaminan el aire

Países/regiones con mayor volumen de emisiones de dióxido de carbono en 2020 (mill. de toneladas)



Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2021

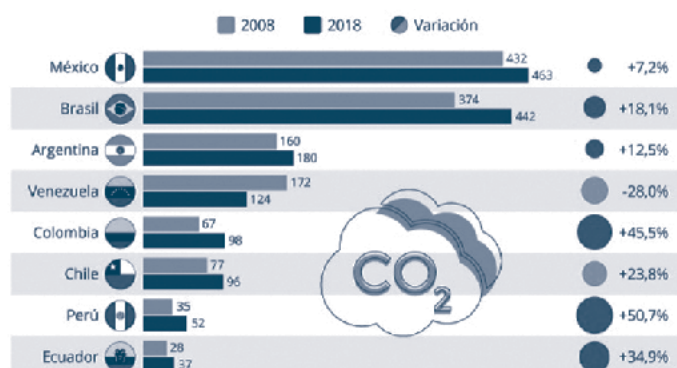


statista

Fuente: tomado de Statista (2021) a partir de British Petroleum (BP, 2021)

**FIGURA — 10**

Brasil y México, los mayores productores de petróleo en América Latina 2021, fueron los mayores emisores de CO<sub>2</sub> entre 2008 y 2018



\* Países seleccionados. Refleja únicamente las emisiones a través del consumo de petróleo, gas y carbón para actividades relacionadas con la combustión.  
Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2019

statista

statista

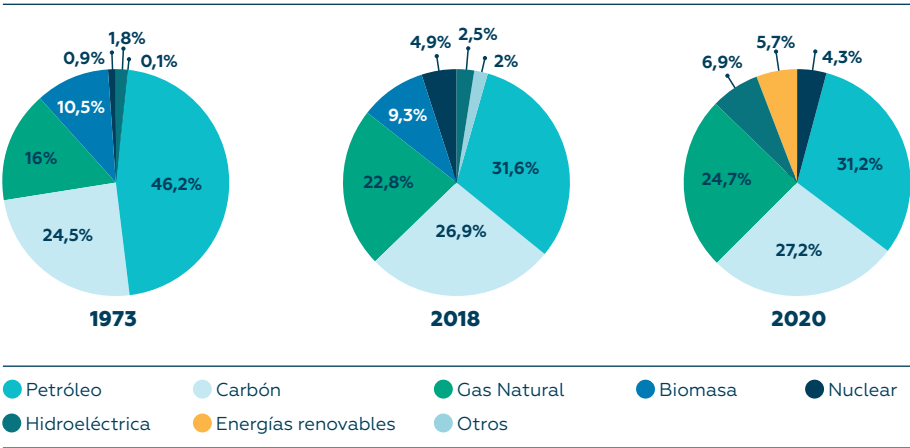
Fuente: tomado de Statista (2019) a partir de BP (2019)

MATRIZ ENERGÉTICA: MUNDIAL Y DE LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PETRÓLEO

Matriz Energética mundial entre 1973 y 2020

La Figura 11 muestra que entre 1973 y 2020 las fuentes de energía predominantes a nivel mundial han sido los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) reduciendo levemente su participación de 86.7% en 1973 a 81.3% en 2018, y creciendo levemente a 83.1% en el 2020. En este periodo (1973-2020) el petróleo ha sido la mayor fuente energética disminuyendo su participación de 46.1% (1973) a 31.2% (2020).

FIGURA — 11  
Matriz energética mundial 1973 y 2020



Fuente: adaptado de RunRun Energético (2020) y Sánchez (2021)

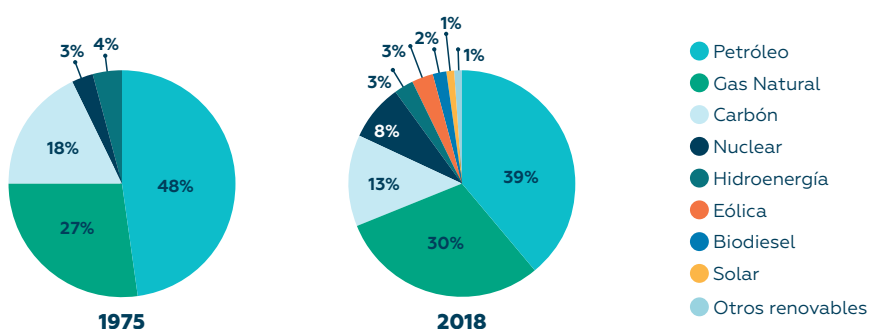
Matriz energética de los principales productores de Petróleo

Estados Unidos (Figura 12) ha disminuido el uso de petróleo pasando de 48% a 39% entre 1975 y 2018; de carbón pasando de 18% a 13% en el mismo periodo, pero ha aumentado el uso del gas natural de 27% a 30%, incrementando la participación de fuentes de energías renovables (hidroenergía, eólica, solar, biodiésel, nuclear entre otras) de 7% en 1975 a 18% en 2018. Para Rusia, su principal fuente energética es el gas natural, aumentando su participación en la matriz energética de 49%

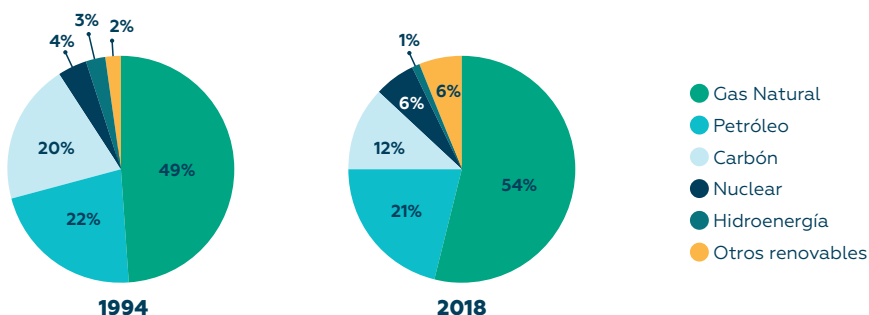
(1994) a 54% (2018); sin embargo, es el segundo productor mundial de petróleo, cuyo uso como fuente energética se ha mantenido estable en 22% (1994) y 21% (2018).

**FIGURA — 12**  
**Matriz energética de Estados Unidos y Rusia**

**MATRIZ ENERGÉTICA DE ESTADOS UNIDOS – 1975 A 2018**



**MATRIZ ENERGÉTICA DE RUSIA – 1994 A 2018**



Fuente: adaptado de Energy Information Administration (2019) y BP (2019)

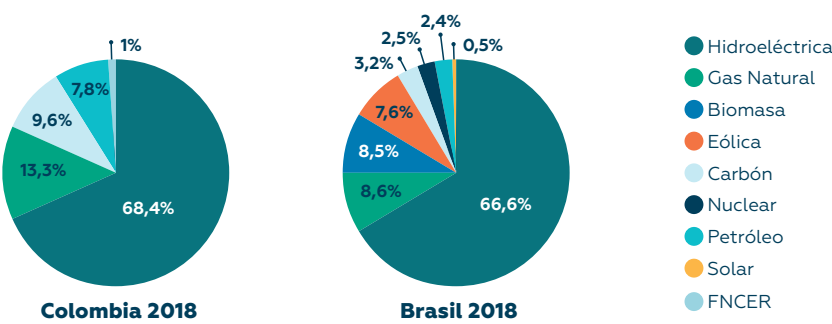
**Matriz energética de los principales productores latinoamericanos de Petróleo**

Brasil y Colombia, siendo el primero y el cuarto productores latinoamericanos de petróleo, tienen una participación baja en su matriz energética 2018 (2.4% y 7.8% respectivamente), siendo su fuente de energía predominante la hidráulica (66.6% y 68.4% respectivamente). El uso de

energías renovables en Brasil (19,1%) es mucho más alto que en Colombia (1%) (Figura 13).

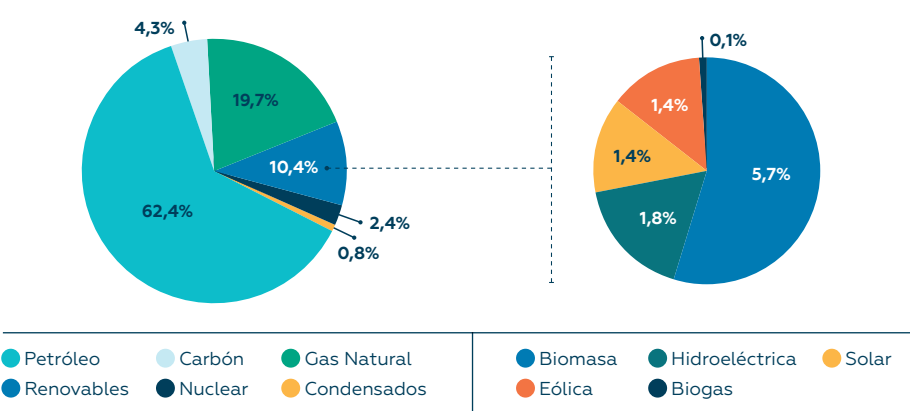
México, por el contrario, depende en un 86.4% de combustibles fósiles como fuente de energía, predominando el petróleo (62.4%) seguido por gas natural (19.7%) y carbón (4.3%). El uso de energías renovables como geoenenergía, solar eólica, hidráulica, biomasa y biogás representan el 10,4% restante (Figura 14).

**FIGURA — 13**  
Matriz energética de Brasil y de Colombia 2018



Fuente: adaptado de Canal Energía (2019) y tomado de Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019)

**FIGURA — 14**  
Matriz energética de México en 2018



Fuente: adaptado de Diálogo Político (DP, 2020)

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA PARA REDUCIR GEI GENERADAS POR LA INDUSTRIA PETROLERA

### Política internacional

*El Protocolo de Kioto*, acuerdo firmado en 1997 en Kioto, Japón, por más del 55% de los países del mundo y más del 55% de los países industrializados, liderado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, su sigla en inglés) sigue vigente hasta el presente. Compromete a los países industrializados bajo penalidad económica u otras alternativas, a reducir en determinada proporción –dependiendo del período de cumplimiento (2008-2012 y 2013-2020) – sus emisiones de GEI y a todos los países firmantes a lograr objetivos individuales, jurídicamente vinculantes, para reducir sus emisiones de GEI (IPCC, 2007, 2014, 2021).

Según datos de la reunión anual de la UNFCCC 2008, el uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) es la principal fuente de emisiones de GEI causantes del cambio climático (UNFCCC, 2008). Adicionalmente, en la última Cumbre Climática realizada en Glasgow, Escocia, entre octubre 31 y noviembre 13 del 2021, se confirmó con los datos científicos presentados por el sexto informe del IPCC que el uso de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI del mundo y se acordó reducir paulatinamente el uso del carbón y petróleo como fuentes energéticas (Acuerdos Cumbre Climática Glasgow, 2021, citado en Deutsche Welle, 2021). Si la comunidad internacional quiere lograr el objetivo del Acuerdo de París adoptado en 2015 de limitar el aumento de la temperatura media mundial desde el período preindustrial hasta el presente muy por debajo de los 2 °C, se hace necesario continuar con la exigencia y el control periódico a las empresas petroleras –tanto de países exportadores como importadores– de reducir sus emisiones de GEI o en su defecto de invertir en proyectos de energías renovables o en la reducción de emisiones en otros países.

### Política de Colombia

*Incentivos a la Industria Petrolera colombiana para reducir emisiones de GEI*: el Estado Colombiano da incentivos a aquellas compañías petroleras que realicen inversión, innovación y descubrimiento de energías limpias y la reducción de los GEI en el territorio colombiano. Estos incentivos son los siguientes:

### ***Deducción Especial En La Determinación Del Impuesto Sobre La Renta***

i) Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014). ii) Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015 (Congreso de la República de Colombia, 2015). Los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión para la producción y utilización de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones. El valor para deducir anualmente no puede ser superior al 50% de la renta líquida del contribuyente.

### ***Depreciación Acelerada***

Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014). Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015 (Congreso de la República de Colombia, 2015). Gasto que la ley permite que sea deducible al momento de declarar el impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.

### ***Exclusión De Bienes y Servicios De IVA***

Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014). Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015 (Congreso de la República de Colombia, 2015). Ley 1715 art. 12, Decreto 2143 Artículo 2.2.3.8.3.1. Por la compra de bienes y servicios, equipos, maquinaria, elementos y/o servicios nacionales o importados para desarrollo de proyectos en FNCE.

### ***Exención de Gravámenes Arancelarios***

Ley 1715 art. 13, Decreto 2143 de 2015 Arts. 2.2.3.8.4.1. (Congreso de la República de Colombia, 2015; 2014). Exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión de proyectos con FNCE.

Cada uno de los anteriores incentivos acotados tienen diferentes requisitos especiales para que puedan entrar en usufructo de las compañías, como a su vez, diferentes alcances, limitaciones y pérdidas de estos incentivos.

## CONCLUSIONES

El petróleo es el recurso natural no renovable más importante para los países industrializados y para muchos países en vía de desarrollo como lo demuestran los datos presentados en la presente investigación. Brinda una innumerable cantidad de subproductos que se emplean en la producción de bienes y servicios altamente diversificada, además de ser una de las principales fuentes de energía a nivel mundial, como lo muestra la Matriz Energética Mundial desde 1973 hasta 2018. A pesar de ello, la industria del petróleo afecta en gran medida al planeta Tierra, pues los distintos procesos de exploración, extracción y producción; transporte, procesos y almacenamiento; y refino, venta y distribución, generan altísimas emisiones de GEI que contribuyen a incrementar el Cambio Climático Global y sus efectos adversos.

Debido a lo anterior, la UNFCCC ha generado políticas internacionales para controlar y disminuir las emisiones de GEI en el mundo, exigiendo su reducción por parte de las diversas industrias generadoras de GEI, como son las de combustibles fósiles, en particular la Industria mundial del Petróleo e incentivando la adopción de energías renovables. Adicionalmente, promueve medidas cada vez más estrictas de seguridad y control en la explotación y transporte del petróleo y sobre el uso racional de la energía y sus productos derivados. Así, la política mundial busca solucionar más el problema ambiental más grave que actualmente afronta el mundo y la sociedad: El Cambio Climático Global.

## REFERENCIAS

- AMBIENTUM.** (2021). *El petróleo*. [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/energia/el\\_petroleo.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/el_petroleo.asp)
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (26 de marzo de 2019). *La matriz energética de Colombia se renueva*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- BRITISH PETROLEUM [BP].** (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>

**BRITISH PETROLEUM [BP].** (2021). *BP Statistical Review of World Energy 2021* | 70th edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf>

**CANAL ENERGIA.** (2019). *BEN: oferta interna de energia elétrica subiu 1,7% em 2018*. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53118732/ben-oferta-interna-de-energia-eletrica-subiu-17-em-2018>

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2015). *DECRETO 2143 DE 2015: Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía (DECRETO 2143 DE 2015)*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

**DEUTSCHE WELLE.** (13 de noviembre de 2021). *COP26 adopta finalmente un acuerdo sobre cambio climático*. <https://www.dw.com/es/cop26-adopta-finalmente-un-acuerdo-sobre-cambio-climatico/a-59811913#:~:text=Casi 200 países reunidos en, calentamiento global 1%2C5 °C>

**DIÁLOGO POLÍTICO [DP].** (2020). *El sector energético en México, una lucha entre el pasado y el futuro*. <https://dialogopolitico.org/actualidad/el-sector-energetico-en-mexico-una-lucha-entre-el-pasado-y-el-futuro/>

**ECOPETROL S.A.** (2014). *El petróleo y su mundo*. <https://www.ecopetrol.com.co/wps/wcm/connect/aafcca72-30ac-4320-9294-177abfcde944/el-petroleo-y-su-mundo-comprimido.pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1588040270272#:~:text=Para poner a producir un, como “tubería de producción”>

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, E.** (2019). *Balanço Energético Nacional 2019: ano base 2018*. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN 2019 Completo WEB.pdf>



- ENERDATA.** (2022). *Producción de crudo*. <https://datos.enerdata.net/petroleo-crudo/datos-produccion-energia-mundial.html>
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.** (2019). *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- FORO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR ESPAÑOLA, F. N.** (2021). *¿Qué es el petróleo y qué usos tiene?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-petroleo-y-que-usos-tiene/>
- GRIEM, W.** (2016). *Introducción a la gravimetría. Apuntes de Geología Métodos Geofísicos - II*. <https://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/ggcap01e.htm#gravimetria-ok>
- IPCC.** (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)
- IPCC.** (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- LA VANGUARDIA.** (2019). *Emisiones globales anuales de CO2 de origen fósil, 2000-2018: tasas anuales de crecimiento de 2013 a 2018*. <https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20191204/472038796221/cumbre-del-clima-cop25-carbon-proyect.html#foto-2>
- OILTANKING.** (2022). *El Proceso de Refinación de Petróleo. Glosario*. <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/detalles/term/el-proceso-de-refinacion-de-petroleo.html>
- PETROPERÚ, S. A.** (2022). *Exploración Petrolera*. <https://museo.petroperu.com.pe/exploracion-petrolera/>
- RUNRUN ENERGÉTICO.** (2020). *LA ERA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES CONTINUARÁ POR VARIAS DÉCADAS*. <https://www.runrunenergetico.com/la-era-de-los-combustibles-fosiles-continuara-por-varias-decadas/>

**SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>

**SECTORELECTRICIDAD, S.** (2014). *La sismica en la exploración de hidrocarburos*. <https://www.sectorelectricidad.com/9588/la-sismica-en-la-exploracion-de-hidrocarburos/>

**STATISTA.** (2017). *Los mayores productores de crudo*. <https://es.statista.com/grafico/7840/los-mayores-productores-de-crudo/>

**STATISTA.** (2019). *La contaminación del aire en América Latina*. <https://es.statista.com/grafico/20195/emisiones-de-co2-en-paises-latinoamericanos-seleccionados/>

**STATISTA.** (2021). *Los países que más contaminan el aire*. [https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/?utm\\_source=Statista+Newsletters&utm\\_campaign=caca06f9a6-All\\_InfographTicker\\_daily\\_ES\\_AM\\_KW16\\_2021\\_TH&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_662f7ed75e-caca06f](https://es.statista.com/grafico/23395/paises-regiones-con-mayor-volumen-de-emisiones-de-dioxido-de-carbono/?utm_source=Statista+Newsletters&utm_campaign=caca06f9a6-All_InfographTicker_daily_ES_AM_KW16_2021_TH&utm_medium=email&utm_term=0_662f7ed75e-caca06f)

**STATISTA.** (2022). *Venezuela lidera el ranking mundial de reservas de petróleo*. <https://es.statista.com/grafico/16857/paises-con-mayor-cantidad-de-reservas-de-petroleo/>

**TRADERS.Studios.** (2021). *Los mayores productores de petróleo de América Latina*. <https://traders.studio/los-mayores-productores-de-petroleo-de-america-latina/>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2008). Informe anual del Comité de Cumplimiento a la Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el Protocolo de Kyoto. *Poznań Climate Change Conference - December 2008*. <https://unfccc.int/es/node/5329>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>

## CAPÍTULO 3

# La industria automotriz

CHRISTIAN CONTRERAS  
MARÍA ALEJANDRA HOYOS  
MARÍA MERCEDES POSADA  
JHON STEVEN RODRÍGUEZ  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

La presente investigación describe el nacimiento de la Industria Automotriz en la Revolución Industrial (1750-1913) y su desarrollo hasta la actualidad. Analiza y cuantifica las emisiones de GEI en cada una de las etapas de su cadena productiva desde la extracción de materiales hasta fabricación y ensamblaje. Presenta los principales países productores y exportadores, enfatizando el caso de Estados Unidos, la Unión Europea y países asiáticos líderes. Analiza la transición que ha realizado la industria automotriz mundial pasando de su dependencia de gasolina y Diésel a vehículos eléctricos, a gas e híbridos. Finalmente, presenta las decisiones de política internacional y colombiana para reducir emisiones de GEI generadas por este sector.



## INTRODUCCIÓN

La industria automotriz se encarga del diseño, desarrollo, fabricación, ensamblaje, comercialización y venta de automóviles (Roberto, 2008). Se entiende por Automóvil, una máquina, vehículo que es capaz de generar su propia fuerza motriz para funcionar y que se desplaza guiado por alguien (Real Academia Española [RAE], 2001). Incluye vehículos ligeros, camiones, autobuses, furgonetas, motocicletas y otros vehículos móviles. La industria automotriz a nivel mundial tiene un gran tamaño y su contribución a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) son una amenaza al medio ambiente que debe ser disminuido antes que el daño sea irreversible. El total de emisiones de GEI de la industria automotriz a nivel mundial a través de su cadena productiva en sus tres fases: 1) la extracción y procesamiento de materias primas para la producir los materiales elementales con los cuales se producirán las piezas y componentes de los vehículos; 2) la fabricación de los componentes, paneles de control, equipos eléctricos y electrónicos, neumáticos, entre otras partes que serán suministradas a las unidades montadoras; y 3) el ensamblaje de los vehículos, donde se reúnen todos los elementos producidos en las dos etapas anteriores, equivalen al 9% del total mundial (Fernández, 2019).

Este estimado no incluye las emisiones de GEI generadas por un vehículo desde que es adquirido y utilizado por su consumidor hasta la “chatarización” del vehículo al final de su ciclo de vida, emisiones que llegan a ser muy elevadas dependiendo del tipo de vehículo, el tipo de combustible que utilice y años de su fabricación. De acuerdo con The European Automobile Manufacturers’ Association ACEA, su sigla en español, (2020), los automotores se clasifican en *Diésel*: componen un 28% del mercado y emiten 308.14 g/km de CO<sub>2</sub>-eq; *Híbridos*: componen un 19% del mercado y emiten 217.47 g/km de CO<sub>2</sub>-eq y *Eléctricos*: componen un 2% del mercado y no emiten GEI, aunque en el proceso de producción se pueden producir hasta 17 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq dependiendo del tamaño de la batería. Es por esto que es de extrema importancia analizar esta industria frente a sus emisiones de GEI, generadoras del Cambio Climático, y apoyar y adoptar medidas que disminuyan su contaminación a la atmósfera.

## HISTORIA

### La Máquina de Vapor

La Industria Automotriz inicia con el invento de la máquina de vapor al inicio de la Revolución Industrial en Inglaterra, entre 1750 y 1780 (Newcomen, 1712, inventor; y Watt, 1769 la perfeccionó y patentó el invento). La máquina de vapor se accionaba mediante la quema del carbón para el calentamiento del agua, transformando herméticamente el agua en vapor para producir energía mecánica. Por la quema del carbón se generaba contaminación atmosférica por la propagación de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), Monóxido de Carbono (CO), Óxido de Azufre ( $\text{SO}_3$ ) y Óxido de Nitrógeno (NO). Y contaminación de suelos por los residuos producto de la minería del carbón. La Industria Automotriz se expande desde Inglaterra a Europa Occidental, Estados Unidos y Canadá entre 1850 y 1914, inicio de la Primera Guerra Mundial (Granados Erazo, 2010).

### Guerras Mundiales

Después de la creación de la industria automotriz se produjeron dos grandes conflictos: La Primera y Segunda Guerras Mundiales (1914-1919 la primera y 1939-1945 la segunda). En ambas la industria automotriz se vio inmersa. Después de la Primera Guerra Mundial, los automóviles cambiaron por completo sus diseños y en 1920 (los años veinte) la industria se vio afectada por la Gran Depresión (Esquire México, 2020).

### La Postguerra

A partir de 1950, todas las marcas comenzaron a ampliar su segmento de mercado. Volkswagen inició un proceso de exportación hacia los Estados Unidos con su modelo Beetle. Más tarde esta expansión a nivel internacional incluyó otras opciones como Toyota y Nissan. Tiempo más tarde en los años 1.970, y conforme mejoraba la tecnología, no se iba aplicando únicamente en la propulsión de los automóviles sino también en sus sistemas de seguridad. Fue hasta los años 1.990 cuando la industria automotriz se consolidó con más innovaciones y avances tanto en confort como en reducción de emisiones de GEI (Esquire México, 2020).

## Actualidad

Con los avances tecnológicos cada vez más acelerados, estamos en una época moderna en cuanto a la industria automotriz, su tecnología y evolución son cada vez mayores. Los nuevos automóviles se ensamblan con un enfoque tecnológico pensando en disminuir las emisiones de GEI. Las nuevas propulsiones eléctricas están ayudando al planeta en la lucha de la combustión interna.

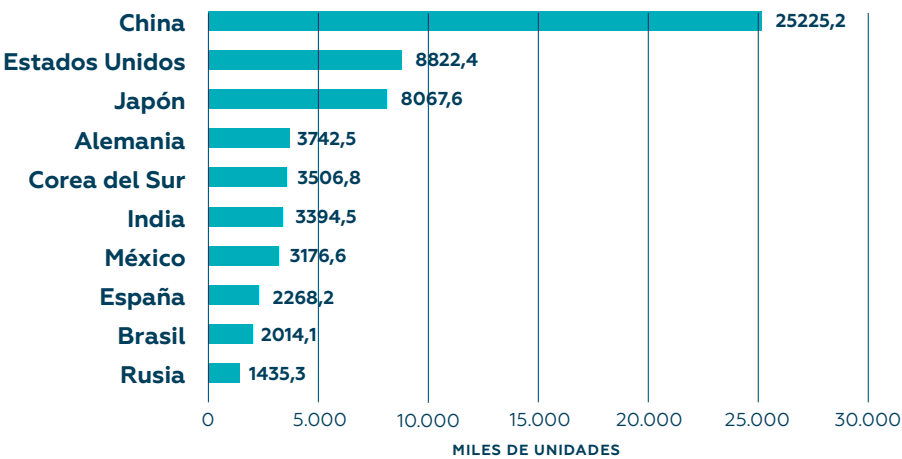
## CADENA PRODUCTIVA DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ Y SUS EMISIONES DE GEI:

La cadena productiva de esta industria se compone por tres grandes bloques de actividades con vinculaciones territoriales diferentes: *la extracción y procesamiento de materias primas*, para la producir los materiales elementales con los cuales se producirán las piezas y componentes de los vehículos; *la fabricación de los componentes*, paneles de control, equipos eléctricos y electrónicos, neumáticos, entre otras partes que serán suministradas a las unidades montadoras y *el ensamblaje* de los vehículos propiamente dicho, donde se reúnen todos los elementos producidos en las etapas anteriores. Adicionalmente, la cadena productiva se complementa con dos conjuntos de actividades, que se refieren, por un lado, a las tareas de coordinación y administración central de la producción y, por otro, a la investigación y desarrollo y a la concepción y diseño de los nuevos modelos (Cortegiano, 2000).

## Porcentaje de GEI que se atribuye a la cadena productiva de la industria automotriz hasta el ensamblaje

Las emisiones de GEI de este sector equivalen al 9% del total a nivel mundial (Fernández, 2019). En la Figura 1 se pueden observar los 10 países que más producen automóviles en el mundo. Por otro lado, la Tabla 1 presenta las marcas de coches que más contaminan en el mundo, desde su grupo de industrias fabricantes hasta sus marcas específicas.

**FIGURA — 1**  
Principales países productores de la Industria Automotriz en 2020



Fuente: adaptado de Statista (2021)

**TABLA — 1**  
Las marcas de vehículos que más contaminan

FABRICANTES	MARCAS	EMISIONES DE CO <sub>2</sub> (MT)
Grupo Volkswagen	Audi	582
	SEAT	
	Skoda	
	BMW	
Renault-Nissan Alliance	Renault	577
	Nissan	
	Mitsubichi Motors	
Toyota	Toyota	562
	Lexus	
General Motors	Chevrolet	530
	GMC	
Hyundai-Kia	Hyundai	401
	Kia	

Fuente: adaptado de Fernández (2019) a partir de Chinchetru (2019)



### **¿Cómo se calculan las emisiones de GEI estimadas en CO<sub>2</sub>-eq a través de toda la cadena de producción de un automóvil hasta llegar al ensamblaje?**

Teniendo en cuenta el estudio del “Cálculo de la huella de Carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis de los ciclos de vida”, para el cálculo de la huella de carbono, se utiliza el estándar internacional PAS:2050 (Publicly Available Specification). Es un método específico para el cálculo de las emisiones de GEI generadas a lo largo del ciclo de vida de un producto. Con el método PAS:2050 se debe realizar un mapa de flujo para cada uno de los productos a analizar (Quintana Díez, 2018).

El segundo paso para el cálculo de la huella de carbono es realizar una lista de materiales, debido a que la posibilidad de aplicar dichos modelos depende del vehículo que se esté analizando. Es necesario desarrollar una lista de componentes y procesos precisa. Para ello se clasifican los vehículos y a partir de ello se obtienen los porcentajes que utilizan de cada material en sus procesos productivos. Los vehículos los denominaremos de la siguiente forma: ICEV (vehículo de combustión interna), HEV (híbrido convencional), PHEV (híbrido enchufable) y EV (vehículo eléctrico). La Tabla 2 indica el porcentaje de cada material utilizado para la fabricación de cada tipo de vehículo. Se observa que independientemente del tipo de vehículo, el material utilizado es el mismo, aunque existen pequeñas variaciones en la utilización de hierro, aluminio fundido, cobre y vidrio.

El tercer paso consiste en la extracción de los materiales. Se empieza con el estudio de la primera parte del ciclo de vida de los vehículos. Se utiliza el estimado de las emisiones realizadas en la extracción de cada elemento y su tratamiento para poder ser utilizado como componente en un vehículo. La Tabla 3 muestra la lista de materiales que se usan para elaborar los vehículos y sus emisiones de CO<sub>2</sub>-eq.

**TABLA — 2**  
Porcentaje de cada material utilizado según el tipo vehículo

MATERIAL	ICEV	HEV Y PHEV	EV
Acero	61.7%	65.2%	66.6%
Hierro	11.1%	6%	2%
Aluminio Forjado	2.2%	1.8%	1.5%
Aluminio Fundido	4.7%	5.1%	5.5%
Cobre	1.9%	4.3%	4.5%
Plástico	11.2%	10.6%	12.1%
Vidrio	2.9%	2.9%	3.5%
Caucho	2.4%	1.9%	1.8%
Otros	1.9%	2.2%	2.7%
Total	100%	100%	100%

Fuente: adaptado de Quintana Díez (2018) a partir de Burnham et al. (2006) y Qiao et al. (2017)

**TABLA — 3**  
Emisiones de CO<sub>2</sub>-eq por material extraído

MATERIAL	EMISIONES
Acero	1,9 kg CO <sub>2</sub> eq/kg acero
Aluminio	8,937 kg CO <sub>2</sub> eq/kg aluminio
Hierro	1,425 kg CO <sub>2</sub> eq/kg hierro
Cobre	6,6 kg CO <sub>2</sub> eq/kg cobre
Caucho	0,66 kg CO <sub>2</sub> eq/kg látex
Vidrio	0,93 kg CO <sub>2</sub> eq/kg vidrio
PP	1,5 kg CO <sub>2</sub> eq/kg PP
PVC	2,2 kg CO <sub>2</sub> eq/kg PVC
PU	2,75 KG CO <sub>2</sub> eq/kg PU
HDPE	1,5 kg CO <sub>2</sub> eq/kg HDPE

Fuente: adaptado de Quintana Díez (2018)

¿Qué GEI generan las industrias que proporcionan los materiales?

El acero genera Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), el hierro genera Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>); Aluminio genera Perfluorocarbonados (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), el cobre genera Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), el plástico genera Metano (CH<sub>4</sub>) y Etileno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) y el vidrio genera Fluoruros. Se analizan las emisiones de cada GEI en la producción de cada modelo de vehículo, expresando el conjunto total de emisiones generadas en CO<sub>2</sub>-eq. La Tabla 4 ilustra las transformaciones que fueron tomadas en cuenta y la cantidad de CO<sub>2</sub>-eq que emiten. Esta tabla no contiene la totalidad de las transformaciones necesarias para componer un vehículo completo, pero sí las de mayor relevancia y frecuencia. En total todos suman el 92,7% de la totalidad de los procesos.

**TABLA — 4**  
Emisión de CO<sub>2</sub>-eq en la producción y transformación de los vehículos

PROCESO	EMISIONES
Estampación	0.31 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Moldeado de aluminio	3.08 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Moldeado de hierro	1.69 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Hilado de cobre	0.43 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Mecanizado	0.115 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Forjado	2.61 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Moldeado de caucho	0.74 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Moldeado por inyección	1.45 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Procesado espuma PU	0.27 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Moldeado por soplado	1.13 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Calandrado	0.36 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Extrusión	0.42 kg CO <sub>2</sub> -eq/kg material
Soldadura	62 kg CO <sub>2</sub> -eq
Pintura	268 kg CO <sub>2</sub> -eq
Iluminación, ventilación y calefacción	420 kg CO <sub>2</sub> -eq
Manejo de material	39.5 kg CO <sub>2</sub> -eq

Fuente: adaptado de Quintana Díez (2018) a partir de Qiao et al. (2017) y Sullivan et al. (2010)

## LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ A NIVEL MUNDIAL

En el contexto mundial la industria automotriz ha presentado grandes cambios, tanto a nivel de innovación en la producción como en el nivel de demanda. Para las empresas manufactureras en esta industria esto ha implicado una necesidad de adaptarse a los cambios del mercado (Abeles et al., 2017), los cuales se pueden atribuir en gran medida a la alta dependencia de estos productos de los hidrocarburos y por la innovación de medios de transporte no convencionales como las bicicletas. Sin embargo, esta industria sigue teniendo un gran tamaño y su contribución a la emisión de GEI son una amenaza al medio ambiente que debe ser disminuido antes que el daño sea irreversible.

### Mercado mundial de vehículos ligeros

Este tipo de vehículo representa la parte más significativa de la industria automotriz, por lo que se da una idea clara de cuáles son las figuras internacionales de mayor importancia en este sector. China y Estados Unidos impulsan el sector en sus respectivos continentes. Existe una relación inversa entre el tamaño del mercado con el precio del combustible. De esta manera, programas enfocados a reducir el uso de los hidrocarburos serán primordiales para incentivar la transición a transporte de energía limpia.

### Transición en la producción de vehículos con energía basada en hidrocarburos a energías limpias

Una transición a energía limpia podría utilizar mecanismos de innovación para incentivar una sustitución de los hidrocarburos. Para tener en cuenta las alternativas de transporte que podrían hacer parte de esta transición, se presenta la contribución porcentual en el mercado automotriz de los vehículos según tipo de combustible que usan (ACEA, 2020): *Combustión Interna*, componen un 51% del mercado automotriz y emiten 349.52 g/km de CO<sub>2</sub>-eq; *Diésel*, componen un 28% del mercado y emiten 308.14 g/km de CO<sub>2</sub>-eq; *Híbridos*, componen un 19% del mercado y emiten 217.47 g/km de CO<sub>2</sub>-eq y *Eléctricos*, componen un 2% del mercado y no emiten GEI.

### La industria automotriz en Estados Unidos y en la Unión Europea

Estados Unidos es el segundo fabricante de vehículos del mundo. En el 2020, se fabricaron 8.822.399 vehículos, de los cuales el 78.16% fueron comerciales y el 21.84% para pasajeros (Expansión, 2020). Entre las 13

marcas de vehículos más emisoras de CO<sub>2</sub>-eq a nivel mundial mostradas en la Figura 3, se encuentran 5 de las producidas por Estados Unidos y sus socios como son Toyota, General Motors, Chevrolet, Hyundai y Nissan. Por el contrario, en la Unión Europea solo la marca Renault se encuentra dentro de la lista de más contaminantes. Esto sugiere que la transición de vehículos con energía proveniente de combustibles fósiles a aquellos con energía limpia será más difícil y lenta en Estados Unidos que en la Unión Europea (ACEA, 2020).

### **La industria automotriz en Colombia**

Se centra en la fabricación de autopartes, el ensamble de vehículos y la comercialización. En Colombia, el comercio de automóviles ha ido en aumento debido a que los bancos y las compañías que los comercializan dan facilidades de pago y créditos para su obtención, razón por la que este sector aportó el 1,5% del PIB colombiano en el 2018, siendo los carros y motos eléctricos los que han aportado el mayor incremento que se acerca al 266% en comparación con el 2017 (BBVA, s.f., citado en CVN, 2018). La Tabla 5 muestra las diez marcas más compradas en Colombia en el 2021 cubriendo a nivel nacional un 83% de la venta total. Las cuatro marcas de mayor cubrimiento son: Renault con 19.2% del mercado nacional, Chevrolet con un 13.8%, Mazda 9.6% y Nissan 8.1%. Es importante observar que las marcas Toyota, Suzuki, Ford y Kia han liderado las más altas ventas en vehículos híbridos y eléctricos haciendo parte de las diez marcas de vehículos híbridos más compradas en el 2021 (Tabla 6).

La Tabla 6 muestra las diez marcas de vehículos híbridos y eléctricos más compradas en Colombia en los años 2020 y 2021. El aumento entre el 2020 y el 2021, de 11.697 vehículos, que representó 1.9% de aumento, casi el doble de las ventas del 2020 se debe posiblemente a la disminución de las políticas de control del COVID-19 en el 2021. De las diez marcas presentadas todas aumentaron sus ventas, exceptuando la marca BYD que disminuyó del 7.8% en el 2020 a 2.1% en el 2021. Vale la pena resaltar que, la marca Suzuki, la segunda más vendida en el 2021 con 2.314 vehículos, no había ingresado en el mercado en el 2020 (Asociación Nacional de Movilidad Sostenible [Andemos], 2021b). Este crecimiento exponencial en la tabla refleja el cumplimiento de Colombia de sus compromisos al 2030 ante la Cumbre Climática de París 2015 en el sector transporte (Cancillería del Ministerio de Relaciones Exteriores, 2022).

**TABLA — 5**  
Las diez marcas de vehículos más compradas en Colombia 2021

RANKING 2021	MARCA	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Renault	48.032	19.2%
2	Chevrolet	34.624	13.8%
3	Mazda	23.947	9.6%
4	Nissan	20.179	8.1%
5	Toyota	19.131	7.6%
6	Kia	17.731	7.1%
7	Suzuki	15.062	6.0%
8	Volkswagen	14.019	5.6%
9	Ford	7.667	3.1%
10	Hyundai	7.194	2.9%
	Otros (20)	42.911	17.0%
Total		250.497	100%

Fuente: adaptado de Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (Andemos, 2021)

**TABLA — 6**  
Las diez marcas de vehículos híbridos más compradas en Colombia

RANKING 2021	MARCA	2020		2021	
		CANTIDAD	PORCENTAJE	CANTIDAD	PORCENTAJE
1	Toyota	1.917	31.9%	6.960	39.3%
2	Suzuki	0	0%	2.314	13.1%
3	Ford	713	11.9%	1.584	8.9%
4	Kia	955	15.9%	1.431	8.1%
5	Mercedes	528	8.8%	1.390	7.9%
6	Benz	45	0.7%	677	3.8%
7	Subaru	54	0.9%	615	3.5%
8	Audi	290	4.8%	521	2.9%
9	BMW	77	1.3%	481	2.7%
10	Volvo	467	7.8%	370	2.1%
	BYD	959	16.0%	1.359	7.0%
	Otros				
Total		6.005	100%	17.702	100%

Fuente: adaptado de Asociación Nacional de Movilidad Sostenible (Andemos, 2021b)

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA PARA REDUCIR GEI GENERADAS POR LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

### Política Internacional

El cumplimiento por parte de la industria automotriz a nivel mundial de la política internacional ante del Cambio Climático, lideradas por la UNFCCC, se refleja en el incremento en la fabricación de vehículos híbridos y eléctricos, en la transición de uso de vehículos unipersonales a públicos y en la promoción de la sostenibilidad en la industria automotriz. Las siguientes empresas internacionales promueven el consumo y la producción sostenible:

- SEAT, industria española, ha reducido un 65% la emisión de gases de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde 2010 y aspira a reducir un 43% su huella medioambiental para 2025 (La Vanguardia, 2020).
- Volvo, industria sueca, venderá únicamente coches eléctricos a partir de 2030 (El País, 2021).
- BYD, industria china, asegura que todos sus vehículos serán híbridos o eléctricos antes de 2030 puesto que en el momento ha superado las cifras en ventas entre vehículos eléctricos e híbridos (Portal Movilidad, 2021).
- Porsche, industria alemana especializada en vehículos de lujo, se ha comprometido a electrificar más de la mitad de su flota para el 2050 (La Vanguardia, 2019a).
- Volkswagen, industria alemana, reducirá las emisiones de CO<sub>2</sub> de sus vehículos nuevos en un 30% y pretende dejarlas a 1% antes de 2050 (El País, 2019).

Los países que apoyan la sostenibilidad a través de sus políticas públicas en la industria automotriz son:

- Estados Unidos a través de la Agencia para la Protección Ambiental (EPA), tendría un 17% de vehículos eléctricos vendidos y una adopción más amplia de la tecnología avanzada de motores de gasolina para el 2026 (Agencia AFP, 2021).

- Noruega y Francia ya han anunciado que para el 2025 podrán fin de la fabricación de coches de combustión (Planelles, 2021).
- China está implementando normativas para el uso de vehículos híbridos y eléctricos y está estudiando la prohibición total de vehículos que usan combustibles fósiles (Portafolio, 2017).

### Política Colombiana

En la Constitución política de Colombia de 1991, se lanzó un programa integral de tratamiento de los vehículos que han llegado al final de su vida útil, aplicando un proceso de desintegración para la “chatarización” de vehículos de servicio público de transporte de pasajeros y de servicio público y particular de carga. Este programa busca mejorar las condiciones ambientales y la calidad de vida de la población, contemplando varios aspectos relevantes como el consumo de combustible y las emisiones de CO<sub>2</sub>-eq del parque automotriz.

## CONCLUSIÓN

La industria automotriz a nivel mundial en sus diferentes etapas de producción, desde la búsqueda y obtención de materia prima, la fabricación de los componentes y el ensamblaje final de los vehículos representó el 9% de emisiones de GEI en el mundo en el 2019 (Fernández, 2019). Las políticas internacionales, lideradas por la UNFCCC para reducir las emisiones de este sector, han mostrado resultados muy promisorios en la introducción al mercado, aún lenta pero sostenible, de vehículos híbridos y eléctricos que reflejan positivamente la reducción de emisiones de GEI.

En la última Cumbre Climática de Glasgow 2021, se aceptó que el uso industrial de combustibles fósiles (Petróleo, Carbón y Gas Natural) es el mayor emisor de GEI a nivel global y por ende responsable del Cambio Climático. Sin embargo, China, Estados Unidos y Alemania que son los mayores productores en este sector automotriz, que han mostrado importantes avances en la introducción de vehículos híbridos y eléctricos en el mercado nacional e internacional, no aceptaron el compromiso de reemplazar toda su flota de vehículos basados en gasolina y diésel por híbridos y eléctricos al 2030 y propusieron una transición más paulatina (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b).



## REFERENCIAS

- ABELES, M.**, Cimoli, M. & Lavarello, P. J. (2017). *Manufactura y cambio estructural: aportes para pensar la política industrial en la Argentina*. Cepal.
- ACEA.** (2020, May 12). *Fuel types of new cars: petrol 52.3%, diésel 29.9%, electric 6.8% market share first quarter of 2020*. <https://www.acea.auto/fuel-pc/fuel-types-of-new-cars-petrol-52-3-diesel-29-9-electric-6-8-market-share-first-quarter-of-2020/>
- AGENCIA AFP.** (21 de diciembre de 2021). Joe Biden endurece normas de consumo de gasolina para automóviles. *El Espectador*. <https://www.elespectador.com/ambiente/biden-endurece-normas-de-consumo-de-gasolina-para-automoviles/>
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE [ANDEMOS].** (2021a). *Informe Vehículos Diciembre Colombia 2021*. <https://www.andemos.org/index.php/2022/01/07/diciembre-10/>
- ASOCIACIÓN NACIONAL DE MOVILIDAD SOSTENIBLE [ANDEMOS].** (2021b). *Informe Vehículos HEV, PHEV y BEV DICIEMBRE, Colombia 2021*. <https://www.andemos.org/index.php/2022/01/07/diciembre-10/>
- BURNHAM, A.**, Wang, M. Q. & Wu, Y. (2006). *Development and applications of GREET 2.7—The Transportation Vehicle-CycleModel*. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- CANCILLERÍA DEL MINISTERIO DE RELACIONES EXTERIORES.** (2022). *Cambio Climático*. <https://www.cancilleria.gov.co/cambio-climatico-0>
- CHINCHETRU, L.** (2019). Aceleradores del cambio climático: El grupo Volkswagen es la marca de coches más contaminante, seguida de Renault-Nissan, Toyota, General Motors y Hyundai-Kia. *Greenpeace Magazine*, 31, 3.
- CORTEGIANO, G.** (2000). Recursos humanos y localización de la producción en la industria automovilística mundial. *Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 72. <http://www.ub.edu/geocrit/sn-72.htm>
- CVN.** (2018). *La industria automotriz colombiana en la actualidad*. <https://www.cvn.com.co/admincvn/industria-automotriz-colombiana/>

- EL PAÍS.** (2019). Así reducirá Volkswagen un 1% las emisiones de CO2 de todo el planeta. *El País*. [https://elpais.com/economia/2019/12/02/actualidad/1575276289\\_747731.html](https://elpais.com/economia/2019/12/02/actualidad/1575276289_747731.html)
- EL PAÍS.** (2021). Volvo venderá únicamente coches eléctricos a partir de 2030. *El País*. <https://elpais.com/economia/2021-03-02/volvo-vendera-unicamente-coches-electricos-a-partir-de-2030.html>
- ESQUIRE MÉXICO.** (2 de enero de 2020). *Conoce la historia de la industria automotriz*. <https://www.esquirelat.com/lifestyle/historia-y-evolucion-industria-automotriz-ha-presentado-a-traves-de-tiempo/>
- EXPANSIÓN.** (2020). La producción de vehículos cayó en Estados Unidos. *Datosmacro.Com*. <https://datosmacro.expansion.com/negocios/produccion-vehiculos/usa#:~:text=Estados Unidos es el segundo, se fabricaron 10.533.653 automóviles.>
- FERNÁNDEZ, A.** (10 de septiembre de 2019). Estas son las marcas de coches que más contaminan. *GreenPeace*. <https://es.greenpeace.org/es/noticias/estas-son-las-marcas-de-coches-que-mas-contaminan/>
- GRANADOS ERAZO, O.** (2010). Imperios y colonialismo, 1870-1914 ¿una era de globalización, geopolítica o nacionalismo económico? *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 5(1), 51-82.
- LA VANGUARDIA.** (2019). Así ha sido la evolución eléctrica de Porsche en 10 años. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20190807/463935814748/asi-sido-evolucion-electrica-porsche-10-anos.html>
- LA VANGUARDIA.** (2020). Seat reduce un 65 % sus emisiones y 43 % su huella medioambiental desde 2010. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/vida/20200605/481605589685/seat-reduce-un-65-sus-emisiones-y-43-su-huella-medioambiental-desde-2010.html>
- PLANELLES, M.** (2021). 30 países y 6 fabricantes pactan el fin del coche de combustión desde 2035. *El País*. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/cambio-climatico/2021-11-10/una-treintena-de-paises-y-6-grandes-fabricantes-se-alian-para-terminar-con-el-coche-de-combustion-en-2035.html>

- PORTAFOLIO.** (2017). China estudia prohibir vehículos que usan combustibles fósiles. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/internacional/china-quiere-prohibir-vehiculos-que-usan-combustibles-fosiles-509583>
- PORTAL MOVILIDAD.** (2021). Un año electrizante: BYD superó las 600.000 ventas entre vehículos eléctricos e híbridos. *Portal Movilidad*. <https://portalmovilidad.com/un-ano-electrizante-byd-supero-las-600-000-ventas-entre-vehiculos-electricos-e-hibridos/>
- QIAO, Q., Zhao, F., Liu, Z., Jiang, S. & Hao, H.** (2017). Cradle-to-gate greenhouse gas emissions of battery electric and internal combustion engine vehicles in China. *Applied Energy*, 204, 1399-1411.
- QUINTANA DÍEZ, C.** (2018). *Cálculo de la huella de carbono de vehículos utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida*.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA [RAE].** (2001). *Automóvil*. <https://www.rae.es/drae2001/automóvil>
- ROBERTO.** (2008). Industria automotriz. *Monografias.Com*. <https://www.monografias.com/trabajos68/industria-automotriz/industria-automotriz>
- STATISTA.** (2021). *Principales productores automovilísticos del mundo por vehículos fabricados en 2020*. <https://es.statista.com/estadisticas/611251/principales-productores-automovilisticos-del-mundo-por-vehiculos-fabricados/>
- SULLIVAN, J. L., Burnham, A. & Wang, M.** (2010). *Energy-consumption and carbon-emission analysis of vehicle and component manufacturing*. Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>



## CAPÍTULO 4

# La industria mundial del plástico

ANA MARÍA IBARRA  
MELANNY VILLA  
PABLO DELGADO  
FELIPE RAMÍREZ  
JUAN SEBASTIÁN CORREA  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA  
DANIEL GÓMEZ

### OBJETIVO

La presente investigación explica la relación que existe entre la industria mundial del plástico, los efectos que causa sobre el cambio climático y la política mundial para reducir su producción, comercialización, consumo y reciclaje de plástico de primer uso.



## INTRODUCCIÓN

El plástico es un material sintético que se genera a partir de compuestos orgánicos principalmente petróleo, carbón y gas natural (Pittaluga & Pirrocco, 2021), cuyas industrias se reconocieron en la última Cumbre Climática de Glasgow 2021 como causantes de las más altas emisiones globales de GEI (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b). El plástico, cuyas características principales son resistencia, versatilidad, elasticidad, resistencia a la humedad y bajo costo, surgió para dar una respuesta inmediata, económica y cómoda a los consumidores, abriendo paso a productos acordes a las necesidades y elementos cotidianos de un modelo de vida consumista tales como ropa, bolsas, rollos de embalaje, películas extensibles y de burbujas, envases de alimentos, vasos desechables, botellas de agua y bebidas hidratantes, envoltorios de comida, tapas, cubiertos, pitillos entre otros (Centro de Ingeniería Química [CIQ], 1991; Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública [MASP] & GreenPeace Colombia, 2019). El término “plástico” se usa para identificar más de 30 tipos diferentes de *polímeros plásticos*, que tienen propiedades, aplicaciones y potencial distintos para cada proceso de reciclaje, reutilización, biodegradabilidad y compostabilidad. La Tabla 1 presenta una clasificación de los polímeros plásticos de acuerdo con sus propiedades físicas y usos y la Figura 1 presenta ejemplos de productos plásticos según su polímero.

**TABLA — 1**  
Clasificación de los polímeros plásticos según sus propiedades y uso

EJEMPLO	USO
<b>CLASE: TERMOPLÁSTICOS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>PET (polietileno tereftalato): envases de alimentos y bebidas</li> <li>PEAD (polietileno alta densidad): baldes, frascos, tanques, tuberías, etc.</li> <li>PVC (policloruro de vinilo): frascos, caños, tuberías, lonas agrícolas, etc.</li> </ul>	Utilizados para prendas de vestir, envases, embalajes y construcción. Pueden reciclarse en determinadas condiciones.

- PEBD (polietileno de baja densidad): bolsas de leche, de abono y contenedores flexibles, etc.
- PP (polipropileno): envases de margarinas, bolsas, botellas, etc.
- PS (poliestireno): perillas, paneles de instrumentos de vehículos, molduras, vasos, platos, cubierto desechables, etc.

**CLASE: PLÁSTICOS TERMOFIJOS**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Resinas epoxi</li><li>• Silicona</li><li>• Poliéster</li><li>• Fenólicas</li><li>• Poliuretanos</li></ul> | Utilizados para piezas de automóviles, construcción, juguetes, barnices, cascos de barcos y pegamentos.<br>No se pueden reciclar, pero a veces se pueden reutilizar en otras aplicaciones |
|---|---|

**CLASE: ELASTÓMEROS**

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Polímeros gomosos: caucho</li></ul> | Utilizados para fabricar neumáticos, bandas de goma y anillos de sellado. |
|---|---|

Fuente: adaptado a partir de Pittaluga & Pirrocco (2021)

**FIGURA — 1**  
Productos plásticos según tipo de polímero

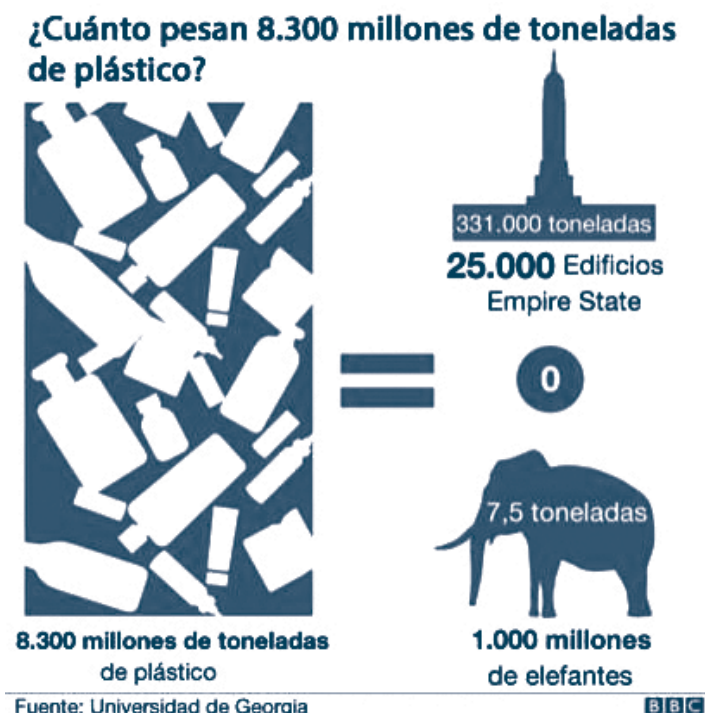


Fuente: tomado de Unibag Perú (2022)



La Figura 2 ilustra la equivalencia del peso de plásticos de un solo uso producidos en el mundo en 65 años –entre 1952 y 2017– con el peso de 25.000 edificios Empire State en New York o con el de 1.000 millones de elefantes. El 79% de los residuos plásticos de un solo uso según United Nations Environment Programme (UNEP, 2018a) yace en vertederos, basureros o en el medio ambiente, principalmente en los humedales, lagos, ríos y océanos. En la cuarta Asamblea Medioambiental de la ONU 2019, se concluyó con una declaración en la que más de 200 países se comprometen a reducir la producción de plásticos de un solo uso al 2030 (National Geographic, 2019; Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019). Adicionalmente, su incineración puede llegar a emitir 850 millones de toneladas métricas de GEI (GreenPeace, 2019)

**FIGURA — 2**  
Peso del plástico de un solo uso producido a nivel mundial (1952-2017)



Fuente: tomado de BBC Mundo (2017)

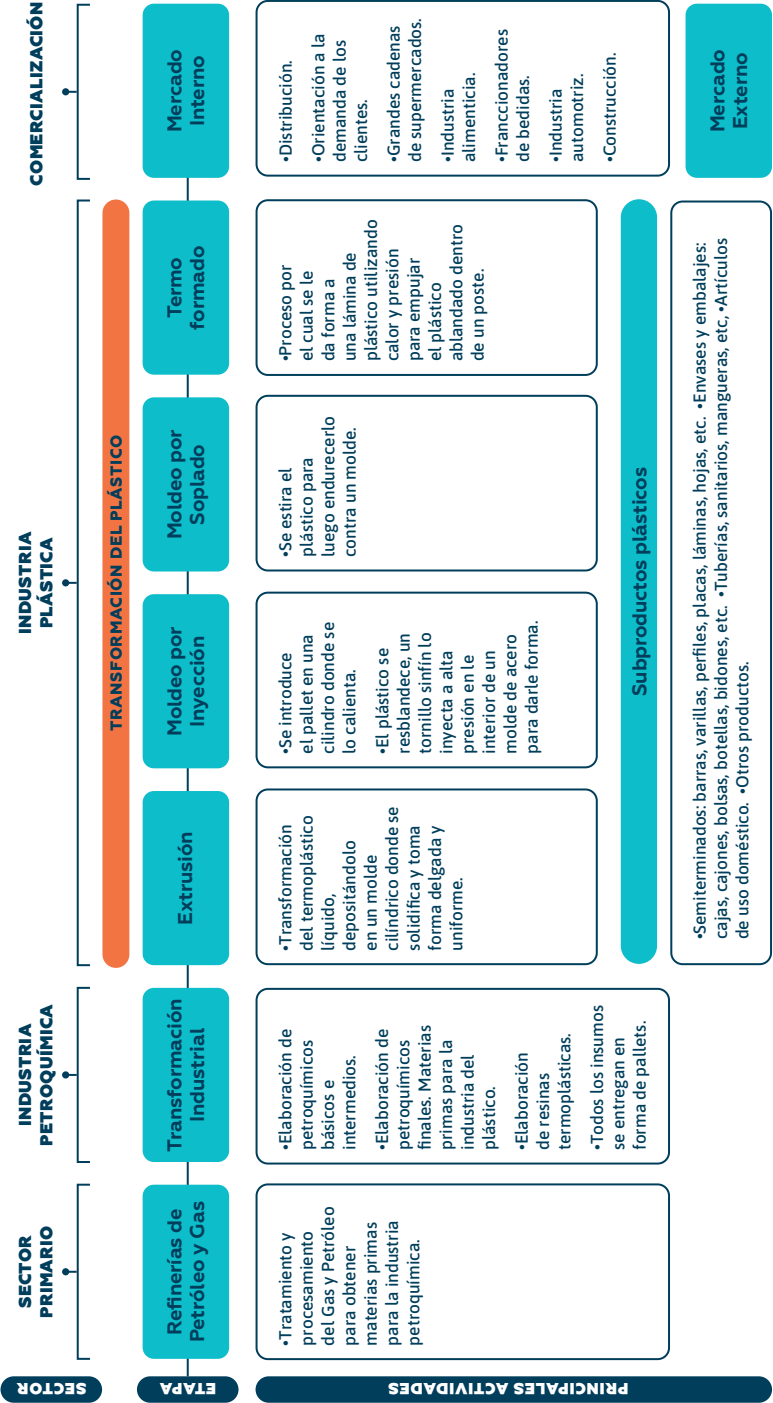
## CADENA DE PRODUCCIÓN DEL PLÁSTICO Y SUS EMISIONES DE GEI

La cadena de producción del plástico de primer uso pasa por cinco etapas: **extracción de materia prima, refinería, industria petroquímica, industria plástica y final de vida**. La **materia prima** del plástico es petróleo y gas natural de donde se obtienen los productos petroquímicos básicos para la producción de los diferentes tipos de plástico. En la etapa de **refinería**, se obtienen componentes más ligeros denominados fracciones, tales como Etano, Metano, Pentano, Propano, Butano, Naftas y otros insumos petroquímicos secundarios como Amoníaco, Benceno, Dicloroetano, Etileno, Metanol, Óxido de Etileno, Paraxileno, Propileno, entre otros. En la etapa de **industria petroquímica** se generan los petroquímicos básicos, intermedios, finales y resinas termoplásticas, en forma de pellets, materia prima para la industria del plástico. En la etapa de **industria plástica** se obtienen los distintos productos plásticos mediante métodos de extrusión, moldeo por inyección, moldeo de soplado y termo formado, que les dan forma. Y la última etapa, **final de vida** para plásticos de primer uso, incluye la producción de plástico de segundo uso (reciclaje) o el tratamiento de residuos plásticos. La Figura 3 resume las diferentes etapas de la cadena productiva de plásticos de primer uso, sin incluir el final de vida. La comercialización de productos finales no se profundiza en este capítulo.

## EMISIONES DE GEI EN PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO

En la etapa de **extracción de la materia prima** se emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub> al ambiente. Según Center of International Environmental Law (CIEL, 2019) las emisiones atribuidas a esta etapa se estiman entre 9.5 a 10.5 Mt de CO<sub>2</sub>-eq por año. En la **refinería** del petróleo y del gas, las emisiones de GEI son muy intensivas ya que utiliza energía producida por combustibles fósiles generando la mitad de las emisiones de la cadena productiva del plástico, exceptuando la comercialización. En la **industria petroquímica** según datos de la Tabla 2, en el *craqueo del etano* –el rompimiento de las moléculas de hidrocarburos de cadena larga en moléculas más cortas– se generan de 1 a 1.2 Mt de CO<sub>2</sub> por Mt de etileno

FIGURA 3  
Etapas de la Cadena Productiva de la Industria del plástico de primer uso



Fuente: tomado de Monteforte (2015)

producido, mientras que el *craqueo de nafta* genera de 1.8 a 2 Mt de CO<sub>2</sub> por Mt de etileno y de 1.6 a 1.8 Mt de CO<sub>2</sub> por Mt de productos químicos de alto valor (aparte del etileno). En 2015, el 47% del etileno del mundo se fabricó con nafta, el 35% con etano y el 18% con otras materias. Las emisiones potenciales de CO<sub>2</sub> generadas en esta etapa para el 2030 se estiman entre 241.7 y 286.2 millones de Mt por año (Tabla 2).

**TABLA — 2**  
Emisiones anuales estimadas para 2030 de CO<sub>2</sub> por craqueo a vapor

	2015	2030
<b>Global ethylene capacity (million Mt per year)</b>	143.8	191.2 - 195.5
<b>Feedstock mix</b>	35% ethane, 47% naphtha, 18% other	38.5% ethane, 44% naphtha, 17.5% other
<b>Feedstock-based emission factors (Mt CO<sub>2</sub> / Mt ethylene)</b>	1 - 1.2 (ethane) 1.6 - 1.8 (naphtha) 1 (other)*	
<b>Estimated CO<sub>2</sub> emissions from global steam cracking (million Mt per year)</b>	184.3 - 213.0	241.7 - 286.2
<b>Coal-plant equivalency</b>	45-52	59-69

**Note:** Baseline feedstock mix is from 2017, and future feedstock mix is estimated for 2027. Coal plant equivalency assumes a new base-load coal plant running at all times emits 4.13 million Mt of CO<sub>2</sub>e per year.

Fuente: tomado de CIEL (2019, p. 46).

En la etapa de **industria plástica**, donde se elaboran los productos plásticos mediante distintos métodos de transformación (Tabla 1 y Figura 3), según los datos de CIEL (s.f.) citados en Z.E.O (2020) se emiten a la atmósfera 3.5 kg de CO<sub>2</sub>-eq/kg de plástico producido generando el 3.8% de las emisiones globales de GEI.

En la etapa **final de vida**, como se mencionó, como se observa en las Figuras 4 y 5, el 79% de los plásticos termina en vertederos, ríos, lagos, manglares, humedales, playas y océanos. Estos residuos abandonados generan GEI al degradarse, pues emiten trazas de metano, etileno, policarbonato, acrílico, propileno, poliestireno y polietileno (BBC Mundo, 2017a; United Nations Environment Programme [UNEP], 2018c, 2018b). Según CIEL (2019), los residuos plásticos en la superficie del océano, que representan solo el 1% de los plásticos que llegan al mar, liberan continuamente  $\text{CH}_4$  y otros GEI. Las emisiones de GEI del 99% del plástico que se encuentra debajo de la superficie del océano aún no se han estimado con precisión. Además, se estima que el plástico en las costas, ríos, lagos, humedales y montañas libera GEI a un ritmo aún mayor que estando en el océano.

**FIGURA — 4**  
Ejemplos de final de vida de los plásticos



Fuente: tomado de Patiño et al. (2020)

**FIGURA — 5**

Porcentajes de las tres formas de final de vida de los plásticos



Fuente: adaptado de BBC Mundo (2017a)

El 12% de los plásticos en su final de vida llegan a ser incinerados (Figura 5), proceso en el cual es el principal causante de las emisiones GEI de los residuos plásticos llegando a los 850 millones de toneladas métricas de GEI anuales (GreenPeace, 2019). Según CIEL (2019) en 2030 las emisiones globales por la producción e incineración del plástico podrían llegar a 1.34 gigatoneladas CO<sub>2</sub>-eq/año y para el 2050 a 2.75 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-eq (CIEL 2019, p. 5)

## PRODUCCIÓN A PARTIR DE GEI

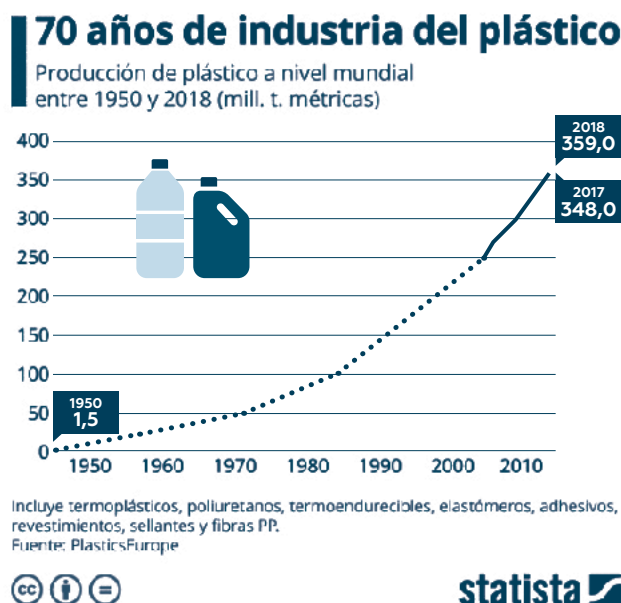
El 91% de los plásticos que se producen no llegan a tener una segunda vida útil (UNEP, 2018b) (Figura 5). La fabricación de productos plásticos a partir de plástico reciclado no pasa por las etapas de extracción de materia prima ni de refinería de petróleo y gas, que como se dijo antes, contribuyen con el **49%** de emisiones de GEI en la cadena productiva del plástico, como se mencionó anteriormente. En 2014, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) estimó un ahorro de 3.2 millones de Mt de CO<sub>2</sub>-eq por año al utilizar plástico reciclado. Si se incrementan de manera significativa el reciclaje podrían evitar 464 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq por año a nivel mundial para 2030 (Economía, 2021).

## LA INDUSTRIA DE LOS PLÁSTICOS EN EL MUNDO

### Principales países productores, consumidores y que demandan plástico

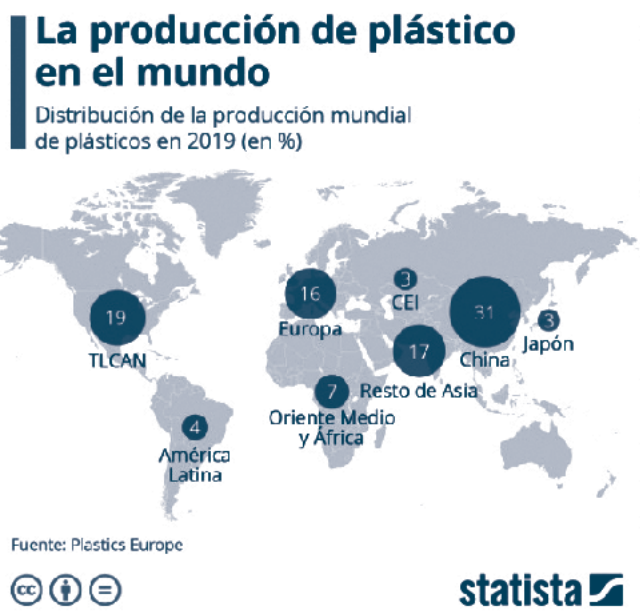
La producción mundial de plástico ha aumentado a un ritmo alarmante desde 1950 hasta el 2018 (Figura 6) de 1.5 a 359 millones de toneladas métricas, incrementando sus emisiones de GEI. La Figura 7 muestra que el 50% de la producción de plástico a nivel mundial en el 2019 lo constituye China (31%); y Estados Unidos, Canadá y México (19%), según el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Europa ocupa un cuarto puesto con un 16% del total (Plastics Europe, s.f., citado en Statista, 2021). La Figura 8 muestra cómo ha crecido el consumo anual del plástico medido en kg/cápita entre 1980 y 2015, siendo Estados, Canadá y México, Europa Occidental y Japón los mayores consumidores.

**FIGURA — 6**  
Producción de plástico entre 1950 y 2018 (millones de toneladas métricas)



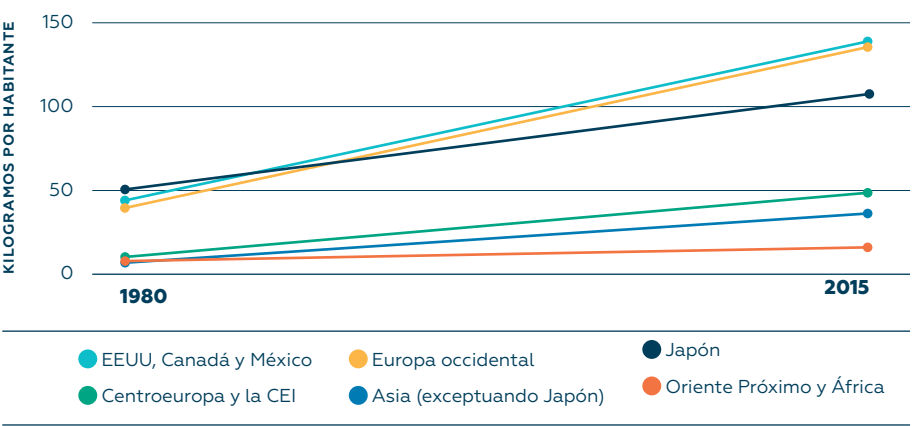
Fuente: tomado de Statista (2020)

**FIGURA — 7**  
Producción de plástico en el mundo en el 2019



Fuente: tomado de Statista (2021) a partir de Plastics Europe (s.f.)

**FIGURA — 8**  
Consumo global del plástico de los países industrializados en el 2015



Fuente: tomado de DW (2016)



Según Greenpeace (2022), en el 2018, el 70% de la demanda de plásticos se concentró en Alemania (24.6%), Italia (13.9%), Francia (9.4%), España (7.6%), Reino Unido (7.3%) y Polonia (6.8%).

## Industrias usuarias del plástico

En Europa, plástico usado en el 2018 se consumió en diferentes sectores: el 39.9% fue a parar al sector del *packaging*/embalaje; el 19.8% al sector de edificación y construcción; el 9.9% al de automoción; el 6.2% al sector eléctrico y electrónico; el 4.1% al sector de bienes domésticos, ocio y deportes; y el 3.4% a la agricultura (MundoPlast, 2019). La Figura 9 muestra ocho empresas que más utilizan plásticos relacionando la cantidad de residuos plásticos en el mundo en el 2020 fueron: Coca-Cola Company, PepsiCo, Nestlé, Danone, Procter & Gamble (P&G), Unilever, Colgate-Palmolive y Mars Incorporated.

**FIGURA — 9**  
Las ocho empresas que más residuos plásticos generan en el 2020



statista

Fuente: tomado de Statista (2020b)

## Los plásticos durante la pandemia del COVID-19

Cerca del 75% del plástico generado por las políticas de control de la pandemia de COVID-19, adoptadas por los distintos países, como mascarillas, guantes, botellas de desinfectante para manos, residuos médicos, envases y paquetes plásticos relacionados con compras en línea y comida a domicilio, se convertirá en desechos que llegarán a vertederos, calles, playas y océanos, con un grave costo para el medio ambiente y la economía (United Nations Conference on Trade and Development [UNCTAD], s.f., citado en ONU, 2020). Según el informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente ([PNUMA], s.f., citado en (Agencia EFE Verde, 2020) la reducción de actividades industriales y la cúspide de las restricciones por el COVID-19, las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyó a un 7% en 2020 a nivel mundial; sin embargo, el aumento de los desechos plásticos y médicos está teniendo un impacto negativo en la naturaleza. Su crecimiento ha llegado a colapsar los sistemas de reciclaje existentes en algunos lugares. Por ejemplo: en el 2020, el 46% de las instalaciones de reciclaje en el Reino Unido habían reducido o suspendido sus servicios de reciclaje; en Wuhan, China, los desechos médicos aumentaron de 49 a 240 ton/día durante la pandemia, sobrecargando la capacidad de incineración de la ciudad; en Teherán, Irán, los desechos médicos de los hospitales aumentaron entre el 17.6% y el 61.9% durante los primeros meses de la pandemia (de 52 -74 ton/día a 80-110 ton/día) (ONU, 2021).

## POLÍTICA MUNDIAL Y COLOMBIANA SOBRE EL PLÁSTICO

### Política mundial

Con el fin de reducir los efectos del Cambio Climático y la contaminación ambiental generada por la industria mundial del plástico, se han realizado varias cumbres y campañas mundiales, entre las cuales se mencionan las más significativas:

*Conferencia Nuestro Océano*, Balí, Indonesia 2018, donde más de 290 organizaciones (los mayores generadores de plásticos, gobiernos y las ONG) firmaron el *Compromiso Global por la Nueva Economía del Plástico* para erradicar la contaminación por plásticos. El compromiso une a los líderes de los sectores público y privado para avanzar hacia

economías circulares en torno a los plásticos. Esto implica nuevos productos y modelos comerciales, así como mejores sistemas de reciclaje y compostaje. Los objetivos del compromiso son:

Eliminar los envases plásticos problemáticos o innecesarios y sustituirlos por otros reutilizables; innovar para garantizar que 100% de los embalajes de plástico se pueda reutilizar, reciclar o compostar de forma fácil y segura para el año 2025; y aumentar significativamente las cantidades de plásticos reutilizados y convertidos en nuevos envases para recuperar el plástico ya producido (National Geographic, 2018).

*Campaña Mares Limpios* del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es la mayor alianza del mundo para combatir la basura marina plástica y que ahora cuenta con 60 países, incluidos 20 en América Latina y el Caribe. La campaña tiene como objetivo terminar con la adicción de la humanidad al plástico innecesario y evitable, del cual casi 11 millones de toneladas terminan en el océano cada año, y ayudar a frenar el flujo de basura marina y desechos plásticos que ingresan a lagos, vías fluviales y océanos (UNEP, 2021).

A nivel internacional ha habido un avance significativo en política pública sobre el uso de plásticos. El número de regulaciones que entraron en vigor sobre plástico de un solo uso creció de 0 a 17 entre 1990 y 2017 en lo referente a bolsas plásticas, espuma de poliestireno y otros utensilios por parte de los gobiernos (UNEP, 2018a). La Figura 10 presenta los países donde rigen prohibiciones (total o parcial), instrumentos económicos, normas combinadas y acuerdos público-privado sobre el uso de bolsas plásticas y espuma poliestireno en 2017.

## **Política colombiana**

El marco normativo de Colombia comprende los reglamentos técnicos sobre los plásticos en las etapas de embalaje, producción y etiquetado de la producción de diferentes tipos de productos, de los cuales se mencionan las políticas y proyectos más relevantes:

*Ley 9 de 1979* y *Resolución 2674 de 2013* reglamentan que todos los envases y embalajes para alimentos y bebidas deben estar hechos con materiales que garanticen su inocuidad para asegurar la salud de los consumidores y que el plástico sea un material totalmente legítimo dentro del país (Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia



*Resolución 2184 del 2019*, donde se modifican los indicadores del programa de Uso Racional de Bolsas Plásticas (MinAmbiente, 2019). El reglamento estipula y ordena a los distribuidores de bolsas plásticas incorporar dichos indicadores en su reporte anual de cantidad de bolsas vendidas. Las medidas exigen separar los residuos y calificarlos según el color de la bolsa.

## CONCLUSIONES

Se puede concluir que la industria mundial del plástico, material elaborado partir de los recursos fósiles, en su cadena de producción y en su final de vida, es un alto emisor de GEI, aunque la producción de plástico reciclado genera menores emisiones. La política pública mundial y colombiana ha hecho esfuerzos pertinentes para reducir la producción y utilización de plásticos de solo un uso, fomentando la generación de plásticos de segunda vida a partir del reciclaje. El hecho de que más de 290 organizaciones (los mayores generadores de plásticos, gobiernos y ONG) firmaron el *Compromiso Global por la Nueva Economía del Plástico* en la *Conferencia Nuestro Océano*, Balí, Indonesia 2018, confirma el interés mundial para erradicar la contaminación por plásticos, uniendo líderes de los sectores público y privado para avanzar hacia economías circulares.

## REFERENCIAS

- AGENCIA EFE VERDE.** (2020). *ONU: La pandemia reduce la emisión de CO<sub>2</sub> pero no aplaca la crisis climática*. ONU Crisis Climática. <https://www.efeverde.com/noticias/onu-pandemia-reduce-emision-co2-crisis-climatica/>
- BBC MUNDO.** (2017a). *5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>
- BBC MUNDO.** (2017b). *“Hay tantos residuos de plástico en el mundo que podrían cubrir un país como Argentina”: la advertencia de un grupo científicos sobre la contaminación que acecha al nuestro planeta*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-40664725>

- CENTER OF INTERNATIONAL ENVIRONMENTAL LAW [CIEL].** (2019). *Plastic and Climate: the hidden costs of a products planet*. <https://greenwire.greenpeace.de/system/files/2019-05/20190515-report-plastic-and-climate-ciel.pdf>
- CENTRO DE INGENIERÍA QUÍMICA [CIQ].** (1991). Actividad 5: Historia de los Plásticos y sus técnicas de transformación. En Tarragona (Ed.), *Los Plásticos en Nuestra Sociedad, Guía del Profesor*. Universidad de Rovira i virgili, Departamento de Ingeniería Química.
- CLÍNICA JURÍDICA DE MEDIO AMBIENTE Y SALUD PÚBLICA [MASP] & GREENPEACE COLOMBIA.** (2019). *SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE*. [http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2016). *Ley 1819 de 2016*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=79140>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN [DNP].** (2018). *El 71% de hogares colombianos redujo el consumo de bolsas plásticas*. Portal Web DNP. <https://www.dnp.gov.co/Paginas/El-71-de-hogares-colombianos-redujo-el-consumo-de-bolsas-plasticas.aspx>
- DW.** (2016). *6 gráficos para entender el problema del plástico*. <https://www.dw.com/es/6-gráficos-para-entender-el-problema-del-plástico/a-36756148>
- EUNOMIA.** (2021). *Waste in the Net-Zero Century: Greenhouse Gas Impacts of Mixed Waste Sorting*. <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/waste-in-the-net-zero-century-greenhouse-gas-impacts-of-mixed-waste-sorting/>
- GREENPEACE.** (2019). *THROWING AWAY THE FUTURE: HOW COMPANIES STILL HAVE IT WRONG ON PLASTIC POLLUTION "SOLUTIONS."* <https://storage.googleapis.com/planet4-international-stateless/2019/09/8a1d1791-fal-solutions2019.pdf>
- GREENPEACE.** (2022). *DATOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PLÁSTICOS*. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2016). *Resolución 668 de 2016*. <https://www.ambienteysociedad.org.co/resolucion-668-de-2016-que-regula-el-uso-de-bolsas-plasticas-en-colombia/>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2018). *Resolución 1407 de 2018*. [http://www.andi.com.co/Uploads/RES\\_1407\\_DE\\_2018.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/RES_1407_DE_2018.pdf)
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2019). *Resolución 2184 de 2019*. [http://www.andi.com.co/Uploads/res\\_2184\\_-\\_2019\\_por\\_la\\_cual\\_se\\_modifica\\_la\\_resolucion\\_668\\_de\\_2016\\_sobre\\_uso\\_racional\\_de\\_bolsas\\_plasticas\\_y\\_se\\_adoptan\\_otras\\_disposiciones\\_1.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/res_2184_-_2019_por_la_cual_se_modifica_la_resolucion_668_de_2016_sobre_uso_racional_de_bolsas_plasticas_y_se_adoptan_otras_disposiciones_1.pdf)
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL DE COLOMBIA [MINSALUD].** (2013). *Resolución 2674 de 2013*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-2674-de-2013.pdf>
- MONTEFORTE, E.** (2015). *La cadena de valor de la industria plástica: capital transnacional, concentración, y apropiación de renta hidrocarburífera*. Centro de Investigación y Gestión de la Economía Solidaria [CIGES]. [http://biblioteca.clacso.edu.ar/Argentina/ciges/20171030030357/pdf\\_1169.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/Argentina/ciges/20171030030357/pdf_1169.pdf)
- MUNDOPLAST.** (2019). *La producción mundial de plásticos creció un 3,16% en 2018*. <https://mundoplast.com/produccion-plasticos-2018/>
- NATIONAL GEOGRAPHIC.** (2018). *Acuerdo global contra el plástico. Planeta o Plástico*. [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/acuerdo-global-contra-plastico\\_13406](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/actualidad/acuerdo-global-contra-plastico_13406)
- NATIONAL GEOGRAPHIC.** (2019). *Acuerdo de la ONU para reducir los plásticos en 2030. Medio Ambiente*. [https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/acuerdo-onu-para-reducir-plasticos-2030\\_14029](https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/acuerdo-onu-para-reducir-plasticos-2030_14029)
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU].** (2019). *Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso. Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU].** (2020). *La marea de plástico causada por el COVID-19 también es un peligro para la economía y la naturaleza. Cambio Climático y Medioambiente*. <https://news.un.org/es/story/2020/07/1478011>

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU].** (2021). El uso exagerado del plástico durante la pandemia de COVID-19 afecta a los más vulnerables. *Noticias ONU*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1490302#:~:text=En abril de 2020%2C el,suspendido sus servicios de reciclaje.&text=Una mascarilla hallada en la,New Hampshire%2C en Estados Unidos>.
- PITTALUGA, L. & Pirrocco, D.** (2021). Análisis de la cadena de valor del plástico y el caucho en el Uruguay. *Serie Estudios y Perspectivas*, 53, 71.
- STATISTA.** (2020a). 70 años de “boom” del plástico. <https://es.statista.com/grafico/20441/produccion-de-plastico-a-nivel-mundial/>
- STATISTA.** (2020b). Coca-Cola, la empresa que más contamina con sus plásticos. *CONTAMINACIÓN PLÁSTICA*. <https://es.statista.com/grafico/22973/cantidad-de-envases-de-plastico-producidos-anualmente/>
- STATISTA.** (2021). *La producción de plástico en el mundo*. <https://es.statista.com/grafico/21899/distribucion-de-la-produccion-mundial-de-plastico-por-region-en-2018/>
- UNIBAG PERÚ.** (2022). ¿Sabía usted sobre los distintos tipos de plásticos que existen? Ojo, no todos se reciclan. <https://www.unibag.com.pe/sabia-usted-sobre-los-distintos-tipos-de-plasticos-que-existen-ojo-no-todos-se-reciclan/>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2018a). *Plásticos de un solo uso: una hoja de ruta para la sostenibilidad*. <https://www.unep.org/es/resources/informe/plasticos-de-un-solo-uso-una-hoja-de-ruta-para-la-sostenibilidad>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2018b). *Single-use plastics: a roadmap for sustainability*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/25496>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2018c). Un problema doble: el plástico también emite potentes gases de efecto invernadero. *Climate Action*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/un-problema-doble-el-plastico-tambien-emite-potentes-gases-de>



**UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2021). La Campaña Mares Limpios promueve el derecho a un medio ambiente saludable, incluidos océanos libres de plástico. *Oceans and Seas*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/la-campana-mares-limpios-promueve-el-derecho-un-medio-ambiente>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>

**Z.E.O.** (2020). ¿CUÁNTO CO<sub>2</sub> EMITE EL PLÁSTICO? <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-el-plastico/>



## CAPÍTULO 5

# La industria de refrigerantes: principal generadora de Hidrofluorocarbonos (HFC's)

ISABELLA AGUIRRE  
ISABELLA BORJA  
VALENTINA MERA  
FRANCISCO OLAYA  
MICHAEL URBANO  
DANIELA BOTERO  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

La presente investigación da a conocer las principales Industrias Generadoras de HFC's a nivel mundial, presentar la política internacional para reducir emisiones de HFC's a partir de La Enmienda de Kigali y describe el compromiso de Colombia ante la Cumbre Climática de París, 2015 con el reemplazo de equipos de refrigeración.



## INTRODUCCIÓN

Los **Hidrofluorocarbonos** (HFC's) son una familia de gases producidos industrialmente y se emplean en la fabricación de los aires acondicionados y sistemas refrigerantes, extintores de incendios, aerosoles y disolventes. Están formados por átomos de Hidrógeno (H), Flúor (F) y Carbono (C) que conforman sus distintas moléculas. Esta familia de gases fue creada principalmente para sustituir los *Clorofluorocarbonos* (CFC's) y los *Hidroclorofluorocarbonos* (HCFC's), debido a que los primeros, los CFC's, no se destruyen en las capas inferiores de la atmósfera (capas ubicadas entre 0 y 12 km sobre la superficie terrestre), suben a la estratósfera (capa ubicada entre 12 y 50 km sobre la superficie terrestre) donde sus componentes clorados se combinan con el ozono ( $O_3$ ) presente en la estratósfera, destruyéndolo; y los segundos, los HCFC's, a pesar de ser sustitutos iniciales de los CFC's presentando menos toxicidad y persistencia, son también sustancias cloradas destructoras de la capa de ozono ubicada en la estratósfera.

## LOS HIDROFLUOROCARBONOS (HFC'S)

Al principio se consideraban a los HFC's como amigables con el medio ambiente debido a que no contienen componentes clorados. Sin embargo, el flúor se comporta como gas de efecto invernadero, ocasionando que una molécula de los HFC's atrape miles de veces más el calor en la atmósfera que una molécula de Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ) y que tenga una permanencia más prolongada en la atmósfera, acelerando el calentamiento global. El aumento en las emisiones de los distintos GEI desde el inicio de la Revolución Industrial en 1750, hasta el 2016, fue inmenso (Tabla 1). Las emisiones de  $CO_2$  se incrementaron en 145%, las de  $CH_4$  en 257% y las de  $N_2O$  en 122%. No se puede documentar el incremento en las emisiones de los gases industriales (gases fluorados) desde 1750, en particular de los HFC's, porque fueron fabricados después de 1750 durante la era industrial.

La Tabla 2 presenta los valores del Potencial de Calentamiento Global (GWP, su sigla en inglés) de los diferentes gases HFC's comparados con el de los gases naturales ( $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $NO_2$ ). Estos datos muestran que el GWP de los HFC's varía entre 4 y 12.400 dependiendo del gas, lo que

indica que una molécula de HFC´s es de 4 a 12.400 veces más potente, en términos de calentamiento de la atmósfera, que una molécula de CO<sub>2</sub>. La permanencia de los gases industriales en la atmósfera se estima que puede llegar hasta 50.000 años para algunos gases.

**TABLA — 1**  
Incremento en emisiones de GEI desde el inicio de la Revolución Industrial (1750) hasta el 2016

GASES	1750	2016	AUMENTO
CO2	278ppm	493,3ppm	145%
CH4	722ppb	1835ppb	257%
N2O	270ppb	329ppb	122%
Gases fluorados	No existían	nd*	nd*

\*cantidad exacta no disponible

Fuente: adaptado a partir de IPCC (2018, 2019)

**TABLA — 2**  
Potencial de Calentamiento Global de los HFC´s

NOMBRE INDUSTRIAL	FORMULA QUÍMICA	GWP
Dióxido de Carbono	CO2	1
Metano	CH4	28
Óxido Nitroso	N2O	265
HIDROFLUOROCARBONOS (HFC´S)		
HFC-161	CH3CH2F	4
HFC-152	CH2FCH2F	16
HFC-41	CH3F2	116
HFC-152A	CH3CH2F	138
HFC-143	CH2FCHF2	328
HFC-32	CH2F2	677
HFC-245CA	CH2FCF2CHF2	716

NOMBRE INDUSTRIAL	FORMULA QUÍMICA	GWP
HFC-365MFC	CH3CF2CH2CF3	804
HFC-245FA	CHF2CH2CF3	858
HFC-134	CHF2CHF2	1.120
HFC-236CB	CH2FCF2CF3	1.210
HFC-134A	CH3FCF3	1.300
HFC-236EA	CHF2CHF2CF3	1.330
HFC-R134a	CH2FCF3	1.430
HFC-43-10MEE	CF3CHFCHFCF2CF3	1.650
HFC-125	CHF2CF3	3.170
HFC-227EA	CHF3CHF2CF3	3.350
HFC-143A	CH3CF3	4.800
HFC-236FA	CF3CH2CF3	8.060
HFC-23	CHF3	12.400

Fuente: adaptado de IPCC (2014)

La fabricación de HFC's ha producido un rápido incremento de emisiones con una tasa de crecimiento de hasta 10% anual. Esto se debe a la alta demanda de refrigeración, especialmente en los países en desarrollo, satisfecha por una creciente oferta por parte de la Industria de Refrigerantes en países desarrollados. La Tabla 3 muestra para el decenio 1990-1999 que las emisiones de los HFC's, por diferentes procesos industriales, representó el 1.5% de las emisiones totales de los GEI, siendo la familia de los HFC's los gases industriales con mayor nivel de emisiones.

La Tabla 4 muestra que en el 2016 las emisiones de todos los GEI fabricados, incluyendo los Hidrofluorocarbonos (HFC's), Perfluorocarbonos (PFC's), Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>) y Trifluoruro de Nitrógeno (NF<sub>3</sub>), representaron el 2% de las emisiones totales de GEI del mundo (IPCC, 2018). Sin embargo, 3 años más tarde, las emisiones atribuidas a gases industriales crecieron de 2% (2016) a 11% (2019) del total de emisiones de GEI, siendo los HFC's los responsables del mayor crecimiento.

**TABLA — 3**  
Emisiones de cada GEI por sector para el decenio 1990-1999

ACTIVIDAD	CO2	CH4	N2O	HFC'S	PFC'S	SF6	TOTAL
Producción de energía	23%	0.4%	0.3%	0%	0%	0%	24.2%
Emisiones fugitivas	0.5%	1.1%	0%	0%	0%	0%	1.6%
Combustión industrial	15.6%	0%	0.6%	0%	0%	0%	16.2%
Procesos industriales	5.4%	0%	0.8%	1.5%	0.2%	0%	7.9%
Transporte	20.6%	0.1%	0.4%	0%	0%	0%	21.1%
Comercial y residencial	5.9%	0.2%	0.2%	0%	0%	0%	6.3%
Sector agrario	2.2%	6.1%	9.9%	0%	0%	0%	18.2%
Residuos	0.3%	4.1%	0.1%	0%	0%	0%	4.5%
<b>Total</b>	<b>74.4%</b>	<b>11.6%</b>	<b>12.3%</b>	<b>1.5%</b>	<b>0.2%</b>	<b>0%</b>	<b>100%</b>

Fuente: adaptado de Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS, 2022)

**TABLA — 4**  
Incremento en el porcentaje de gases industriales en la atmósfera, particularmente de los HFC's entre 2016 y 2019

GASES	PORCENTAJE 2016	PORCENTAJE 2019
CO2	76%	66%
CH4	16%	16%
N2O	6%	7%
Hidrofluorocarbonos		7%
Otros gases industriales	2%	4%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fuente: a partir de IPCC (2018, 2019) y adaptado de Energías Renovables (2020)



## PRINCIPALES INDUSTRIAS GENERADORAS DE HFC'S A NIVEL MUNDIAL

Entre las principales industrias generadores del HFC's, se encuentran los sistemas de refrigeración, aire acondicionado y bombas de calor, los agentes espumantes, los fluidos de protección contra incendios, propelentes en aerosoles y los disolventes, siendo sus principales fabricantes las diferentes industrias de refrigeración a nivel mundial y sus usuarios las cadenas de grandes superficies como los supermercados, los hogares, vehículos, restaurantes, hoteles, universidades, colegios y hospitales de países desarrollados, emergentes y en vía de desarrollo.

### Industrias generadoras de HFC's en países industrializados y emergentes

A lo largo del mundo encontramos grandes compañías que por su producción en masa y la caracterización de sus productos son grandes emisores de GEI. En relación con la generación de los HFC's en los países asiáticos, la Unión Europea y Estados Unidos se listan las siguientes empresas (Tabla 5):

**TABLA — 5**  
Empresas generadoras de HFC's en países asiáticos, la Unión Europea y Estados Unidos

PAÍS	EMPRESA
China	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Gree:</b> fabricante número uno mundial de climatizadores.</li><li>• <b>Midea:</b> fabricante número 1 de electrodomésticos y aires acondicionados.</li></ul>
Japón	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Toshiba:</b> dedicada a la manufactura de aparatos eléctricos y electrónicos, sistemas de alimentación, sistemas de infraestructuras industriales y sociales, entre otros.</li><li>• <b>Panasonic:</b> dedicada a la fabricación de televisores, cámaras, audios y video, entre otros.</li></ul>
Corea del Sur	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Samsung:</b> quienes aparte de celulares, producen aires acondicionados, electrodomésticos, productos para computadores, entre otros.</li><li>• <b>LG:</b> quienes se dedican a la fabricación de aires acondicionados, electrodomésticos, celulares, monitores, entre otros.</li></ul>

<b>Suecia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Electrolux:</b> fabricantes de electrodomésticos.</li></ul>
<b>España</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Frigicoll:</b> se dedican a sistemas de climatización, transporte refrigerado, electrodomésticos y refrigeración.</li></ul>
<b>Alemania e Italia</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>AEG:</b> productora de electrodomésticos.</li><li>• <b>Miele:</b> con productos refrigerantes y electrodomésticos.</li></ul>
<b>Estados Unidos</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Whirlpool:</b> fabricante de electrodomésticos, aires acondicionados, entre otros.</li><li>• <b>Frigidaire:</b> produce aires acondicionados y electrodomésticos.</li><li>• <b>Philco:</b> produce sistemas de audio, aires acondicionados, DVD, electrodomésticos, entre otros.</li></ul>

Fuente: elaboración propia a partir de Gree Electric Appliances INC. (2016); Midea (2022); Panasonic Corporation (2022); Samsung (2022) y Toshiba Corporation (2022)

### Industrias generadoras de HFC's en países latinoamericanos

La emisión de HFC's se genera en la fase de su producción industrial y más tarde durante el mantenimiento de los equipos cuando sufren daños. En Latinoamérica existen compañías emisoras de los HFC's. En México, compañías como *Sisdasa*, *Tecid* y *Raycamp solutions*, producen sistemas de fuerza interrumpible, plantas de emergencia, aires acondicionados, entre otros y se encargan de su mantenimiento. En Bolivia y Argentina, *Termogas srl*, *Elegance*, *Thermo-Tar*, *Aire-Flex*, *Climatecnica* y *Tecnoclima* productoras de sistemas industriales de refrigeración y aires acondicionados y responsables de su mantenimiento. En Colombia, los principales sectores usuarios de la industria mundial de refrigerantes son el sector de comercio con los almacenes de cadena y las grandes superficies, el sector agropecuario con el almacenamiento de los alimentos, el sector automotriz, el de salud, el sector hotelero, el sector de transporte de refrigerados, la industria de electrodomésticos, entre otros. Algunas de las compañías involucradas son: *EPCM de Colombia S.A.S*, *Panasonic*, *Samsung*, *Homecenter*, *Falabella*, entre otros.

## POLÍTICA INTERNACIONAL PARA REDUCIR EMISIONES DE GEI GENERADAS POR LOS HFC'S: LA ENMIENDA DE KIGALI

El 15 de octubre de 2016, los 197 países adheridos al *Protocolo de Montreal*, firmaron por unanimidad la **Enmienda de Kigali** (United Nations Environment Programme [UNEP], 2017, 2019) y entró en vigor el 1 de enero 2019. Su objetivo es reducir el uso en 80% de los gases refrigerantes o HFC's en los próximos 30 años para dar paso al uso de refrigerantes naturales o refrigerantes sintéticos de bajo potencial de calentamiento global, con el fin de reducir a un 0.4 °C la temperatura de la atmósfera en comparación a la era preindustrial; de esta manera, se haría cumplimiento a los acuerdos dados en las diferentes Cumbres Climáticas (París 2015, Madrid 2019, Glasgow 2021 citados en United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015, 2021a, 2021b). El periodo de cumplimiento de esta norma se fijó entre el 2024 y el 2026. El primer grupo comprende los países desarrollados, que iniciarían la eliminación de estos gases contaminantes a partir de 2019. El segundo grupo comprende los países emergentes y en vía de desarrollo, entre los cuales se destaca China, el país más contaminante de la atmósfera desde el 2009 (Cumbre Climática de Copenhague, 2009, citado en UNFCCC, 2022) hasta el presente (en 2019, capítulo 0 y en 2020, capítulo 2), que iniciarán la eliminación de estos gases a partir del 2024. Y un tercer grupo de países menos desarrollados iniciarán la reducción de HFC's en el 2028.

A pesar de que el periodo de cumplimiento de la Enmienda de Kigali se fijó entre 2024-2026, debido a la recesión económica causada por la pandemia del COVID-19, que inició a finales del 2019 y se ha extendido hasta el presente (2022), es posible que las industrias no puedan dar cumplimiento a lo pactado sino hasta 2032 y se espera que para el 2047 ya haya una reducción del 85% del uso de los HFC's (Planelles, 2016).

## REEMPLAZO DE EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN: UN COMPROMISO DE COLOMBIA EN EL ACUERDO DE PARÍS 2015 PARA REDUCIR SUS EMISIONES DE HFC'S

Colombia es responsable del 0,46% de las emisiones mundiales de GEI (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] et al., 2015). No es un país emisor, pero sí es vulnerable al Cambio Cli-

mático, por lo cual, si no se toman medidas de mitigación y adaptación de manera inmediata, las emisiones de GEI podrían aumentar hasta un 50% en 2030 (Cordero & Mata, 2009).

Colombia participó en la Cumbre Mundial de Cambio Climático de París en el 2015 y ratificó el “Acuerdo de París 2015” como parte de la política mundial de lucha contra el Cambio Climático liderada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, su sigla en inglés). Este acuerdo establece medidas para la reducción de las emisiones de GEI (mitigación) y una serie de acciones de adaptación en las distintas regiones (Plataforma de Información y Diálogo para la Amazonía Colombiana [PID AMAZONÍA], 2017; United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015; WWF, 2016). El país se comprometió, en línea con su *Plan Nacional de Adaptación* y su *Política Nacional de Cambio Climático*, a realizar una serie de acciones de adaptación y mitigación tendientes a reducir en 20% sus emisiones de GEI en 2030, relativas al 2010, e inclusive a disminuir el 30% si cuenta con cooperación internacional (Cordero & Mata, 2009).

Entre las medidas de mitigación acordadas, Colombia se comprometió a reemplazar sus equipos de refrigeración para reducir emisiones de HFC's al 2030 relativas al 2010. Este compromiso, aprobado con fondos internacionales, es el de “*Neveras que no calienten el planeta ni dañen la capa de ozono*” para el cual, Alemania, el Reino Unido, Dinamarca y la Unión Europea, dará 9 millones de euros a Colombia para un proyecto de sustitución de equipos de refrigeración por unos con tecnología moderna que emitan menos HFC's. El proyecto que Colombia presentó tiene el potencial de reducir 16 millones de toneladas de GEI, incluye una política de transformación de la refrigeración doméstica, reemplazo de refrigeradores y el manejo de la disposición final (Cordero & Mata, 2009).

## CONCLUSIONES

La familia de gases denominados Hidrofluorocarbonos (HFC's) o gases refrigerantes, producidos en la fabricación de equipos de enfriamiento como neveras, refrigeradores, aires acondicionados, extintores de incendios, entre otros, poseen una altísima variabilidad en su potencial de calentamiento global (GWP sigla en inglés) que oscila entre 4 y 8.060

veces el potencial de calentamiento global del gas CO<sub>2</sub>, (de 1, tomado como referencia para los demás GEI). Es decir que una molécula de un HFC tiene la capacidad de calentamiento de la atmósfera entre 4 y 8.060 veces la capacidad de 1 molécula de CO<sub>2</sub>. Por esto, la política mundial contra el Cambio Climático, liderada por la UNFCCC (su sigla en inglés), advierte a la Industria Mundial de Refrigeración la necesidad de actualizar sus equipos, fabricándolos con el uso de gases de la familia de los HFC's con bajo potencial de calentamiento global.

El 15 de octubre de 2016, los 197 países adheridos al *Protocolo de Montreal*, firmaron por unanimidad la **Enmienda de Kigali** (United Nations Environment Programme [UNEP], 2017, 2019) y en otro en vigor el 1 de enero 2019. Su objetivo es reducir el uso en 80% de los gases refrigerantes o HFC's en los próximos 30 años para dar paso al uso de refrigerantes naturales o refrigerantes sintéticos de bajo potencial de calentamiento global, con el fin de reducir a un 0.4 °C de temperatura de la atmósfera en comparación a la era preindustrial.

La presencia porcentual de HFC's en la atmósfera, según datos de IPCC (2018, 2019), adaptado de Energías Renovables (2020), es del 7%, el mayor porcentaje representado por gases fabricados. Uno de los compromisos de Colombia ante la Cumbre Climática de París, 2015, fue la de reemplazar sus equipos de refrigeración domésticos, comerciales e industriales para reducir sus emisiones de HFC's. Colombia está trabajando en esa responsabilidad.

## REFERENCIAS

- CORDERO, M. & Mata, H.** (2009). El Acuerdo de Asociación Económica entre Centroamérica y la Unión Europea: viabilidad, avances y perspectivas. CEPAL. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/4890>
- ENERGÍAS RENOVABLES.** (2020). *Las emisiones de gases de efecto invernadero siguen disparadas pese a la pandemia*. <https://www.energias-renovables.com/panorama/las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-20201123>
- GREE ELECTRIC APPLIANCES INC.** (2016). *GREE GLOBAL*. <https://global.gree.com/index.html>

**INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES [IDEAM], PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO [PNUD], MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE] & [DNP], D. N. DE P. (2015). INVENTARIO NACIONAL Y DEPARTAMENTAL DE GASES EFECTO INVERNADERO - COLOMBIA.** <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>

**INSTITUTO SINDICAL DE TRABAJO AMBIENTE Y SALUD [ISTAS]. (2022). Gases causantes del efecto invernadero.** <https://istas.net/istas/guias-interactivas/cambio-climatico-y-sus-efectos/cambio-climatico/clima-y-sistema-0>

**IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.** [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

**IPCC. (2018). COMUNICADO DE PRENSA DEL IPCC.** [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr\\_181008\\_P48\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_es.pdf)

**IPCC. (2019). Resumen para responsables de políticas.** [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)

**MIDEA. (2022). Midea - Make yourself at home.** <https://www.midea.com/global>

**PANASONIC CORPORATION. (2022). Panasonic Global.** <https://www.panasonic.com/global/home.html>

**PLANELLES, M. (16 de octubre de 2016). Acuerdo mundial para reducir un potente gas de efecto invernadero. El País.** [https://elpais.com/internacional/2016/10/15/actualidad/1476510592\\_824067.html](https://elpais.com/internacional/2016/10/15/actualidad/1476510592_824067.html)

**PLATAFORMA DE INFORMACIÓN Y DIALOGO PARA LA AMAZONIA COLOMBIANA [PID AMAZONIA]. (2017). LOS COMPROMISOS DE COLOMBIA EN EL ACUERDO DE PARÍS.** <https://pidamazonia.com/content/los-compromisos-de-colombia-en-el-acuerdo-de-paris>

**SAMSUNG. (2022). Samsung.** <https://www.samsung.com/sec/>

**TOSHIBA CORPORATION. (2022). Global top page | Toshiba.** <https://www.global.toshiba/ww/top.html>

- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2017). *Introducción a la Enmienda de Kigali*. [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26869/7876FS01Intro\\_SP.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26869/7876FS01Intro_SP.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2019). *Entra en vigor la Enmienda Kigali, un poderoso aliado en la lucha contra el cambio climático*. <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/entra-en-vigor-la-enmienda-kigali-un-poderoso-aliado-en>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2022). *Copenhagen Climate Change Conference - December 2009*. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/past-conferences/copenhagen-climate-change-conference-december-2009/copenhagen-climate-change-conference-december-2009>
- WWF.** (2016). *El Acuerdo de París: Así actuará Colombia frente al Cambio Climático*. <https://www.wwf.org.co/?266971/Colombia-frente-al-cambio-climatico>





## CAPÍTULO 6

# La industria de distribución eléctrica: principal generadora del Hexafluoruro de Azufre (SF<sub>6</sub>)

SANTIAGO RESTREPO  
JULIETH CAMILA GIRALDO  
VALENTINA MORALES  
ASHLEY DASYANY NOSSA  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Esta investigación presenta el uso del Hexafluoruro de Azufre en la industria eléctrica, quienes han sido sus productores y usuarios a nivel mundial. También, se describe las alternativas y Política Internacional y Colombia de mitigación de emisiones del SF<sub>6</sub>.



## INTRODUCCIÓN

El fenómeno ambiental denominado “Cambio Climático Global” es una realidad actual que afecta a todo el planeta Tierra. La ciencia ha demostrado que es causado por la emisión creciente de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera generados por la industrialización, alterando la temperatura de la tierra y los patrones de precipitación en forma muy contrastante entre regiones del mundo, produciendo deshielo en los glaciares y nevados, lo que genera aumento del nivel del mar. Estos efectos del cambio climático han modificado el equilibrio natural del planeta y están generando efectos directos sobre ecosistemas, poblaciones vegetales, animales y sobre la vida humana.

Uno de los GEI fabricados a nivel industrial es el Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ). Es el gas de mayor Potencial de Calentamiento Global (GWP, su sigla en inglés) conocido por la ciencia, pues una molécula de  $\text{SF}_6$  produce un calentamiento en la atmósfera de 23.500 veces más que una molécula de  $\text{CO}_2$  (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014) y sus emisiones han aumentado dramáticamente en los últimos años (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018b, 2019). Esto se debe a que es usado ampliamente en la industria eléctrica para prevenir cortocircuitos y accidentes. Combina excelentes propiedades eléctricas con estabilidad química y baja toxicidad; no es inflamable y tiene un bajo costo, lo que ha llevado a su adopción generalizada y entusiasta por parte de la industria eléctrica, que utiliza aproximadamente el 80% de todo el  $\text{SF}_6$  producido a nivel mundial (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018b, 2019). “Solo en 2017, en los países de la Unión Europea, las fugas de  $\text{SF}_6$  tuvieron el mismo impacto en emisiones de  $\text{CO}_2$ -eq que colocar 1.3 millones de autos extra en las carreteras” (McGrath, 2019). El aumento en el uso de este gas es consecuencia de la instalación masiva de redes eléctricas en todo el mundo.

## EL HEXAFLUORURO DE AZUFRE ( $\text{SF}_6$ )

El  $\text{SF}_6$  es un compuesto inorgánico, que en condiciones normales de presión y temperatura es un gas incoloro, inodoro, no tóxico y no inflamable, cinco veces más pesado que el aire, presentando una densidad de 6.13 gr/lit a 1 atmósfera de presión (Lumitos AG, 2022). El  $\text{SF}_6$  presenta geometría

molecular octaédrica, consistente en seis átomos de flúor enlazados a un átomo central de azufre, lo que hace que este gas sea muy inerte y poco soluble en agua, aunque sí en disolventes orgánicos no polares (Anónimo, 2020). Como se mencionó anteriormente y se aprecia en la Tabla 1, el gas SF<sub>6</sub> tiene el más alto GWP entre todos los GEI (IPCC, 2014), con un índice de GWP de 23.500 relativo al CO<sub>2</sub>. Además, el SF<sub>6</sub> tiene una alta vida útil en la atmósfera de la tierra, de 3200 años, muy superior a la vida útil de otros GEI como por ejemplo del Metano (CH<sub>4</sub>) de 12 años, del Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) de 100 años o del Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) de 112 años (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014, 2018b, 2019).

**TABLA — 1**  
Potencial de Calentamiento Global del SF<sub>6</sub> comparado con los gases naturales (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O)

NOMBRE INDUSTRIAL	FORMULA QUÍMICA	GWP	DURACIÓN EN LA ATMÓSFERA (AÑOS)
Dióxido de Carbono	CO2	1	100
Metano	CH4	28	12
Óxido Nitroso	N2O	265	112
Hexafluoruro de Azufre	SF6	23.500	3200

Fuente: adaptado a partir del IPCC (2014)

## USO DEL GAS HEXAFLUORURO DE AZUFRE (SF<sub>6</sub>) EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Dentro de la industria eléctrica, el SF<sub>6</sub> se utiliza como gas aislante para celdas de *baja tensión* (BT), *media tensión* (MT) y *alta tensión* (AT), para evitar cortocircuitos y accidentes. Un interruptor es la combinación de interruptores de desconexión eléctrica, fusibles o disyuntores utilizados para controlar, proteger y aislar secciones de redes eléctricas. Las celdas de BT se utilizan para controlar circuitos eléctricos dentro de edificios, las celdas de MT para controlar las redes eléctricas dentro de ciudades y pueblos, y las celdas de AT para redes que abarcan un área geográfica

mayor, como de países y regiones. Cabe anotar que el  $\text{SF}_6$  no tiene sumidero natural, ni origen o método de eliminación efectivo, lo que hace que su acumulación en la atmósfera sea prácticamente irreversible. Al tener el más alto potencial de calentamiento global, una vida útil extremadamente larga, y a la inexistencia de métodos de eliminación que lo destruyan, se puede esperar que todo el  $\text{SF}_6$  que se haya producido o se produzca finalmente termine en la atmósfera.

## PRODUCTORES DEL GAS $\text{SF}_6$ A NIVEL MUNDIAL Y SUS USUARIOS

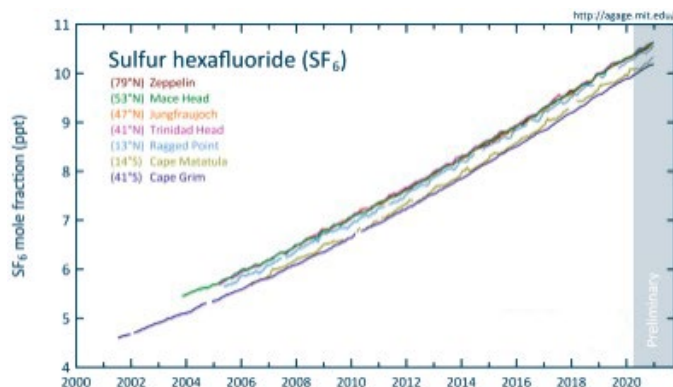
A nivel mundial, el  $\text{SF}_6$  es fabricado como un gas especial a partir de flúor y azufre gaseoso por seis grandes productores, que representan la mayoría de la oferta global. Las empresas y las ubicaciones de sus principales plantas son:

- Asahi Glass Productos químicos (Japón)
- AlliedSignal Inc. (Estados Unidos)
- Productos y productos químicos para el aire (Estados Unidos)
- Ausimont (Italia)
- Kanto Denka Kogyo (Japón)
- Solvay Fluor und Derivate GMBH (Alemania)

La Figura 1 presenta el aumento entre 2000 y 2020 en las emisiones de  $\text{SF}_6$  expresadas en ppt (partes por trillón). Se observa que la cantidad de  $\text{SF}_6$  ha aumentado significativamente desde 2000, de alrededor de 4 ppt a alrededor de 10 ppt para 2020 (10 Raisons, 2021).

### Usuarios en Colombia

A nivel nacional, las centrales eléctricas y las empresas de distribución de energía eléctrica son las principales usuarias de este gas y las responsables de sus emisiones. Existen aproximadamente 32 distribuidoras de energía, siendo cinco las empresas líderes del sector energético del país en 2019: EPM (Empresas públicas de Medellín), Codensa (Empresa

**FIGURA — 1**Crecimiento de SF<sub>6</sub> en la atmósfera terrestre 2000-2020

Fuente: tomado de 10 Raisons (2021) a partir de AGAGE (s.f.)

de energía de Bogotá), *Dispac* (Empresa Distribuidora del Pacífico), *Electricaribe* (Electrificadora del Caribe) y *Celsia*, que compró por medio de EPSA los activos de *Enertolima*. Ellas son responsables de la mayor emisión de SF<sub>6</sub> en Colombia.

A nivel local, en Cali existen dos grandes empresas que emiten este gas, en primer lugar, *Cryogas* que es una empresa del grupo Air Products, una de las principales compañías de gases industriales a nivel mundial, con más de 75 años de historia y con aproximadamente 15.000 trabajadores en 50 países. En segundo lugar, está *EMCALI* que es una empresa prestadora de servicios públicos (energía eléctrica, acueducto, alcantarillado y telecomunicaciones).

## ACCIONES DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DEL SF<sub>6</sub>

Es importante tener en cuenta que, aunque el SF<sub>6</sub> es un gas que no tiene un sustituto perfecto, lo cual lo hace necesario en la producción de un bien tan importante en la canasta de consumo actual como es la electricidad, existen acciones para reducir emisiones de este gas como las siguientes:

- Realizar mantenimiento periódico a interruptores defectuosos y renovación debido a obsolescencia o fugas frecuentes.
- Garantizar la seguridad de los operarios y reducir el impacto ambiental producido durante la ejecución de los trabajos de descontaminación de los equipos eléctricos de media y alta tensión que han contenido  $SF_6$ , al final de su vida útil.
- Mejorar el registro de información de fugas en Colombia.
- Emplear cámaras de luz infrarroja para evitar fugas incontroladas durante el funcionamiento del equipo.
- Comprometer a las compañías de energía eléctrica y usuarias de este gas, que presenten metas a largo y corto plazo de reducción de sus emisiones.
- Acometer en una descontaminación sistemática de todos los compartimentos de gas de los equipos de baja, media y alta tensión que hayan contenido  $SF_6$ , mediante la aplicación de un protocolo de tratamiento recogido en las normas técnicas y/o protocolo de tratamiento que tenga una eficacia demostrada, autorizado por el órgano ambiental competente.
- Buscar alternativas que permitan que las fugas de este gas no excedan el 0.95% del  $SF_6$  instalado.
- Utilizar en la industria eléctrica alternativas que no contengan  $SF_6$  usando una combinación de aire limpio y tecnología de vacío lo que permite tener una red de alto voltaje muy eficiente y al mismo tiempo amigable con el medio ambiente.
- Fomentar el intercambio de conocimiento, tecnología y financiamiento para acelerar los acuerdos planteados por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC su sigla en inglés) para reducir las emisiones de GEI, en particular del gas  $SF_6$ .
- Implementar el uso de las energías renovables como la eólica, solar, hidráulica, mareomotriz, de biomasa, con el fin de disminuir las emisiones del gas  $SF_6$ .

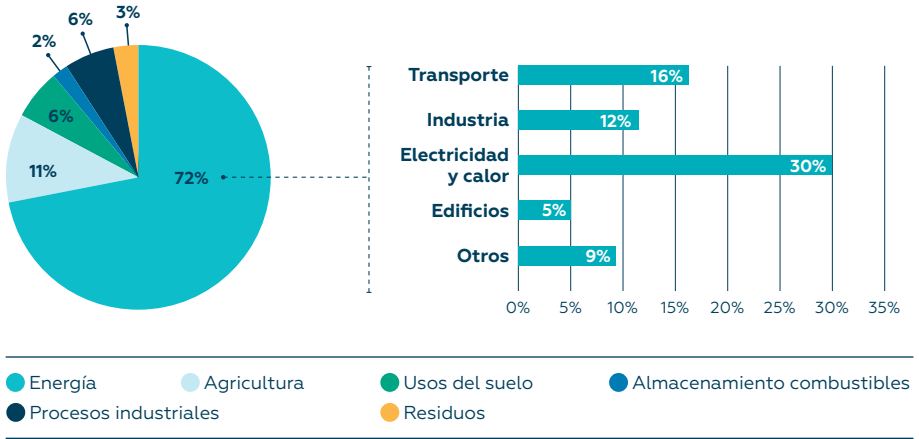
- Al ser el SF<sub>6</sub> el GEI con el mayor potencial de calentamiento global, debe manejarse con cuidado en sus aplicaciones, ya que pequeñas cantidades en el ambiente contribuyen notoriamente a aumentar los efectos del cambio climático.
- Para una operación adecuada del gas dentro de los equipos de potencia, se debe evitar la presencia de aire y humedad, ya que estos provocan una degradación del SF<sub>6</sub> produciendo compuestos tóxicos y con malas propiedades dieléctricas. Esto puede producir una falla catastrófica en los equipos y la liberación del gas y subproductos al medio ambiente. Además de producir cortes en el suministro de la energía eléctrica, afectaría la salud de los trabajadores.
- Es vital monitorear frecuentemente la calidad del gas para evitar acumulación de subproductos que provoquen una falla, detectar oportunamente operaciones anormales dentro del equipo de potencia y evitar fugas no controladas durante la operación de los equipos usando técnicas y equipos para su detección oportuna, siendo la más efectiva la cámara de luz infrarroja.

## **POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE SF<sub>6</sub>**

Según los datos históricos sobre emisiones de GEI 1990-2016 presentados por World Resources Institute (s.f. citado en González Celis [2020]), el sector de energía a nivel mundial emitió el 72% de GEI durante este periodo, siendo los principales emisores las industrias generadoras y distribuidoras de electricidad y calor (30%), transporte (16%), sector industrial (12%), construcción y edificios (5%) y otros (9%) (Figura 2). El uso de combustibles fósiles, reconocido como el mayor emisor de GEI a nivel mundial (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b), domina el sector energético. En particular la industria de sistemas de distribución eléctrica (torres de alta tensión, generadores, cableado) es la principal emisora de SF<sub>6</sub>.



**FIGURA — 2**  
Emisiones de GEI por sectores (1990-2016)



Fuente: tomado de González Celis (2020) a partir del World Resources Institute (s.f.)

## Política internacional

Los países Anexo 1, países emisores –industrializados, desarrollados o emergentes– deben informar cada año a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, sobre cuánto  $SF_6$  está utilizando y cantidad anual de emisiones en su país (IPCC, 2018). Pero, para los países Anexo 2, países no emisores, no existen restricciones para el uso del  $SF_6$ . Los científicos están detectando en la atmósfera concentraciones de  $SF_6$  que son 10 veces mayores que las declaradas oficialmente por los países.

La *Estrategia de Desarrollo Bajo en Carbono* en cada país es una política muy acertada para la mitigación del cambio climático. Esta política incluye actividades, proyectos e incentivos que reduzcan las emisiones de GEI en los distintos sectores emisores contemplados en la política internacional sobre el Cambio Climático, liderada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) como son: Sector de Energía; Procesos industriales y solventes; Construcción y Urbanismo; Agricultura y Ganadería; Cambio del Suelo y Bosques, y Basuras.

En particular, la política de reducción de emisiones del SF<sub>6</sub> está incluida en el Sector de Energía. Según el Informe del IPCC, 2018, aunque las emisiones de los gases fluorados en su totalidad (HFC's, PFC's, SF<sub>6</sub> y NF<sub>3</sub>) han aumentado cerca del 83% desde la Revolución Industrial, las emisiones del SF<sub>6</sub> han declinado gracias a los esfuerzos de las industrias de generación de energía eléctrica. En el futuro cercano se espera que las emisiones del SF<sub>6</sub> sigan decreciendo.

### Política colombiana

Aunque en los países europeos el uso del SF<sub>6</sub> está decreciendo, en Colombia no existen leyes que obliguen a reciclar los equipos de media y alta tensión como en Europa. Para disminuir las emisiones del SF<sub>6</sub>, Colombia debería adoptar un método para el buen uso y reciclaje del gas, equipos de protección para los operarios, cuidados para el transporte de los equipos, reciclaje de elementos como cobre, aluminio y acero, e instalaciones y herramientas adecuadas para la extracción del gas. El Gobierno ha tomado medidas importantes para la mitigación del cambio climático en el sector energético del país. Sin embargo, no detalla acciones específicas para la reducción de SF<sub>6</sub>.

## CONCLUSIONES

En general, todas las medidas que buscan reducir los niveles de emisiones de GEI a la atmósfera funcionan a través de la limitación o disminución de las fuentes de emisión, el aumento o mejora de los sumideros, o la transformación de cada GEI. En el caso del SF<sub>6</sub> resulta casi imposible su erradicación total, ya que no se han hallado materiales en la industria capaces de sustituir este gas a la perfección. Por ende, la forma de disminuir su emisión y contaminación es sustituyéndolo por gases menos nocivos para el medio ambiente e incentivar su buen uso. La idea final de todos los países es lograr avanzar hacia un futuro sostenible libre de SF<sub>6</sub>.

## REFERENCIAS

- 10 RAISONS.** (2021). *Hexafluoruro de azufre: el gas de efecto invernadero de pesadilla que es demasiado útil para dejar de usar*. <https://10-raisons.fr/es/hexafluorure-de-soufre-le-gaz-a-effet-de-serre-cauchemardesque-qui-est-tout-simplement-trop-utile-darreter-dutiliser/>
- ANÓMINO.** (2020). Hexafluoruro de azufre. En Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Hexafluoruro\\_de\\_azufre#cite\\_note-1a-2](https://es.wikipedia.org/wiki/Hexafluoruro_de_azufre#cite_note-1a-2)
- GONZÁLEZ CELIS, R.** (2020). *Matriz energética mundial y el cambio climático: Estado actual*.
- IPCC.** (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- IPCC.** (2018). *COMUNICADO DE PRENSA DEL IPCC*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr\\_181008\\_P48\\_spm\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/11/pr_181008_P48_spm_es.pdf)
- IPCC.** (2019). *Resumen para responsables de políticas*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)
- LUMITOS AG.** (2022). *Hexafluoruro de azufre*. [https://www.quimica.es/enciclopedia/Hexafluoruro\\_de\\_azufre.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Hexafluoruro_de_azufre.html)
- MCGRATH, M.** (16 de septiembre de 2019). El gas con efecto invernadero 23.500 veces más potente que el dióxido de carbono y del que muchos jamás han oído hablar. *BBC News, Corresponsal de Medio Ambiente*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49717228>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>



## CAPÍTULO 7

# La industria microelectrónica: principal generadora del Trifluoruro de Nitrógeno ( $\text{NF}_3$ )

LEONARDO FABIO PEDROZA  
CAMILA SARMIENTO  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

La presente investigación describe la inclusión del Trifluoruro de Nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ) y sus mayores productores a nivel mundial, explica que el  $\text{NF}_3$  es el sustituto de los Perfluorocarbonos y presenta la política internacional y alternativas de reducción de emisiones de  $\text{NF}_3$ .



## INTRODUCCIÓN

Durante la Era industrial (1750 hasta el presente), las diferentes industrias creadas por el hombre han ido incrementado de manera exponencial la emisión de los tres GEI naturales ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ) y han generado otros nuevos, fabricados por diferentes industrias, que tienen un poder de calentamiento de la atmósfera mucho mayor que el de los gases naturales (Capítulo de apertura, capítulos 5 y 6). Los principales gases industriales son: *Hidroclorofluorocarbonos* (HCFC's), *Hidrofluorocarbonos* (HFC's), *Perfluorocarbonos* (PFC's), *Hexafluoruro de Azufre* ( $\text{SF}_6$ ) y *Trifluoruro de Nitrógeno* ( $\text{NF}_3$ ). El aumento de las emisiones a la atmósfera de los GEI, tanto naturales como fabricados, generadas por diferentes industrias, han causado el fenómeno ambiental denominado "Cambio Climático Global" produciendo drásticas transformaciones climáticas, contrastantes entre las diversas regiones del planeta. Los gases clorados, como los HCFC's, fueron eliminados de su producción industrial y sustituidos por los actuales gases fluorados (HFC's, PFC's,  $\text{SF}_6$  y  $\text{NF}_3$ ) que no contienen cloro (capítulo 5). Esto debido a que los gases clorados destruían la capa de ozono de la estratosfera, ya que el cloro reacciona con el ozono y lo destruye. Según los Informes del IPCC, los GEI fabricados industrialmente eran responsables del 2% en 2016 y del 11% en 2019 del total de emisiones mundiales de GEI a la atmósfera (Tabla 4, capítulo 5). Sin embargo, dado su altísimo Potencial de Calentamiento Global (GWP su sigla en inglés) y su larga permanencia en la atmósfera (Tabla 1), la UNFCCC ha exigido a los países industrializados reducir gradualmente el empleo de estos gases substituyéndolos por tecnologías más amigables con el ambiente (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2014).

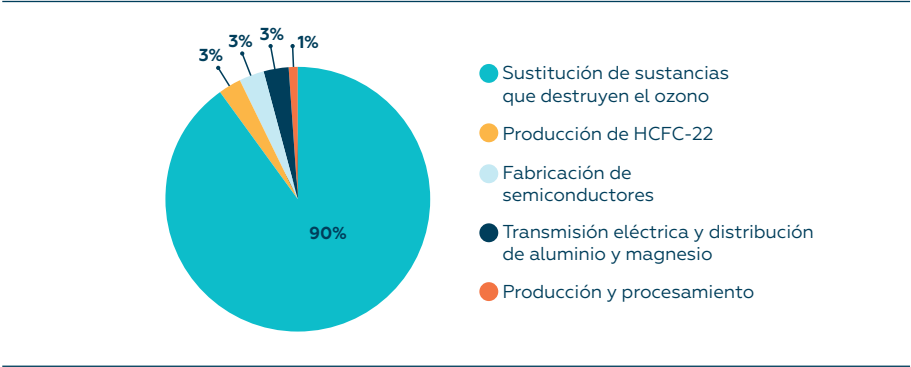
La Figura 1 muestra las emisiones de gases industriales en Estados Unidos en 2017 según su origen. Se puede evidenciar que el 90% de las emisiones provienen de los gases industriales que contenían cloro, sustancias que destruían la capa de Ozono –gases que ya fueron sustituidos por gases fluorados sin presencia de cloro– y el 10% restante de emisiones proviene de gases industriales que no contienen cloro y generan: un 3% la industria de refrigeración que emite HFC's (capítulo 5); un 3% la industria de transmisión de energía eléctrica, torres de alta tensión, transformadores que emite  $\text{SF}_6$  (capítulo 6); un 3% la fabricación de semiconductores, pantallas de cristal líquido que emite  $\text{NF}_3$ ; y un 1% la producción y procesamiento del aluminio y producción de aerosoles que emite PFC's.

**TABLA — 1**  
Potencial de Calentamiento Global y años de permanencia en la atmósfera

GASES	GWP	DURACIÓN EN LA ATMOSFERA (AÑOS)
CO2	1	100
CH4	28	12
N2O	265	114
HFC's	4 – 12.400	≤50.000
PFC's	6.630 – 11.100	≤50.000
NF3	16.100	740
SF6	23.500	3.200

Fuente: adaptado de IPCC (2014)

**FIGURA — 1**  
Emisiones de GEI industriales en Estados Unidos, 2017



Fuente: tomado de Environmental Protection Agency (EPA, 2022)

**EL TRIFLUORURO DE NITRÓGENO (NF<sub>3</sub>)**

El **Trifluoruro de Nitrógeno** es un compuesto inorgánico con fórmula química NF<sub>3</sub>, compuesto por un átomo de nitrógeno y tres átomos de flúor. Es un gas incoloro, tóxico, inflamable e inoloro. Desde 1992 (cuando se producían menos de 100 toneladas/año) la producción ha crecido a



un valor estimado de 4.000 toneladas en 2007 y a 8.000 toneladas en 2010 debido a la producción de las pantallas planas de cristal líquido (Anómino, 2012). Se estima que el 2% de la producción de  $\text{NF}_3$  es liberado a la atmósfera. Estas emisiones, significativamente más altas que las estimadas por la industria, exigieron realizar un inventario anual de producción de  $\text{NF}_3$  y regular sus emisiones.

## SU INCLUSIÓN COMO GEI

Dado lo anterior, el  $\text{NF}_3$  fue incluido en la lista de GEI por la UNFCCC en 2013 (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2013) en el segundo periodo de cumplimiento del Protocolo de Kioto (2013-2020) por su alto potencial de calentamiento global, con un índice GWP (Global Warming Potential) de 16.100 veces mayor que la del dióxido de carbono solamente superado por el Hexafluoruro de Azufre, este con índice GWP de 23.500, y por su duración en la atmosfera terrestre de 740 años (Tabla 1).

## INDUSTRIAS QUE GENERAN $\text{NF}_3$ Y PAÍSES PRODUCTORES

La industria que lo genera es la microelectrónica, industria de semiconductores, responsable por la fabricación y uso de televisores plasma, celulares, pantallas de cristal líquido, entre otros. El  $\text{NF}_3$  se usa como un grabador en la microelectrónica y como solvente y limpiador de microcircuitos electrónicos. La producción en masa de componentes electrónicos como la memoria DRAM “memoria dinámica de acceso aleatorio” (tipo de memoria RAM utilizada en computadores portátiles modernos, inventada en 1968 por Robert Dennard y comercializada por INTEL en los 70), la fabricación de pantallas planas y la producción a gran escala de células solares de película delgada en regiones con insuficiente conciencia ecológica sigue aumentando las emisiones de  $\text{NF}_3$ . Los países que más generan este gas son aquellos que poseen compañías creadoras de televisores plasma y celulares táctiles, siendo los principales y sus industrias los siguientes: Corea del sur (**Samsung y LG**), Japón (**Sony Mobile**), Estados Unidos (**Apple**) y China (**Lenovo**).

## NF<sub>3</sub>: ¿SUSTITUTO DE LOS PERFLUOROCARBONOS?

El NF<sub>3</sub> se ha venido utilizando cada vez más, como un sustituto de los Perfluorocarbonos (PFC's) debido a que es considerado mucho menos contaminante a la atmósfera. Durante los años 1998-2008, la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA) fomentó su uso y no lo consideró lo bastante peligroso como para hablar de él como GEI en el Protocolo de Kioto, con lo que se convirtió en un sustituto atractivo para empresas y países firmantes que querían reducir sus huellas contaminantes. Sin embargo, como se mencionó antes, en 2013 la UNFCCC y la EPA lo incluyeron en la lista de GEI para ser controlado en su producción por el Protocolo de Kioto, segundo periodo de cumplimiento 2013-2020.

Sin embargo, debido a problemas humanos causados por la manipulación del NF<sub>3</sub>, tales como irritación en las membranas mucosas, ojos y pulmones, con una toxicidad comparable a la causada por los óxidos de nitrógeno; la conversión de la hemoglobina en la sangre a metahemoglobina, que puede conducir a la condición de metahemoglobinemia por sobreexposición a su inhalación, hizo que el NF<sub>3</sub> fuera considerado como uno sustituto poco viable de los PFC's.

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NF<sub>3</sub>

### Política internacional

En Durban, Sudáfrica, 2011 (COP 17), el Trifluoruro de Nitrógeno (NF<sub>3</sub>) fue sugerido como candidato a ser añadido al anexo A del Protocolo de Kioto, a la lista de los GEI regulados (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2012). Sin embargo, no fue hasta septiembre de 2012 en la *Enmienda de Doha*, Qatar 2012 (COP 18) que co-facilitadores publicaron documentos no oficiales sobre las enmiendas propuestas al Protocolo de Kioto y la decisión que adoptarán:

por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. Esto incluye todas las emisiones por las fuentes y la absorción por los sumideros regulados por el artículo 3, párrafos

3 y 4, del Protocolo, así como todas las emisiones de Trifluoruro de Nitrógeno ( $\text{NF}_3$ ) en virtud del Protocolo de Kioto. (Enmienda de Doha al Protocolo de Kioto, en Consejo de la Unión Europea, 2015).

### **Alternativas de reducción de emisiones de $\text{NF}_3$**

Como primera alternativa de mitigación y la más importante es dar a conocer el daño que produce este gas y que, aunque produce menos emisiones que los PFC's, es bastante dañino en la salud humana. Por lo cual es muy importante analizar los efectos de final de vida de este gas. En 2014, investigadores de Estados Unidos y Australia diseñaron un método de recopilación de datos para crear un mapa de emisiones de  $\text{NF}_3$  por país, con el fin de fortalecer la política pública.

## **CONCLUSIONES**

El Trifluoruro de Nitrógeno posee un índice GWP de 16.100 veces mayor que la del Dióxido de Carbono. Fue incluido en el protocolo de Kyoto después de descubierto su Potencial de Calentamiento Global. Por eso, las industrias generadoras de este gas deben buscar alternativas de reducción de sus emisiones a la atmósfera.

La UNFCCC ha contribuido por medio de las Conferencias anuales de las Partes (COP's) a buscar alternativas de mitigación del Cambio Climático a través de medidas de reducción de las emisiones de GEI en los países industrializados, emergentes y en vía de desarrollo. El  $\text{NF}_3$  ha sido un ejemplo de ello, habiéndose considerado inicialmente, una de las soluciones de mayor impacto para reducir las emisiones producidas por los Perfluorocarbonos (PFC's). Sin embargo, a la luz de datos científicos que demuestran que la inhalación de este gas produce daños en la salud humana, el mundo enfrenta el desafío de buscar un gas sustituto.

## REFERENCIAS

- ANÓMINO.** (2012). Trifluoruro de nitrógeno. *Wikipedia*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Trifluoruro\\_de\\_nitrógeno](https://es.wikipedia.org/wiki/Trifluoruro_de_nitrógeno)
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA.** (2015). *DECISIÓN (UE) 2015/1339 DEL CONSEJO*. <https://www.boe.es/doue/2015/207/L00001-00014.pdf>
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA].** (2022). *Emisiones de gases fluorados en EE.UU. en 2017, según el origen [Fotografía]*. [https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2019-05/flourinated\\_-\\_pie\\_chart.png](https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2019-05/flourinated_-_pie_chart.png)
- IPCC.** (2013). *CAMBIO CLIMÁTICO 2013 Bases físicas*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- IPCC.** (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE [PNUMA].** (2012). *DOCUMENTO INFORMATIVO SEGUNDO PERÍODO DE COMPROMISO DEL PROTOCOLO DE KIOTO (KP2)*. [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BRIEFINGPAPERKP2NOV2012UNEPASEANCC\\_FINAL1ESP.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/BRIEFINGPAPERKP2NOV2012UNEPASEANCC_FINAL1ESP.pdf)

## TEMA II

# Biomas afectados y otros efectos del Cambio Climático





## CAPÍTULO 8

# El permafrost

BEATRIZ ESCOBAR  
MARCELA BUENAÑOS  
JORGE LOBOA  
DANIELA QUIÑONES  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Este capítulo tiene como objetivo informar cuáles han sido los efectos del Cambio climático sobre el permafrost, mostrar un estado actual y describir la Política Internacional para mitigar su deshielo.





## INTRODUCCIÓN

Los efectos más notables del Cambio Climático son la disminución o pérdida rápida de las márgenes de los glaciares, el adelgazamiento de la cubierta de hielo y nieve, el desprendimiento y deshielo de los pequeños glaciares de montaña y casquetes de hielo, la reducción de las áreas de suelo ubicadas sobre el permafrost y del permafrost mismo (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021; Rabassa, 2014).

El permafrost, o suelo criótico perenne, se refiere al suelo y roca que permanece congelado a 0°C o menos, durante dos años o más y se encuentra debajo del suelo, su vegetación y demás estructuras de la Tierra (Heginbottom et al., 1993) (Figura 1). Su función es servir de soporte estructural para la vida en el planeta y de reservorio de toneladas de material orgánico proveniente de microorganismos, plantas, animales y humanos que han muerto a través de millones de años. El permafrost se encuentra en las regiones más frías de la Tierra: en el hemisferio norte, donde las regiones de permafrost ocupan aproximadamente el 24% de la superficie terrestre expuesta (United Nations Environment Programme [UNEP], 2012), en las regiones montañosas altas de América del Sur y en las regiones sin hielo de la Antártida.

**FIGURA — 1**  
Suelo del permafrost



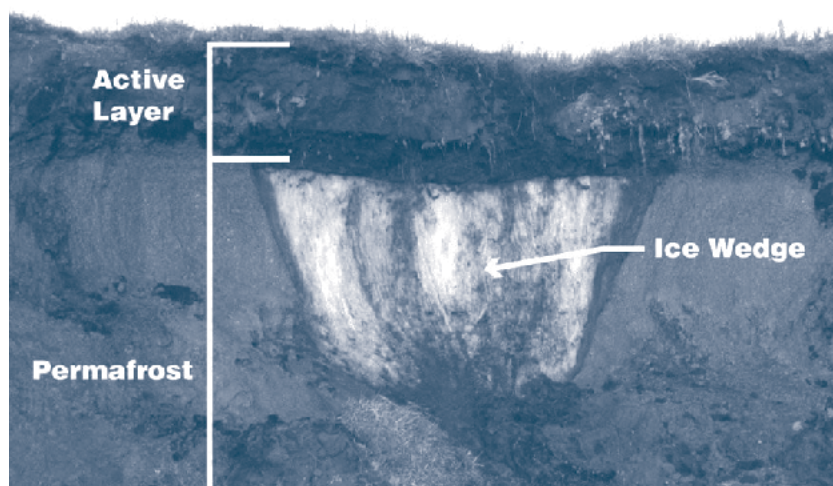
Fuente: tomado de Ibañez (2008) a partir de SciencePoles (s.f.)

Por efecto del Cambio Climático, el elevado incremento de la temperatura en las zonas más frías de la Tierra, donde se encuentra el permafrost –este suelo congelado–, produce su derretimiento y descomposición generando altísimas emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  a la atmósfera que afecta la función que este desempeña en la naturaleza, incrementa el Cambio Climático y sus efectos sobre las infraestructuras humanas, suelos y ecosistemas (Cheng & Wu, 2007; Schuur et al., 2015).

## EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL PERMAFROST

El suelo del permafrost tiene una capa conocida como *capa activa*, que se descongela cada verano y se vuelve a congelar cada invierno, cuyo espesor varía aproximadamente 30 cm en el permafrost continuo a lo largo de la Costa Ártica, 2m o más en el permafrost discontinuo del sur de Siberia, y hasta varios metros en los Alpes europeos y en la meseta Qinghai-Tibetana. Dicho espesor depende de un equilibrio entre la congelación de la superficie y calentamiento del interior de la Tierra (Figura 2) (UNEP, 2012). La recongelación anual retrasa la descomposición de los

**FIGURA — 2**  
Representación de la capa activa del permafrost



Fuente: tomado de Jones (s.f.) citado en Climate Kids (2022)

restos de plantas y animales, haciendo que se acumule materia orgánica en la capa activa y en el permafrost superior (UNEP, 2012).

Como componente principal de la *criósfera* (componentes congelados de la tierra, como la nieve, los glaciares, las plataformas de hielo, el hielo marino, el permafrost y los terrenos estacionalmente congelados), el permafrost es extremadamente vulnerable al cambio climático en diferentes escalas espaciales y temporales. Los cambios en los regímenes térmicos del permafrost son a menudo un indicador confiable del cambio climático. La degradación del permafrost generado por factores como aumentos en la temperatura del aire, así como los disturbios como incendios, provoca erosión en el suelo, lo que consecuentemente puede afectar la hidrología local, la ecología e incluso el clima (Figura 3) (Grosse et al., 2011; Mack et al., 2011; Smith et al., 2005; Turetsky et al., 2011). Cuando el permafrost se descongela, la materia orgánica que lo conforma se calienta y se descompone, y finalmente libera el carbono que contiene en forma de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , cuya emisión a la atmósfera afecta aún más los aumentos o decrementos contrastantes de temperatura entre regiones del planeta.

**FIGURA — 3**

**Deshielo del permafrost como consecuencia del cambio climático**



Fuente: tomado de USGS (s.f.) citado en Upton (2014)

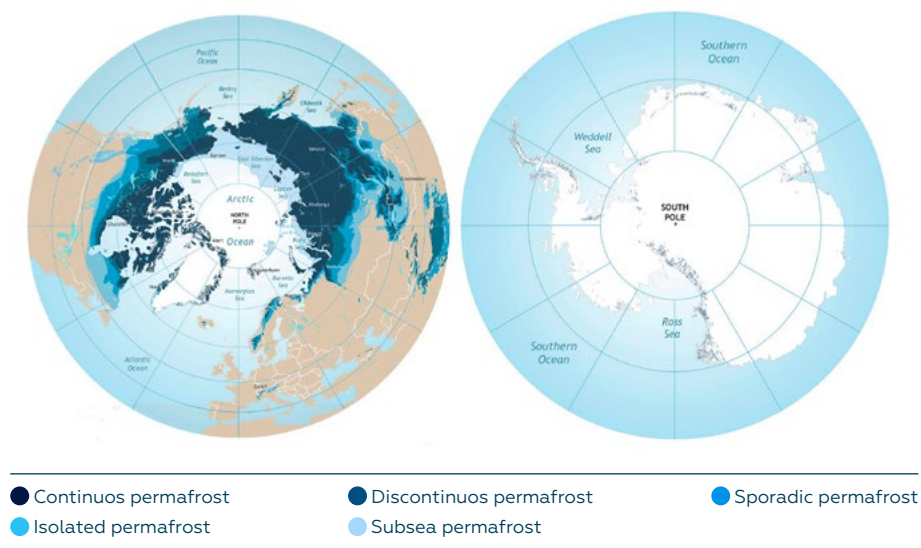
Los ecosistemas dominantes en las regiones de permafrost son bosques boreales al sur y tundra al norte; por lo tanto, la degradación del permafrost afectará los ecosistemas y la composición de las especies, alterando el hábitat de la vida silvestre y su migración. Se estima que hay 1.700 millones de toneladas de carbono congelado en el permafrost, lo que convierte al Ártico en uno de los sumideros de carbono más grandes del mundo. Su derretimiento emitiría aproximadamente cuatro veces más del  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  que los humanos han generado desde la revolución industrial, y casi el doble de lo que actualmente está contenido en la atmósfera (UNEP, 2012).

## ESTADO ACTUAL DEL PERMAFROST

La mayor parte está en el hemisferio norte, donde se estima que casi un cuarto de los suelos tiene permafrost. Se concentra principalmente en la región del Ártico, en particular en partes de Rusia, Estados Unidos, Canadá y Dinamarca (Groenlandia) (Smink, 2021). También se encuentra en cantidades significativas en las montañas del suroeste de Asia (Figura 4).

**FIGURA — 4**

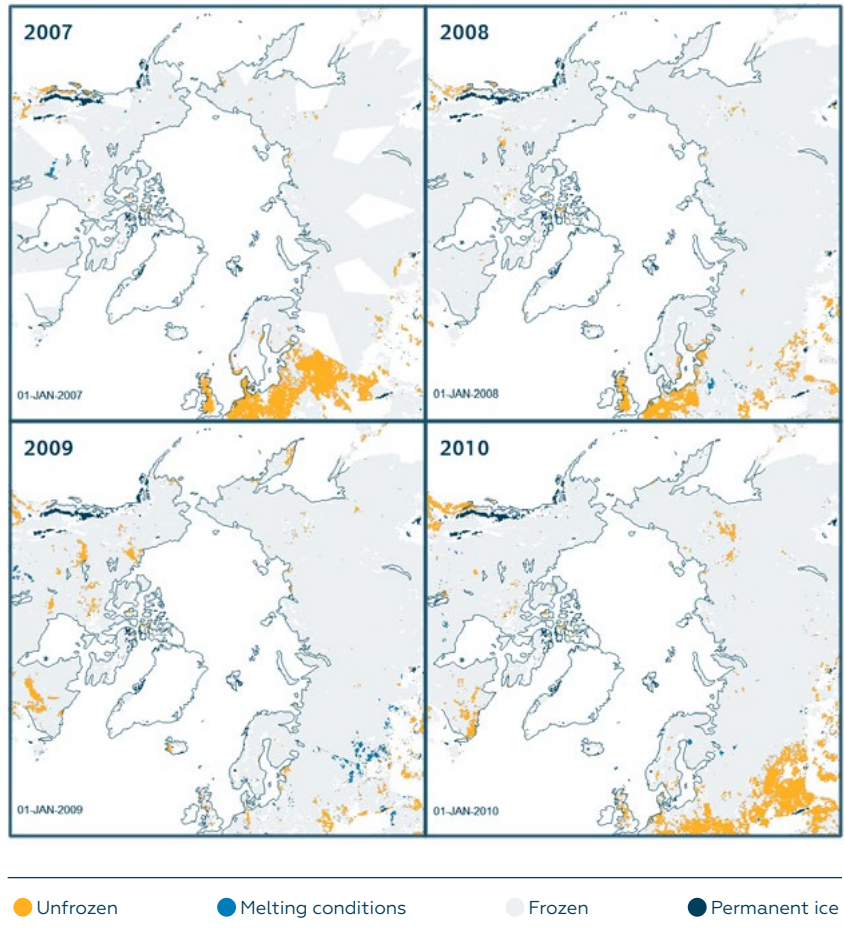
Distribución y ubicación de los suelos del permafrost



Fuente: tomado de International Permafrost Association (1997) citado en El Gen Curioso (2020)

Desde finales de 1960 se han registrado cambios significativos en la temperatura del permafrost debido al Cambio Climático (UNEP, 2012). La Figura 5 ilustra los cambios sufridos en el permafrost del hemisferio norte entre 2007-2010. Es por esto por lo que las laderas del norte de Siberia, Alaska y Canadá se desmoronan en el Océano Ártico, en algunos casos obligando a trasladar pueblos enteros (Figura 6). En Siberia, las mediciones muestran un aumento de las tasas de liberación de metano del permafrost debajo del lecho marino del Ártico y los lagos del Ártico

**FIGURA — 5**  
Cambios del permafrost en el hemisferio norte



Fuente: tomado de Vienna University of Technology (2012)



**FIGURA — 6**

Colapso de infraestructuras causados por el deshielo del permafrost



Fuente: tomado de Romanovsky (2018)

**FIGURA — 7**

Burbujas de metano liberadas por el deshielo del permafrost



Fuente: tomado de Vista al mar (2018)

canadiense se derriten cada vez más cada año (Figura 7). El permafrost continuo en el norte de Alaska se ha calentado de 2.2 a 3.9°C, desencadenando pérdidas de tierra por la erosión del suelo y causando grandes daños en carreteras, ferrocarriles, pistas de aterrizaje, entre otras. Rusia presenta algunos de los niveles más altos en calentamiento del permafrost más frío, con incremento de la temperatura hasta 3°C. (UNEP, 2012).

## POLÍTICA INTERNACIONAL PARA MITIGAR EL DESHIELO DEL PERMAFROST

El Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), como órgano científico asesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), lleva más de 30 años monitoreando la evolución del calentamiento global y el permafrost, alertando sobre los posibles riesgos a los que se enfrenta la humanidad. Presentó en 2007 un informe basado en el trabajo realizado por 104 científicos de 36 países del mundo centrado en la *criósfera* analizando las alteraciones ocasionadas en sus componentes como efecto del Cambio Climático (IPCC, 2007). No obstante, la totalidad de los cambios que ha sufrido el permafrost aún no está adecuadamente representado en la mayoría de los modelos del sistema terrestre utilizados por el IPCC dada la ausencia de datos globales estandarizados de observaciones de la temperatura de este para la validación del modelo.

Debido a esto, la *Asociación Internacional de Permafrost* (IPA), bajo la autorización del *Sistema Global de Observación del Clima* (GCOS) y sus organizaciones asociadas, creó la *Red Terrestre Global para Permafrost* (GTN-P) cuya función es tomar datos estandarizados, organizarlos, analizarlos y administrarlos junto con las observaciones de cambios ocurridos en el permafrost, para predecir los efectos del Cambio Climático (UNEP, 2012). Existen dos redes globales: la primera para monitorear el estado térmico del permafrost (TSP) a través de las mediciones de temperatura; y la red *Circumpolar Active Layer Monitoring* (CALM), que coordina las mediciones del espesor de la capa activa (UNEP, 2012).

El *Sistema Mundial de Observación Terrestre* (GTOS) utiliza la temperatura del permafrost y la profundidad de la capa activa como variables climáticas esenciales para monitorear el estado de la *criósfera* y el clima

global. Y la IPA coordina el desarrollo internacional y la operación de las redes TSP y CALM para la *Red Terrestre Global para Permafrost* (UNEP, 2012).

### **Alternativas de mitigación del deshielo del Permafrost**

El deshielo del permafrost debido al aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático representa un alto riesgo a futuro porque no permitiría cumplir con las metas del *Acuerdo de París 2015*, de la *Cumbre Climática de Madrid, 2019* y del *Pacto de Glasgow, 2021* (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015, 2021a, 2021b) (ver capítulo de apertura) de lograr que el incremento promedio de temperatura de la atmósfera respecto a la era pre-industrial sea inferior a 1.5 °C. La mitigación del deshielo del permafrost apoyaría a cumplir con el compromiso de reducir en un 50% las emisiones globales de GEI para evitar escenarios de deshielo, pérdida de diversidad y hábitats para las especies. Como plan de mitigación a largo plazo, las estrategias planteadas incluyen, entre otras, las siguientes (Arrastia, 2018):

#### ***Transición energética***

El sector energético y el empleo de combustibles fósiles, especialmente el carbón, generan altos niveles de GEI (ver capítulos 1, 2) en especial CO<sub>2</sub>. Por esto, se debe considerar modificar las metodologías de producción energética a formas que tengan menos impacto para el medio ambiente y se acordó en el *Pacto de Glasgow 2021* reducir paulatinamente el consumo de carbón en dos tercios para el 2030 y llegar cerca a cero en el 2050.

#### ***Agricultura Sostenible***

La agricultura industrial, intensiva en maquinaria, en aplicación de fertilizantes, plaguicidas, fungicidas y altísimo gasto hídrico, es un gran emisor de GEI, principalmente CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Una opción resiliente frente al Cambio Climático es optar por una agricultura ecológica, sostenible y diversificada frente a los monocultivos, evitando el uso de fertilizantes y otros productos químicos.

#### ***Protección de ecosistemas***

La conservación de los sumideros de carbono tales como bosques, pasturas y humedales tiene el potencial de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por su alta capacidad de captura de carbono. La conservación, recuperación y protección de estos ecosistemas son objetivos a largo plazo para afrontar el cambio climático.



## CONCLUSIONES

Como se describe en el presente artículo, el derretimiento y degradación del permafrost puede liberar cantidades altísimas de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> que incrementarían las temperaturas del planeta y el Cambio Climático. Por lo cual es necesario continuar y apoyar la acción conjunta de todos los países, en mitigación y adaptación, liderados por la CMNUCC tendientes a preservar la criósfera.

## REFERENCIAS

- ARRASTIA, D.** (2018). *Plan de acción para frenar el calentamiento global*. Acciona. <https://planetainteligente.elmundo.es/2019/eco/plan-de-accion-para-frenar-el-calentamiento-global.html>
- BLOOMBERG.** (2016). *El “permafrost” debajo de las vías se derrite por los cambios de temperatura [Fotografía]*. El Deshielo Por El Cambio Climático Afecta Las Principales Carreteras de Alaska. <https://www.eleconomistaamerica.com/internacional-eAm-mexico/noticias/7745975/08/16/El-deshielo-por-el-cambio-climatico-afecta-las-principales-carreteras-de-Alaska.html>
- CHENG, G. & Wu, T.** (2007). Responses of permafrost to climate change and their environmental significance, Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(F2).
- EL GEN CURIOSO.** (2020). *Mapa de la distribución del permafrost*. <https://www.elgencurioso.com/2020/10/13/permafrost-el-gran-problema-del-cambio-climatico/>
- GROSSE, G., Harden, J., Turetsky, M., McGuire, A. D., Camill, P., Tarnocai, C., Frolking, S., Schuur, E. A. G., Jorgenson, T. & Marchenko, S.** (2011). Vulnerability of high-latitude soil organic carbon in North America to disturbance. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G4).
- HEGINBOTTOM, J. A., Brown, J., Melnikov, E. S. & Ferrians Jr, O. J.** (1993). Circumarctic map of permafrost and ground ice conditions. *Proceedings of the Sixth International Conference on Permafrost*, 2, 1132-1136. [https://nsidc.org/sites/nsidc.org/files/technical-references/Heginbottom.etal\\_1993.pdf](https://nsidc.org/sites/nsidc.org/files/technical-references/Heginbottom.etal_1993.pdf)

**IBAÑÉZ, J.** (2008). *Permafrost [Fotografía]*. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/08/23/99331>

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_sp.pdf)

**INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2021). *Cambio Climático 2021: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.

**JONES, B.** (2022). The layers of permafrost. In Climate Kids (Ed.), *What is permafrost?* <https://climatekids.nasa.gov/permafrost/>

**MACK, M. C.,** Bret-Harte, M. S., Hollingsworth, T. N., Jandt, R. R., Schuur, E. A. G., Shaver, G. R. & Verbyla, D. L. (2011). Carbon loss from an unprecedented Arctic tundra wildfire. *Nature*, 475(7357), 489-492.

**RABASSA, J.** (2014). IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL SOBRE LOS GLACIARES Y EL PERMAFROST EN AMÉRICA DEL SUR, CON ÉNFASIS EN PATAGONIA, TIERRA DEL FUEGO Y LA PENÍNSULA ANTÁRTICA. En Centro Austral de Investigaciones Científicas [CADIC] & Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas [CONICET] (Eds.), *III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE*. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77766/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/77766/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**ROMANOVSKY, V.** (2018). *Una casa privada al norte de Fairbanks (Alaska) se está hundiendo de manera desigual en el permafrost por el deshielo [Fotografía]*. SINC. <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Las-construcciones-del-Artico-estan-en-peligro-por-el-deshielo-del-permafrost>

**SCHUUR, E. A. G.,** McGuire, A. D., Schädel, C., Grosse, G., Harden, J. W., Hayes, D. J., Hugelius, G., Koven, C. D., Kuhry, P. & Lawrence, D. M. (2015). Climate change and the permafrost carbon feedback. *Nature*, 520(7546), 171-179.

- SMINK, V.** (2021). Qué es el permafrost y por qué podría representar una de las amenazas más grandes para nuestra atmósfera. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-59058465>
- SMITH, L. C., Sheng, Y., MacDonald, G. M. & Hinzman, L. D.** (2005). Disappearing arctic lakes. *Science*, 308(5727), 1429.
- TURETSKY, M. R., Kane, E. S., Harden, J. W., Ottmar, R. D., Manies, K. L., Hoy, E. & Kasischke, E. S.** (2011). Recent acceleration of biomass burning and carbon losses in Alaskan forests and peatlands. *Nature Geoscience*, 4(1), 27-31.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME [UNEP].** (2012). *Policy Implications of Warming Permafrost*. <https://epic.awi.de/id/eprint/33086/1/permafrost.pdf>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>
- UPTON, J.** (2014). *Coastal permafrost eroding in Alaska [Fotografía]*. <https://www.climatecentral.org/news/good-news-bad-news-on-carbon-from-melting-permafrost-18001>
- VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.** (2012). *Frozen land [Fotografía]*. [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Space\\_for\\_our\\_climate/Signs\\_of\\_thawing\\_permafrost\\_revealed\\_from\\_space](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Space_for_our_climate/Signs_of_thawing_permafrost_revealed_from_space)
- VISTA AL MAR.** (2018). *El deshielo de los lagos árticos está burbujeando metano, lo que amplifica el calentamiento global [Fotografía]*. <https://www.vistaalmar.es/medio-ambiente/cambio-climatico/7574-deshielo-lagos-articos-burbujeando-metano-amplifica-calentamiento-global.html>



## CAPÍTULO 9

# Los Páramos Andinos

GINA MARCELA CANO  
HUBER ALEJANDRO LASSO  
MARÍA ISABEL CIFUENTES  
VALENTINA CORREA  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Esta investigación define qué es un Ecosistema de Páramo y su función ecológica en el mundo, informa cuáles han sido los efectos del Cambio Climático sobre estos ecosistemas y describe la Política internacional y colombiana para su protección, conservación y delimitación.

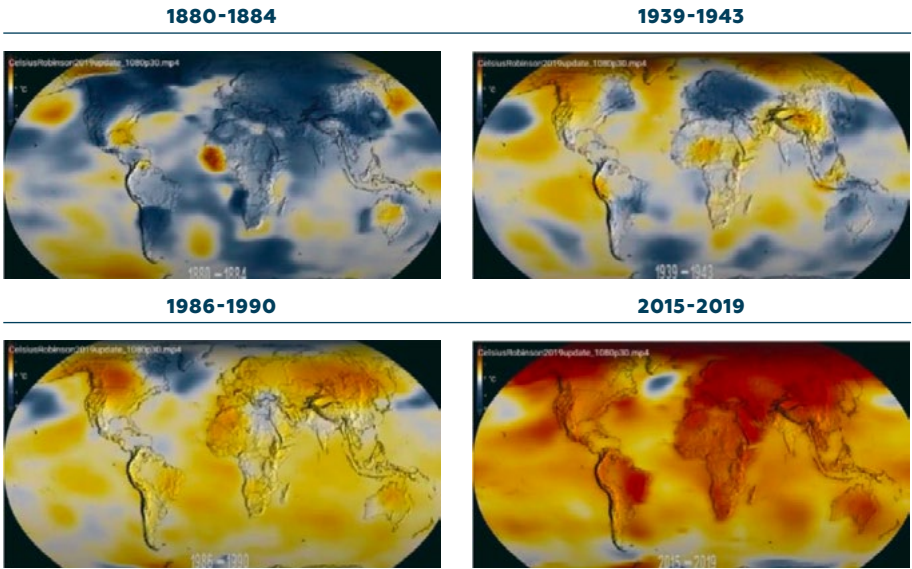


## EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS A NIVEL MUNDIAL

El fenómeno ambiental conocido como *Cambio Climático Global* fue inicialmente definido por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992, citado Zamora Martínez, 2015) como “*un cambio del clima debido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables...*”. Sin embargo, el último informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2018a) expresa que “*con altísima probabilidad, el Cambio Climático Global se atribuye exclusivamente a la actividad humana*” y, por consiguiente, es responsabilidad de los países luchar contra él y adelantar acciones de mitigación, adaptación y políticas públicas con este fin. Se ha determinado que el cambio climático es causado por el aumento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera generadas por la industrialización (1750 hasta el presente): utilización desmedida de combustibles fósiles –carbón, petróleo y gas natural–; deforestación; agricultura industrial a gran escala; emisiones industriales de gases fluorados; estilo de vida de la moderna sociedad de consumo, entre otros (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015, 2021a, 2021b). Esto tiene efectos en los patrones de temperatura, precipitación y ocasiona cambios drásticos en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes, sequías, incendios espontáneos, entre otros (González Elizondo et al., 2003) (ver capítulo de apertura). La Figura 1 ilustra en imágenes satelitales de la NASA el aumento de la temperatura promedio de la atmósfera de la Tierra en períodos antes (1880-1884 y 1939-1943) y después del efecto causado por la industrialización creciente (1986-1990 y 2015-2019).

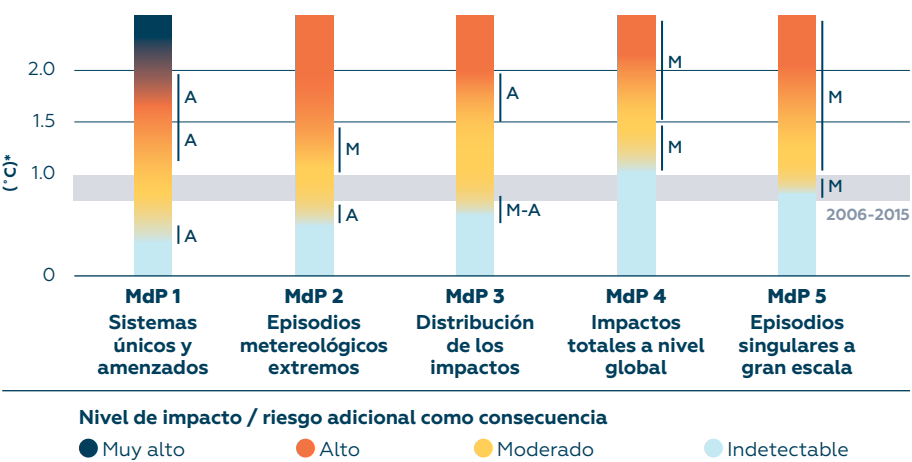
Según IPCC (2018), los sistemas únicos y amenazados, como los arrecifes de coral, el ártico, los glaciares y los páramos entre otros, muestran un nivel de impacto muy alto si el incremento de temperatura promedio terrestre con respecto a la era preindustrial supera 1.5 °C (Figura 2).

**FIGURA — 1**  
Variaciones en la temperatura desde 1880 a 2019



Fuente: tomado de NASA en Español (2020)

**FIGURA — 2**  
Efectos del incremento en la temperatura media global con respecto a los niveles preindustriales (de 1, 1.5 o 2 oC) sobre sistemas únicos y amenazados



\*Cambio en la temperatura media global en superficie con respecto a los niveles pre industriales (°C)

Fuente: tomado de IPCC (2018)



## ECOSISTEMA DE PÁRAMO Y SU FUNCIÓN ECOLÓGICA

### ¿Qué es un ecosistema de páramo?

El páramo es un bioma neotropical en donde se encuentran extensas zonas que coronan las cordilleras entre el bosque andino y el límite inferior de las nieves perpetuas (Figura 3). El concepto de páramo ha sido difícil de definir debido a su heterogeneidad y puede ser visto de distintas maneras, entre ellas como un ecosistema, un bioma, una ecoregión, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción e inclusive un estado del clima (Hofstede et al., 2017). La definición que más acoge lo anterior y que es práctica para aplicar a la mayoría de los lugares que se conocen como páramo es: *“ecosistema húmedo tropical zonal, caracterizado por una vegetación dominada por vegetación herbácea y arbustiva, y ubicada predominantemente a partir del límite superior del bosque”* (Hofstede et al., 2017).

### Tipos de páramos

Los páramos se pueden clasificar según su distribución geográfica, altitudinal, tipo de vegetación, régimen climático y por su estado de conservación. Según su distribución altitudinal se clasifican en Subpáramo, Páramo y Superpáramo (Cuatrecasas, 1958, citado en Banco de Occidente,

**FIGURA — 3**  
Páramo



Fuente: tomado de Ovagen (s.f.)

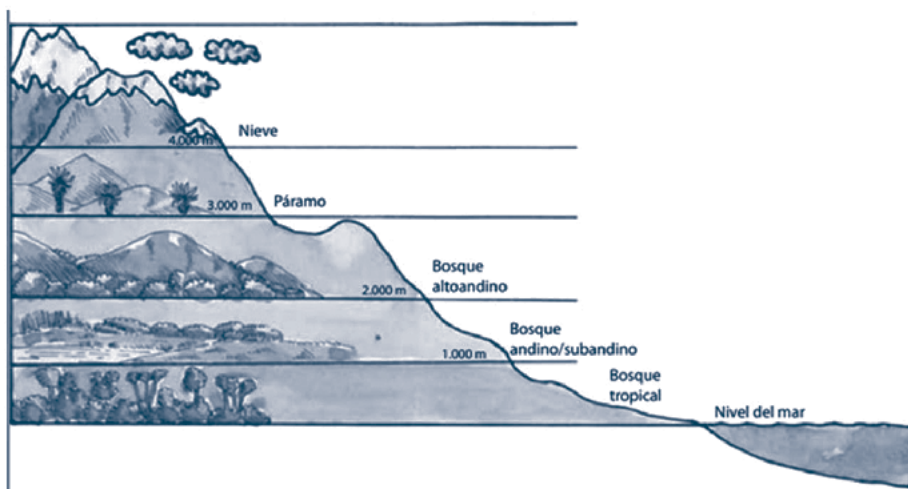
2001). El *Subpáramo* corresponde a la zona de transición entre el bosque montano y el páramo abierto, se caracteriza por vegetación arbustiva y está entre los 3.200 y 3.600 msnm. Su vegetación predominante son frailejones o rosetales, pajonales y chuscales. El *Páramo* corresponde a la franja situada entre los 3.600 y 4.000 msnm y el *Superpáramo* se encuentra por encima de los 4.100 msnm y llega hasta el límite inferior de los glaciares. Se caracteriza por la discontinuidad de la vegetación y la aparición de roca desnuda, la cobertura y la diversidad vegetal disminuyen a medida que aumenta la altura. Las especies de flora y fauna van cambiando a medida que se asciende en la montaña (Kattan, 2003). La Figura 4 presenta la clasificación de ecosistemas según su distribución altitudinal desde el glaciar (+4.500 msnm), superpáramo (4100 a 4500 msnm), páramo (3600 a 4000 msnm), páramo bajo (3000 a 3500 msnm), bosque altoandino, páramo arable y cultivos (2500 a 3500 msnm) (Rivera-Ospina & Rodríguez-Murcia, 2011). Y la Figura 5 muestra una segunda clasificación altitudinal de ecosistemas propuesta por Chapman (2011).

**FIGURA — 4**  
Clasificación de los ecosistemas de páramo según su altura



Fuente: tomado de Rivera-Ospina y Rodríguez-Murcia (2011).

**FIGURA — 5**  
Gradientes altitudinales definidos



Fuente: tomado de Chapman (2011).

## Páramos en el mundo

Si definimos el páramo como un **bioma** (ecosistema tropical húmedo sobre el límite del bosque), podemos encontrarlos en África, Indonesia, Papúa y Nueva Guinea. En América solo Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Costa Rica cuentan con páramos tropicales ubicados, en gran medida, en la cordillera de los Andes, a excepción de los de la Sierra Nevada de Santa Marta y los de Costa Rica (Morales-Rivas et al., 2007) (Tabla 1). Cuando los páramos son vistos como **ecorregiones** (extensa área que contiene comunidades naturales distintivas que comparten condiciones climáticas, dinámicas ecológicas y especies de un modo determinante a largo plazo para su subsistencia) el 99% se encuentran en la Cordillera de los Andes, en la Sierra Nevada de Santa Marta y Costa Rica, contando Colombia con el 53% (34 páramos que ocupan el 1.7% del territorio nacional y cubren una superficie total de 1.932.395 ha) (Morales-Rivas et al., 2007).

**TABLA — 1**  
**Área de páramo en los diferentes países latinoamericanos en los que se encuentran**

PAÍS	ÁREA EN HECTÁREAS	% DEL TERRITORIO NACIONAL	% DE PÁRAMO ADINO
Colombia	1.932.395	1,7%	53,2%
Ecuador	1.337.119	4,7%	36,8%
Venezuela	266.000	0,3%	7,3%
Perú	46.184	0,4%	1,3%
Costa Rica	15.000	14%	0,4%
Panamá	2.000	0,02%	0,1%

Fuente: tomado de Hofstede et al. (2017)

**FUNCIÓN ECOLÓGICA DE LOS ECOSISTEMAS DE PÁRAMO**

**Biodiversidad**

Comparado con otros ecosistemas tropicales, la riqueza de especies en los páramos no es tan alta (Tabla 2). Lo relevante es el alto grado de endemismo y el establecimiento de especies con requerimientos únicos que solo este ecosistema podría ofrecer. Hay alrededor de 5.000 especies vegetales que representan el 20% del total de la riqueza de plantas colombiana, 60% son especies endémicas.

**Servicios ecosistémicos**

Los páramos cuentan con suelos capaces de **almacenar y capturar carbono**, importante función para mitigar el Cambio Climático y **almacenamiento y regulación hídrica**. En Colombia, los principales ríos nacen en zonas de páramo y gracias a ellos se abastece de agua a más del 70% de los colombianos. Adicionalmente, contribuyen a la **regulación del clima regional** y son **sitios sagrados para culturas ancestrales**.

**TABLA — 2**  
Riqueza de especies de vertebrados dentro de los páramos colombianos

	PÁRAMO COLOMBIANO	ANDES COLOMBIANO	COLOMBIA
Mamíferos	70	177	480
Reptiles	15	277	570
Aves	154	974	1900
Anfibios	90	380	760

Fuente: tomado de Rangel-Ch (2000)

## EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS PÁRAMOS

El IPCC (2018) identificó a los páramos como uno de los sistemas únicos más amenazados, si el incremento de temperatura promedio terrestre con respecto a la era preindustrial supera 1.5 °C (Figura 2). Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM, 2011) basado en el análisis de registros de estaciones meteorológicas situadas en ecosistemas de páramo entre 2900 y 4141 msnm, los impactos en los páramos asociados con el Cambio Climático han sido: fuertes incrementos en temperatura (1 °C/década en páramo alto y 0.3-0.6 °C/década en páramo bajo), disminución en la ocurrencia de precipitaciones de alta intensidad (-0.6 a -13.6 mm/año) (Tabla 3) y el aumento en la evaporación del agua. Estos cambios drásticos afectan la función vital de los páramos en regulación de agua, captura de carbono, producción de oxígeno y biodiversidad. Además, están produciendo una fuerte contracción de los glaciares en Colombia afectando los componentes bióticos de este ecosistema.

Según GreenPeace Colombia (2009), la adaptación de las especies al cambio climático dependerá no solo de su variabilidad genética, sino de su capacidad de migración y dispersión. Especies con altas tasas de migración y colonización de nuevos hábitats a distancia, serían las más favorecidas y aquellas con menores tasas serían mucho más vulnerables al Cambio Climático. Las asociaciones actuales entre las especies se pueden romper, y aparecerán nuevas comunidades o formas de combinación de especies.

**TABLA — 3**  
Disminución de las precipitaciones anuales (mm/año)  
en el ecosistema Páramo a distinta elevación (msnm)

ELEVACIÓN (MSNM)	TENDENCIA (MM/AÑO)
4141	-2.8
3716	-13.6
3590	-10.6
3120	-0.6
2950	-3.9
2900	-1.5

Fuente: tomado de IDEAM (2011)

**POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA: PROTECCIÓN, CONSERVACIÓN Y DELIMITACIÓN**

**Política internacional**

La cooperación y alianzas internacionales ayudan a la toma de medidas institucionales para la protección de áreas vulnerables en temas medioambientales, salvaguardando los ecosistemas, recursos naturales y mejorando la calidad de vida de comunidades aledañas. La investigación científica sobre los páramos brinda información y herramientas a los gobiernos para la generación de política pública en pro de la conservación y protección de estas áreas. A continuación, se mencionan alianzas y proyectos entre países en pro del medio ambiente.

El Proyecto Regional Comunidades de los Páramos titulado *Los páramos andinos: ¿qué sabemos?* (Hofstede et al., 2017), financiado por el Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia, ejecutado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, Oficina Regional para América del Sur) e implementada por Tropenbos Internacional Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humbolt, Colombia, Fundación Ecociencia, Ecuador, e Instituto de Montaña, Perú, tiene como objetivo “fortalecer el aprendizaje e intercambios entre países y desarrollar las capacidades de los actores locales y decisores a nivel local, nacional y regional para implementar acciones de adaptación al cambio climático en los páramos de Colombia, Ecuador y Perú” (Hofstede et al., 2017, p. 7).

## Política colombiana

La Tabla 4 relaciona las leyes y decretos enfocados hacia la protección y conservación (ley 373 del 1997, Ley de 388 de 1997, Resolución 0839 de 2003 y Resolución 1128 de 2006) y delimitación de los páramos (Decretos 3570 del 2011 y Resolución 0937 del 2011).

**TABLA — 4**

Legislaciones para la protección, conservación y delimitación de los páramos en Colombia

LEGISLACIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>Artículo 16 de la Ley 373 de 1997</b>	“Las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos acuíferos y de estrellas fluviales, deberán ser adquiridos o protegidos con carácter prioritario por las autoridades ambientales, entidades territoriales y entidades administrativas de la jurisdicción correspondiente...” (Congreso de la República de Colombia, 1997a).
<b>Artículos 15 y 35 de la Ley de 388 de 1997</b>	Estiman las categorías del suelo rural los cuales son áreas de conservación y protección ambiental, pues hacen parte de la estructura ecológica principal. Estima un plan de ordenamiento para garantizar la protección y conservación de las siguientes categorías: “4. Las áreas de especial importancia como los páramos, subpáramos, nacimientos de agua...” (Congreso de la República de Colombia, 1997b).
<b>Resolución 0839 de 2003</b>	Términos elaboración Estudios de Estado Actual de páramos (EEAP) y Planes de Manejo Ambiental de páramos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2003).
<b>Resolución 1128 de 2006</b>	Facultad a las autoridades ambientales para aprobación de los Estudios de Estado Actual de páramos (EEAP) y Planes de Manejo Ambiental de páramos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006a).
<b>Decreto 3570 de 2011</b>	Elaborar los términos de referencia para la realización de los estudios para la delimitación de los páramos y humedales, sin requerir la adopción de estos (Presidencia de la República de Colombia, 2011).
<b>Resolución 0937 de 2011</b>	Se adopta cartografía a escala 1:250.000 para la identificación y delimitación de los ecosistemas de Páramos (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011).

## CONCLUSIONES

Los páramos han sido considerados por las CMNUCC como ecosistemas estratégicos únicos por la biodiversidad que albergan y los servicios ecosistémicos que prestan como son: almacenamiento y captura carbono, almacenamiento y regulación hídrica, regulación del clima regional y ser además sitios sagrados para culturas ancestrales. El incremento de temperatura, disminución de precipitación y aumento de la evaporación del agua, efectos del Cambio Climático, atentan gravemente contra la vida de este ecosistema fuente, junto con los glaciares, del agua potable para la humanidad. Es de gran importancia que los países que albergan ecosistemas de páramo, tanto países andinos como otros en el mundo, continúen apoyando y participando activamente en acuerdos mundiales para su protección, conservación y delimitación. Esto contribuye adicionalmente a la disminución de GEI y mitigación del Cambio Climático.

## REFERENCIAS

- BANCO DE OCCIDENTE.** (2001). ZONAS ALTITUDINALES DEL PÁRAMO. En *Páramos de Colombia*. <https://www.imeditores.com/banocc/paramos/cap4.htm>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (1997a). LEY 373 DE 1997. [http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/ley\\_373\\_de\\_1997.pdf](http://www.saludcapital.gov.co/Normo/gsp/ley_373_de_1997.pdf)
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (1997b). LEY 388 DE 1997. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=339#:~:text=Posibilitar a los habitantes el,y los servicios públicos domiciliarios.>
- GONZÁLEZ ELIZONDO, M.,** Jurado Ybarra, E., González Elizondo, S., Aguirre Calderón, Ó. A., Jiménez Pérez, J. & Nívar Cháidez, J. de J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia Unal*, 6(3).
- GREENPEACE COLOMBIA.** (2009). *Cambio Climático: futuros negros para los páramos*. [http://greenpeace.co/pdf/paramos/informe\\_todo3.pdf](http://greenpeace.co/pdf/paramos/informe_todo3.pdf)
- HOFSTEDE, R.,** Calles, J., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J. & Cerra, M. (2017). Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-025.pdf>



- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES [IDEAM].** (2011). *EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA*. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Evidencias+de+Cambio+Climático+en+Colombia+con+base+en+información+estadística.pdf/1170efb4-65f7-4a12-8903-b3614351423f>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2018). *Calentamiento global de 1,5 °C. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)
- KATTAN, G.** (2003). Bosques andinos y subandinos del departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Estrategia de Manejo Ambiental de La Zona Media y Baja de La Subcuenca Del Río Pance*.
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** (2003). *RESOLUCION 0839 DE 2003*. [https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minambientevd\\_0839\\_2003.htm](https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevd_0839_2003.htm)
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** (2006). *RESOLUCIÓN 1128 DE 2006*. <https://corponarino.gov.co/expedientes/juridica/2006resolucion1128.pdf>
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** (2011). *Resolución 0937 de 2011*. [https://www.redjurista.com/Documents/resolucion\\_937\\_de\\_2011\\_ministerio\\_de\\_ambiente\\_vivienda\\_y\\_desarrollo\\_territorial.aspx#/](https://www.redjurista.com/Documents/resolucion_937_de_2011_ministerio_de_ambiente_vivienda_y_desarrollo_territorial.aspx#/)
- MORALES-RIVAS, M.,** Otero García, J., Hammen, T. van der, Torres Perdigón, A., Cadena Vargas, C. E., Pedraza Peñaloza, C. A., Rodríguez Eraso, N., Franco Aguilera, C. A., Betancourth Suárez, J. C. & Olaya Ospina, É. (2007). Atlas de páramos de Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*.
- NASA EN ESPAÑOL.** (2020). 2019 fue el segundo año más caluroso registrado [Archivo de video]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=xy\\_XoaNISio](https://www.youtube.com/watch?v=xy_XoaNISio)
- OVAGEN.** (s.f.). *Páramo; Clima, flora, fauna y características*. <https://ecosistemas.ovacen.com/bioma/paramo/>

- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2011). *DECRETO 3570 DE 2011*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65328>
- RANGEL-CH, J. O.** (2000). La región paramuna y franja aledaña en Colombia. *Colombia Diversidad Biótica III. La Región de Vida Paramuna*, 1.
- RIVERA-OSPINA, D. & Rodríguez-Murcia, C. E.** (2011). *Guía divulgativa de criterios para la delimitación de páramos de Colombia*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>
- ZAMORA MARTÍNEZ, M. C.** (2015). Cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(31), 4-7. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322015000500001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322015000500001&lng=es&tlng=es).

## CAPÍTULO 10

# Aparición y resurgimiento de enfermedades virales

ISABELLA HERNÁNDEZ  
VALENTINA ZAMBRANO  
ALEJANDRA Saldarriaga  
DANIEL PAZ  
YULIANA CARVAJAL  
LAURA MARCELA QUINTERO  
STEPHANY ANDREA MONTOYA  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

La presente investigación analiza cómo la complejidad de los múltiples efectos que ha generado el *Cambio Climático Global* ha contribuido a la aparición de nuevos virus o al resurgimiento de virus que se creían extintos, causando graves enfermedades en el ser humano. Se describen virus que surgieron antes de 1990 y nuevos virus que aparecieron después de 1990 hasta el presente, posiblemente asociado a las drásticas alteraciones ambientales asociadas con el Cambio Climático.



## INTRODUCCIÓN

La intensificación en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha venido generando cambios drásticos y muy variables entre regiones en el sistema climático del planeta en tres parámetros principales: la temperatura, la precipitación o el patrón de las lluvias entre regiones y el nivel del mar (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). En 2019 el IPCC (2018) expresó que con un altísimo grado de certeza, el Cambio Climático Global se atribuye a la actividad humana y en su último informe en el 2021 afirma que sin ninguna duda, el Cambio Climático es producido por la actividad humana (IPCC, 2021).

Como resultado, el mundo está experimentando graves alteraciones en los ecosistemas globales terrestres. Trabajos científicos sugieren que los rangos de especies animales, principalmente insectos, y de especies vegetales, principalmente arbóreas en bosques nativos y selvas, han variado significativamente (Houghton, 1992; Houghton et al., 1990). El derretimiento del permafrost y el deshielo de los glaciares y nevados (ver capítulos 8 y 9) con la liberación de microorganismos que se hallaban congelados por miles de años, desconocidos por la comunidad científica, y la pérdida de cobertura de selva virgen en conjunto con su fauna y flora con migraciones de animales salvajes a áreas rurales o semiurbanas representan un riesgo para las poblaciones humanas.

## LOS VIRUS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Un virus es un agente infeccioso más pequeño que una célula, conformado por genoma de ADN o ARN rodeado por una cubierta proteica, pueden llegar a medir entre 0.02 y 1  $\mu\text{m}$  (Kramer, 2020a). Los virus se clasifican dependiendo de la estructura del genoma y la enfermedad viral que producen cuando invaden las células sanas del cuerpo humano donde se multiplican. Las enfermedades virales se agrupan en nueve categorías: respiratorias, gastrointestinales, exantemáticas, hepáticas, neurológicas, hemorrágicas, cutáneas o mucosas, multisistémicas y enfermedad febril inespecífica (Kramer, 2020b).

Para interconectar el tema de los virus con el Cambio Climático es importante citar que este fenómeno puede acelerar el desplazamiento de nuevos virus al descongelar, quemar, inundar o secar los hábitats en respuesta a temperaturas más altas y tormentas más fuertes. Según el

Centro para Control y Prevención de Enfermedades, *“las alteraciones en el clima pueden conducir a la propagación de enfermedades virales en áreas en las que comúnmente no se encontraban”* (Passport Health, s.f.). Un ejemplo es la propagación de mosquitos y otros vectores de virus cuyo hábitat original eran las zonas tropicales y hoy se encuentran en otras zonas geográficas en las que no existían. *“Las condiciones para estas enfermedades son dinámicas a lo largo del tiempo y dado que estamos cambiando nuestras dinámicas sociales y ambientales, la distribución global de enfermedades virales como el dengue también cambiará”* dice Corinne Schuster-Wallace, investigadora de la Universidad de las Naciones Unidas (s.f., citado en Passport Health, s.f.).

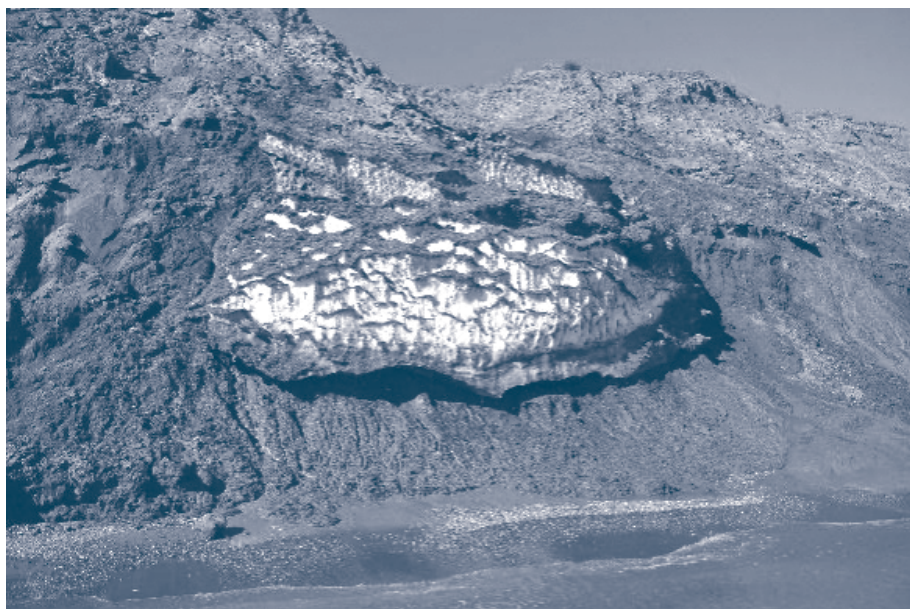
## DERRETIMIENTO DEL PERMAFROST

El permafrost es la capa de suelo permanentemente congelada en las regiones polares y *“un muy buen conservante de microbios y virus, porque es frío, no contiene oxígeno y es oscuro”* (Claverie, s.f., citado en Fox-Skelly, 2017). Sin embargo, con su derretimiento y descomposición por efecto del Cambio Climático (Figura 1), los microorganismos liberan CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> causando que se activen virus que permanecían latentes (Fox-Skelly, 2017) (ver capítulo 8). Por ejemplo, en la década de 1890 hubo una importante epidemia de Viruela (virus *Variola*) en Siberia y una ciudad perdió hasta el 40% de su población, los cadáveres fueron sepultados bajo la capa superior del permafrost en las riberas del río Kolyma, Rusia. 120 años después, los desbordamientos del Kolyma y el derretimiento del permafrost han producido el rebrote del virus de la Viruela. Según Claverie (s.f., citado en Morelle, 2014), director del Laboratorio de Información Genómica y Estructural del CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique, París), se revivieron dos virus que estaban congelados durante 30.000 años y habían quedado atrapados el permafrost siberiano a 30 metros bajo tierra, conocidos como *Pithovirus sibericum* y *Mollivirus sibericum*, “virus gigantes”, pues son tan grandes que pueden ser vistos bajo un microscopio regular. Claverie (s.f., citado en Villareal, 2016, párrafo 5) advirtió: *“podemos reactivar la posibilidad de que la viruela vuelva a ser una enfermedad humana en tiempos modernos, bien por el cambio climático o por las prospecciones mineras cercanas al Ártico”*.

## DERRETIMIENTO DE LOS GLACIARES

Aproximadamente el 10% de la superficie terrestre está cubierta de hielo glacial, casi 90% está en la Antártida y el 10% restante en Groenlandia. Desde principios de 1900, muchos glaciares alrededor del mundo se han venido derritiendo rápidamente por efecto del Cambio Climático (Figura 2). Investigadores de la Universidad Estatal de Ohio a través de la obtención y análisis de dos núcleos de hielo de 50mts de profundidad del *Glaciar Guliya*, noroeste del Tíbet, revelaron 33 grupos de virus congelados por más de 15 mil años que la comunidad científica no conocía (DW, 2021; Fox-Skelly, 2017). Otros científicos han descubierto fragmentos de ARN (ácido ribonucleico) del virus de la Gripe Española de 1918 en cadáveres enterrados en fosas comunes en la tundra de Alaska (Fox-Skelly, 2017).

**FIGURA —1**  
Derretimiento del Permafrost



Fuente: tomado de GenÉthico (2022).

**FIGURA — 2****Derretimiento de un glaciar en Groenlandia**

Fuente: tomado de Actualidad 1040 (2016).

## **INSECTOS, ANIMALES Y HUMANOS EN LA PROPAGACIÓN DE VIRUS**

*“A medida que los hábitats cambian y las personas se desplazan y la vida silvestre se mueve, van a estar entrando más en contacto unos con otros”,* dijo Jeanne Fair, experta en bioseguridad y salud pública del Laboratorio Nacional de Los Álamos, Nuevo México (Contreras Lopéz, 2020). El contacto cada vez más cercano, a su vez, aumenta significativamente el riesgo de que una enfermedad animal se extienda a los humanos. Mosquitos, flebótomos, chinches triatominos, simúlidos, garrapatas, moscas tsetsé, ácaros, caracoles y piojos se han identificado como vectores de enfermedades virales y surgen en su mayoría en regiones tropicales y sub-tropicales.



GRAVES ENFERMEDADES VIRALES, SU ORIGEN Y VECTOR

Se citan algunas enfermedades virales surgidas antes de 1990 –año a partir del cual se empezaron a evidenciar los efectos del Cambio Climático– y su resurgimiento posterior por causa del mismo vector (Tabla 1); y nuevas enfermedades virales que aparecieron después de 1990 hasta el presente, posiblemente asociado con las drásticas alteraciones ambientales causadas por el Cambio Climático (Tabla 2).

TABLA — 1  
Enfermedades virales antes de 1990: sus orígenes y vectores

ENFERMEDAD	DESCRIPCIÓN	VECTOR
Fiebre del Dengue 265-420 d.C. Rebrotos en siglo XX	Enfermedad viral que se dio inicialmente en la Dinastía Jin en China en 265 a 420 d.C, es causada por un virus de la familia <i>Flaviviridae</i> , transmitido por la picadura del mosquito <i>Aedes aegypti</i> originario de África, que llegó al hemisferio Occidental con la colonización de América a fines del siglo XVIII y se convirtió en un problema mundial en el siglo XX (Álvarez Escobar et al., 2018).	 Mosquito del género <i>Aedes</i> , principalmente de la especie <i>Aedes aegypti</i>  Fuente: tomado en Paaijmans (2016).
Fiebre Amarilla siglo XVI	La fiebre amarilla o vómito negro es una enfermedad aguda causada por el virus de la fiebre amarilla transmitida por mosquitos del género <i>Aedes</i> , propios de áreas subtropicales y tropicales de Sudamérica y África (Ramos, 2017; Sociedad Española de Medicina Interna [SEMI], 2022).	

---

**Fiebre del Nilo Occidental 1937  
Rebrote en 1999**

El virus del Nilo se aisló por vez primera en 1937 de una mujer del distrito del Nilo Occidental en Uganda. Su vector son los mosquitos del género *Culex* y se hospeda en aves, roedores, equinos y de forma infrecuente en humanos. En 1999 tuvo un rebote epidemiológico en América del Norte, especialmente en Estado Unidos, que años después bajó a América Latina (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017b).



**Mosquitos del género *Culex***

---

**Fiebre de Lassa 1950**

La enfermedad se describió por primera vez en 1950, sin embargo, el virus se identificó hasta 1969 por el contacto directo con enseres domésticos contaminados por excremento de ratón de Benin. Los países más afectados Guinea, Liberia y Sierra Leona (OMS, 2017).



**Ratón de Benin**

Fuente: tomado de Ayuntamiento de Madrid (2016).

---

**Enfermedad del Zika 1952**

En 1952, el mismo vector (mosquitos del género *Aedes*) produjo la enfermedad viral del Zika (ZIKV), identificada en monos en Uganda, 1947 y en humanos en Uganda y Tanzania, 1952 (Álvarez Escobar et al., 2018; Maguiña Vargas, 2016; Rodríguez, 2016).



**Mosquito del género *Aedes*, principalmente de la especie *Aedes aegypti***

Fuente: tomado en Paaijmans (2016).

---

**Fiebre del Chikungunya 1952  
Rebrote y propagación desde 2004**

Esta enfermedad, transmitida por el mismo vector, mosquitos del género *Aedes*, fue descubierta por primera vez en Tanzania, 1952 y su rápida propagación ocurrió desde 2004 en más de 60 países de Asia, África, Europa y las Américas (Álvarez Escobar et al., 2018).

---

---

**Enfermedad de  
Kyasanur  
1957**

Fiebre hemorrágica aguda que brotó inicialmente en India en 1957 y se tornó endémica en el sur de Asia. Se transmite por picadura de garrapatas del género *Haemaphysalis spinigera* (Molina-Hoyos et al., 2018).



**Garrapata del género  
*Haemaphysalis penigera***

Fuente: tomado de Rodríguez (2018).

---

**Fiebre  
hemorrágica  
de Marburgo  
1967**

Se identificó por vez primera en 1967 tras registrarse simultáneamente brotes en Marburgo y Frankfurt (Alemania) y en Belgrado (Serbia), su vector son monos verdes africanos del género *Cercopithecus aethiops* de Uganda (OMS, 2021a).



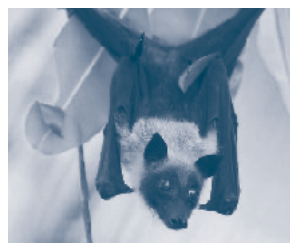
**Monos verdes africanos del  
género *Cercopithecus*, especie  
*aethiops***

Fuente: tomado de Wren (2022).

---

**Fiebre  
hemorrágica  
del Ébola 1967  
Rebrote en  
2014-2016**

El virus del Ébola se detectó en aldeas en Sudán y República Democrática del Congo en 1967. Sus vectores son murciélagos de la familia *Pteropodidae* y monos verdes africanos (*Cercopithecus aethiops*) importados de Uganda. La Fiebre hemorrágica del Ébola y la Fiebre hemorrágica de Marburgo fueron identificadas en Alemania y Belgrado en 1967 en un trabajo de laboratorio. Su rebrote en 2014-2016 en África Occidental (OMS, 2021b).



**Murciélagos *Pteropodidae*  
y monos verdes africanos  
(*Cercopithecus aethiops*)**

Fuente: tomado de Wren (2022) y BatWorlds (2015).

**TABLA — 2**  
Enfermedades virales aparecidas después 1990: sus orígenes y vectores

ENFERMEDAD	DESCRIPCIÓN	VECTOR
<b>Gripe Aviar 1997</b>	Fue detectada por primera en 1997, su vector son los patos salvajes y aves acuáticas migratorias. Se han identificado más de doce tipos, entre ellos, las dos cepas que han infectado más recientemente a los seres humanos: H5N1 y H7N9 (Mayo Foundation for Medical Education and Research [MFMER], s.f.).	 <b>Patos salvajes, aves acuáticas migratorias</b> <small>Fuente: tomado de Freepik (s.f.).</small>
<b>Síndrome Respiratorio Agudo Severo 2002</b>	Enfermedad viral transmitida por el virus SARS-CoV de la familia de <i>Coronavirus</i> . Apareció en Guangdong China en 2002, infectó a más de 8.400 personas en 26 países de Asia, Europa y América, causando más de 770 muertos. Las investigaciones apuntaron a que el SARS se transmitió de vivérridos ( <i>Viverridae</i> ) o gatos ziguetas a los humanos, siendo el murciélago el huésped original (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades [CDC], 2020; Pulido, 2020).	 <b>Murciélago</b>  <b>Vivérridos (<i>Viverridae</i>)/ gatos ziguetas</b> <small>Fuente: tomado de Gaceta Médica (2020).</small>
<b>Gripe Porcina 2009</b>	Apareció en Estados Unidos en 2009. Se trata de un virus de origen animal que combina de forma singular genes de virus de la gripe porcinos, aviáres y humanos pero su transmisión se da por porcinos (MFMER, 2022).	 <b>Porcinos como principal vector</b> <small>Fuente: tomado de Piquer (2020).</small>

### Síndrome Respiratorio de Oriente Medio 2012

Enfermedad viral transmitida por el virus MERS-CoV de la familia de *Coronavirus*. Surgió en el Arabia Saudita, su vector son los dromedarios. Se expandió a 27 países de Asia, Europa, África y Norteamérica en el 2012, infectando a cerca de 2.500 personas muriendo más de 850 (Bratanich, 2015; OMS, 2019).



**Dromedarios**

Fuente: tomado de Diario Veterinario (DV, 2020).

### Enfermedad COVID-19 2019

Enfermedad viral transmitida por el virus SARS-CoV-2 de la familia de *Coronavirus*. En diciembre 2019 se reportó la aparición en Wuhan, China del más reciente de los coronavirus. El virus causa la enfermedad COVID-19, convertida en pandemia causando más de 6'203.317 muertos. La comunidad científica tiene como hipótesis que el virus haya sido transmitido por un murciélago, pero existe la probabilidad que haya sido por otro vector (Centro para el Control y Prevención de Enfermedades [CDC], 2022; Expansión, 2021).



**Murciélago**

Fuente: tomado de Gaceta Médica (2020).

Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas en la tabla

## CONCIENTIZACIÓN INTERNACIONAL SOBRE EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD PÚBLICA

La Asamblea Mundial de la Salud 2015, aprobó un nuevo plan de trabajo de la OMS en materia de Cambio Climático y salud. Dicho plan incluye **alianzas** con otras organizaciones del sistema de las Naciones Unidas para velar porque la salud esté representada adecuadamente en la agenda de lucha contra el Cambio Climático; **concienciación**, mediante la difusión de información sobre las amenazas del Cambio Climático para la salud humana y las oportunidades de protegerla reduciendo las

emisiones de GEI; **ciencia y datos probatorios**, mediante la recopilación y revisión de evidencia científica existente sobre efectos del Cambio Climático sobre la salud y la elaboración de una agenda de investigación mundial; y finalmente **el apoyo a la puesta en práctica del nuevo plan**, creando capacidades para reducir la vulnerabilidad de la salud ante el Cambio Climático (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2015).

## CONCLUSIONES

Evidencia científica muestra que el Cambio Climático influye o propicia la aparición, propagación y resurgimiento de diferentes virus causantes de graves enfermedades virales como Gripe Aviar (1997), SARS-CoV (2002), Virus AH1N1 que produce la gripa porcina (2009), MERS-CoV (2012), SARS-CoV-2 (2019) y sus nuevas variantes aparecidas en 2021-2022, entre otras. El contexto climático actual dominado por cambios drásticos en temperatura, precipitación, evaporación y otros parámetros ambientales, causando el derretimiento y descomposición del Permafrost, el derretimiento de los glaciares, alteración de ecosistemas, migraciones de animales a nuevos hábitats, y adicionalmente, la fácil y rápida movilidad de las personas a través del planeta, tiene fuertes consecuencias en la propagación de virus y por ende en el incremento de enfermedades virales. Es de vital importancia la creación de planes de prevención y acción contra estas.

Por último, la pronta acción de los gobiernos en el cumplimiento de los acuerdos para mitigar el Cambio Climático, pactados en las últimas Cumbres Climáticas de París 2015, Madrid 2019 y Glasgow 2021 (ver capítulo de apertura) resulta de suma importancia para al menos retardar la aparición de nuevas enfermedades virales.

## REFERENCIAS

**ACTUALIDAD 1040.** (7 de noviembre de 2016). NASA: la situación de los glaciares en Groenlandia es peor de lo que se pensaba [Fotografía]. *Cambio Climático, Ciencia y Tecnología, Internacionales*. <http://actualidadradio.com/noticias/nasa-la-situacion-de-los-glaciares-en-groenlandia-es-peor-de-lo-que-se-pensaba/>

- ÁLVAREZ ESCOBAR, M. del C.,** Torres Álvarez, A., Torres Álvarez, A., Semper, A. I. & Romeo Almanza, D. (2018). Dengue, chikungunya, Virus de Zika. Determinantes sociales. *Revista Médica Electrónica*, 40(1), 120-128.
- AYUNTAMIENTO DE MADRID.** (2016). Nadie sabe cuántas ratas hay en Madrid, pero este año se han denunciado un 22% menos [Fotografía]. *Diario de Madrid*. <https://diario.madrid.es/blog/2016/10/09/nadie-sabe-cuantas-ratas-hay-en-madrid-pero-si-que-este-ano-se-han-denunciado-un-22-menos/>
- BATWORLDS.** (2015). *MURCIÉLAGO DE LA FRUTA [Fotografía]*. <https://www.batworlds.com/es/murcielago-de-la-fruta/>
- BRATANICH, A.** (2015). MERS-CoV: transmisión y el papel de nuevas especies hospedadoras. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(4), 279.
- CENTRO PARA EL CONTROL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES [CDC].** (2020). *Información básica sobre el SRAS. Severe Acute Respiratory Syndrome (SARS)*. <https://www.cdc.gov/sars/about/fs-sars-sp.html>
- CENTRO PARA EL CONTROL Y PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES [CDC].** (2022). *Animales y COVID-19. Covid*. <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/daily-life-coping/animals.html>
- CONTRERAS LOPÉZ, R.** (2020). ¿El cambio climático desencadenará más virus animales en los seres humanos? <https://www.alertageo.org/2020/01/29/el-cambio-climatico-desencadenara-mas-virus-animales-en-los-seres-humanos/>
- DIARIO VETERINARIO [DV].** (2020). *Los dromedarios, un riesgo zoonótico emergente [Fotografía]*. <https://www.diarioveterinario.com/t/2134807/dromedarios-riesgo-zoonotico-emergente>
- DW.** (2021). *Identifican virus de 15.000 años de antigüedad en el deshielo de los glaciares tibetanos*. <https://www.dw.com/es/identifican-virus-15000-años-deshielo-glaciares-tibetanos/a-58584121>
- EXPANSIÓN.** (2021). *El informe de la OMS sobre el origen del COVID-19 apuesta por un vector animal*. <https://expansion.mx/mundo/2021/03/29/el-informe-de-la-oms-sobre-el-origen-del-covid-19-apuesta-por-un-vector-animal>

- FOX-SKELLY, J.** (31 de mayo de 2017). Los peligros de las enfermedades ocultas bajo el hielo durante miles de años que están despertando. *BBC Earth*. <https://www.bbc.com/mundo/vert-earth-39851987>
- FREEPIK.** (s.f.). Patos salvajes descansando en la orilla del lago [Fotografía]. [https://www.freepik.es/fotos-premium/patos-salvajes-descansando-orilla-lago-concepto-observacion-aves\\_21809744.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/patos-salvajes-descansando-orilla-lago-concepto-observacion-aves_21809744.htm)
- GACETA MÉDICA.** (2020). Descubiertos 6 nuevos coronavirus en murciélagos, ninguno relacionado con Covid-19 [Fotografía]. <https://gacetamedica.com/investigacion/descubiertos-6-nuevos-coronavirus-en-murcielagos-ninguno-relacionado-con-covid-19/>
- GENÉTHICO.** (16 de julio de 2022). PERMAFROST, ¿POR QUÉ ES TAN IMPORTANTE? <https://www.genethico.com/permafrost/>
- HOUGHTON, J. T.** (1992). *Climate change 1992*.
- HOUGHTON, J. T., Jenkins, G. J. & Ephraums, J. J.** (1990). *Climate change*.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2018). *Calentamiento global de 1,5 °C. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf)
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2021). *Cambio Climático 2021: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al sexto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- KRAMER, L.** (2020a). Generalidades sobre los virus. *Manual MSD*. <https://www.msmanuals.com/es-co/professional/enfermedades-infecciosas/virus/generalidades-sobre-los-virus>
- KRAMER, L.** (2020b). Tipos de enfermedades virales. *Manual MSD*. <https://www.msmanuals.com/es-co/professional/enfermedades-infecciosas/virus/tipos-de-enfermedades-virales>
- MAGUIÑA VARGAS, C.** (2016). Zika, la nueva enfermedad emergente en América: A new emerging disease in America. *Revista Médica Herediana*, 27(1), 3-6.



- MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH [MFMER].** (s.f.). Influenza aviar (gripe aviar). *Mayo Clinic*. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/bird-flu/symptoms-causes/syc-20368455>
- MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH [MFMER].** (2022). Gripe H1N1 (gripe porcina). <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/swine-flu/symptoms-causes/syc-20378103>
- MOLINA-HOYOS, K.,** Montoya-Ruiz, C., Díaz, F. J. & Rodas, J. D. (2018). Enfermedades virales transmitidas por garrapatas. *Iatreia*, 31(1), 36-50.
- MORELLE, R.** (4 de marzo de 2014). Resucitan a un virus de 30.000 años. *BBC*. [https://www.bbc.com/mundo/ultimas\\_noticias/2014/03/140304\\_ult-not\\_virus\\_milenario\\_descongelan\\_lav](https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2014/03/140304_ult-not_virus_milenario_descongelan_lav)
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2015). 68ª ASAMBLEA MUNDIAL DE LA SALUD: RESOLUCIONES Y DECISIONES ANEXOS. [https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf\\_files/WHA68-REC1/A68\\_2015\\_REC1-sp.pdf](https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA68-REC1/A68_2015_REC1-sp.pdf)
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2017a). Fiebre de Lassa. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lassa-fever#:~:text=dete-  
ner los brotes](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lassa-fever#:~:text=dete%20ner%20los%20brotes).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2017b). Infección por el virus del Nilo Occidental. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/  
detail/west-nile-virus#:~:text=El virus se aisló por, del Nilo Occidental  
en Uganda](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/west-nile-virus#:~:text=El%20virus%20se%20aisl%C3%B3%20por%20del%20Nilo%20Occidental%20en%20Uganda).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2019). Coronavirus causante del síndrome respiratorio de Oriente Medio (MERS-CoV). [https://www.  
who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/middle-east-respiratory-syn-  
drome-coronavirus-\(mers-cov\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/middle-east-respiratory-syn-drome-coronavirus-(mers-cov))
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2021a). Enfermedad por el virus de Marburgo. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/  
marburg-virus-disease#:~:text=La fuente de la infección, tras su impor-  
tación desde Uganda](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/marburg-virus-disease#:~:text=La%20fuente%20de%20la%20infecci%C3%B3n%2C%20tras%20su%20importaci%C3%B3n%20desde%20Uganda).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD [OMS].** (2021b). Enfermedad por el virus del Ébola. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/  
ebola-virus-disease](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ebola-virus-disease)

- PAAIJMANS, K.** (2016). *Preparaos: los animales más peligrosos del planeta han venido para quedarse* [Fotografía]. <https://www.isglobal.org/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/mosquito-day-2016-esp/104874/0>
- PIQUER, G.** (2020). *¿Qué podemos decir del nuevo virus de influenza G4EA H1N1 descripto en cerdos?* [Fotografía]. InfoPork.
- PULIDO, S.** (2020). *¿Qué pasó con los otros brotes de coronavirus?* *Gaceta Médica*. <https://gacetamedica.com/investigacion/que-paso-con-los-otros-brotes-de-coronavirus/>
- RAMOS, C.** (2017). La fiebre amarilla, una amenaza latente a la salud pública global. *Revista Biomédica*, 28(3), 107-109.
- RODRÍGUEZ, J.** (2018). Garrapatas como vectores de enfermedades [Fotografía]. Propark. <https://www.propark.com.ar/2014/06/garrapatas-como-vectores-de-enfermedades.html>
- RODRÍGUEZ, R. G.** (2016). Enfermedad viral Zika. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 32(3), 1-7.
- SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MEDICINA INTERNA [SEMI].** (2022). *FIEBRE AMARILLA*. <https://www.fesemi.org/informacion-pacientes/conozca-mejor-su-enfermedad/fiebre-amarilla>
- VILLAREAL, A.** (2016). Se busca viruela viva resucitada por el cambio climático. *El Español*. [https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20160906/153485008\\_0.html](https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20160906/153485008_0.html)
- WREN, B.** (2022). *Gastrointestinal Parasites of the Vervet Monkey (Chlorocebus (Cercopithecus) aethiops) at a Sanctuary in Limpopo Province, South Africa*. Vervet Monkey Foundation, Tzaneen, South Africa.

## TEMA II

# Mitigación del Cambio Climático





# **Los humedales: su capacidad de captura y acumulación de carbono para mitigación del cambio climático**

**MARÍA ALEJANDRA VÁSQUEZ  
LEONARDO HERRERA OROZCO  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA**

## **OBJETIVO**

Este capítulo describe qué son los Humedales, presentando los más grandes a nivel del mundo y de Colombia. Informa cuáles han sido las emisiones de GEI en humedales conservados y en degradados, y se describe la política internacional y colombiana sobre humedales



## LOS HUMEDALES FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Las plantas, mediante el fenómeno de fotosíntesis, absorben el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, lo convierten en carbono orgánico (C) para formar suelo, raíces y biomasa superficial, y emiten oxígeno (O<sub>2</sub>) a la atmósfera. Esta capacidad varía notablemente entre plantas. La ciencia ha demostrado que los biomas terrestres con la mayor capacidad de captura y acumulación de carbono en suelo y vegetación son **los bosques**, principalmente boreales y tropicales (559 y 428 GtC respectivamente) y **las pasturas** tanto tropicales como templadas (330 y 304 GtC respectivamente). El área que ocupan (3.13 y 3.5 mil millones de hectáreas, respectivamente) hacen de ellos los dos biomas terrestres más grandes del mundo después de desiertos y semi-desiertos. **Los humedales**, aunque ocupan un área muy inferior (0.35 mil millones de hectáreas) tienen también una alta capacidad de captura y acumulación de carbono en suelo y vegetación (240 GtC) que supera a la de los bosques templados (159 GtC) (Tabla 1, Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2000). Por esto, los bosques, las pasturas y los humedales cumplen una función vital para la **mitigación del cambio climático**, de allí la necesidad de conservarlos y no permitir su degradación por acción antrópica.

Los humedales realizan *Captura de Carbono*, es decir “la conversión del CO<sub>2</sub> atmosférico en carbono orgánico en depósitos de larga vida que no se reemite a la atmosfera” (Lal, 2004) y ese carbono capturado se acumula en suelo y vegetación debido a la lenta descomposición de la materia orgánica, principalmente en suelos saturados de agua durante períodos prolongados, logrando que los humedales actúen como *Depósitos de Carbono* (Fenchel et al., 1998).

**TABLA — 1**  
Biomás terrestres que capturan y acumulan Carbono

BIOMA	ÁREA 109 Ha	ACUMULACIÓN DE C (GT)		
		VEGETACIÓN	SUELO	TOTAL
Bosques Boreales	1.37	88	471	559
Bosques Tropicales	1.76	212	216	428
Bosques Templados	1.04	59	100	159
Pasturas Tropicales	2.25	66	264	330

Pasturas Templadas	1.25	9	295	304
Desiertos y Semi-desiertos	4.55	8	191	199
Tundra	0.95	6	121	127
Humedales	0.35	15	225	240
Cultivos	1.60	3	128	131

Fuente: tomado de IPCC (2000)

## LOS HUMEDALES

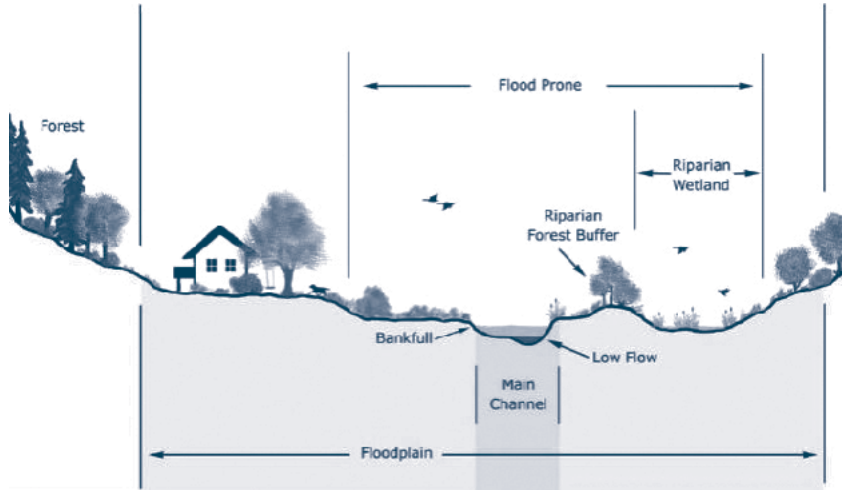
### Qué es un humedal y sus características

Los humedales son zonas de transición entre los sistemas terrestres y acuáticos, y se caracterizan por ser sitios con suelos inundados de forma temporal o permanente, condición que permite el desarrollo de plantas acuáticas (vegetación hidrófila) al menos de forma periódica (Mitsch & Golsselink, 2000). Según el convenio Ramsar *“una zona húmeda o humedal es cualquier extensión de marisma, pantano o turbera, o superficie cubierta de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no supere los seis metros”* (Convención Ramsar, 1971). Su principal característica es la presencia de agua en una cubeta geoforzada por una depresión, lo cual permite la retención y estancamiento de agua, sedimentos y suelos que le brindan una base impermeable. Los procesos físicos-geológicos son los que generan una gran heterogeneidad espacial y temporal que caracteriza a los humedales y su dinámica (Mitsch & Golsselink, 2000) (Figura 1). En resumen, las características que identifican un humedal son (Ramsar-Hero, 2010): suelo hidromórfico, saturado de agua de manera temporal o permanente; capa de agua poco profunda o agua subterránea cercana a la superficie del terreno; predominancia de vegetación acuática o hidrófita, adaptada a vivir en condiciones húmedas; interacción constante de agua y tierra en su vida vegetal y animal; y límites poco definidos.

Los humedales se encuentran tanto en regiones boreales como tropicales. Ocupan entre 4 y 6% de la superficie terrestre, 56% de esa área en regiones tropicales y subtropicales y 44% en regiones boreales (Arizona University, 2013).



**FIGURA — 1**  
Categorización geomórfica de un humedal



Fuente: tomado de Chemung County Soil y Water Conservation District (2020)

## TIPOS DE HUMEDALES

Los humedales se clasifican según la *Convención Ramsar* en tres grandes categorías (Ramsar-Hero, 2010): costeros o marítimos, interiores o continentales y artificiales (Figura 2). Dentro de cada categoría, se agrupan según sus aspectos bióticos (tipo de vegetación) (Gerbeaux et al., 2018).

Entre los **humedales costeros o marítimos** se encuentran:

**Lagunas Costeras:** cuerpos de agua poco profunda, menores a 3m, de agua dulce o salada con conexión al mar. Gracias a la energía de las mareas y circulación permanente del agua, se caracterizan por su alta eficiencia en el reciclaje de nutrientes (Alongi, 1998; Arreola, 2003). **Pastos Marinos:** nacen sobre los sedimentos del humedal y por su fotosíntesis crean una elevada concentración de oxígeno disuelto que da origen a densidades elevadas de organismos. Son sitios de crianza, refugio y alimentación para especies juveniles de peces (Levinton, 2009). **Arrecifes Coralinos:** estas estructuras coralinas o rocosas, cambian la dirección y velocidad de las corrientes marinas ayudando al establecimiento de otros ecosistemas como manglares y pastos marinos (Arreola, 2003; Kennish, 2000). Los organismos que forman los arrecifes coralinos son los *pólipos*

**FIGURA — 2**

Tres grandes categorías de humedales y su designación bajo los criterios de la convención Ramsar



Fuente: tomado de Ramsar-Hero (2010)

de coral. Los arrecifes pueden encontrarse alejados de la costa, de gran tamaño y hasta de 100mts de profundidad; en mar abierto asociados a conos volcánicos (atolones); y cercanos a la costa o separados por un brazo de agua poco profundo (Vallejo & Gonzales, 1993). **Manglar:** formación vegetal leñosa, densa, arbórea o arbustiva de 1 a 30 metros de altura aproximadamente, compuesta por una o varias especies de mangle y con poca presencia de especies herbáceas y enredaderas (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2021). Estas zonas inundadas se distinguen por alojar plantas leñosas que toleran la sal, pues presentan adaptaciones morfológicas, fisiológicas y reproductivas que les han permitido colonizar estos hábitats litorales.

Entre los **humedales continentales** se encuentran:

**Humedales asociados a lagos, ríos y arroyos:** son cuerpos de agua dulce, de extensión considerable alejados del mar y asociados a glaciares, pues son abastecidos por ríos y aguas freáticas. Estas aguas estancadas ocupan una depresión del suelo creada por fallas geológicas, obstrucción de

valles por avalanchas, inundaciones o acumulación de glaciares (Convención Ramsar- Ecuador, 2010), donde se ha adaptado la vegetación de estos humedales (Montes, 2003). **Ciénagas: turberas y pantanos:** existe un amplio número de turberas y pantanos en regiones boreales y húmedas en el hemisferio norte, en donde la evaporación es baja y la alta humedad influye en el desarrollo de estos ecosistemas. También, existen ciénagas tropicales en el Caribe, América central, Sur América, África y el sudeste asiático. Las *turberas* representan el 50% de los humedales del mundo, se pueden encontrar en los cinco continentes, principalmente en zonas de bajas temperaturas y abundante precipitación durante el año (2.000 mm anuales), se originan con el retiro de glaciares y son como “esponjas de musgos y vegetación que se ha acumulado durante miles de años sin descomponerse del todo” (Bevilacqua, 2017). Son ambientes ácidos, anóxicos, pobres en nutrientes y fríos, lo que ayuda a prevenir la presencia de hongos y bacterias que de otra forma comenzarían a descomponer el material vegetal muerto, el mismo que forma la capa de *turba*. Las turberas son una gran capacidad de captura y depósito de carbono (Bevilacqua, 2017). Los *pantanos* se desarrollan en laderas o llanuras debido al flujo sostenido de agua subterránea rica en minerales.

Y, por último, según las categorías de Ramsar, se encuentra los **humedales artificiales:** son estanques construidos por el hombre para cría de peces, camarones, lagunas de riego, piletas de aguas residuales y canales (Ramsar-Hero, 2010). Los embalses también son humedales artificiales que garantizan el abastecimiento de agua potable o de riego y regulan el régimen hidrológico de los ríos (previenen avalanchas naturales).

## ROL ECOLÓGICO Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

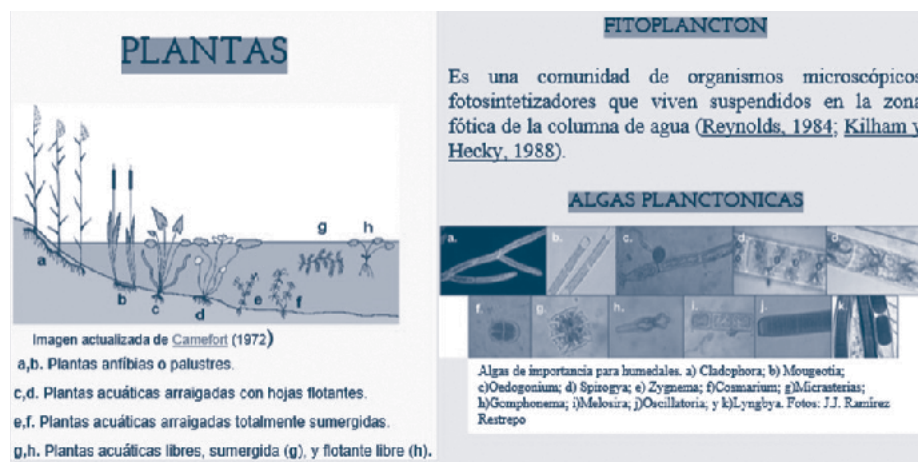
Como se mencionó anteriormente, una de las principales funciones ecológicas de los humedales es la **captura y acumulación de carbono en suelo y vegetación**, que ayuda a disminuir el nivel de emisiones de GEI, en particular de CO<sub>2</sub>, aportando a la mitigación del Cambio Climático. Como servicio ecosistémico los humedales brindan protección contra daños por inundaciones, tormentas y olas, mejoran de la calidad del agua mediante el filtrado de desechos agrícolas e industriales y la recarga de acuíferos.

## ESPECIES QUE VIVEN EN LOS HUMEDALES

Los humedales son hábitat de plantas, animales y otras formas de vida, siendo algunos, como pantanos y marismas, considerados ecosistemas muy productivos. La Figura 3 presenta los organismos fotosintéticos que viven en los humedales: fitoplancton, algas planctónicas y plantas acuáticas. Los esquemas de clasificación de plantas acuáticas se basan en la relación planta-sustrato y su localización en la columna de agua (Atuesta-Ibargüen, 2019). Sculthorpe (1967, citado en Rial, 2003) describe cuatro tipos de plantas: anfibias o palustres, arraigadas flotantes, arraigadas sumergidas y libres, estas tres últimas denominadas *helófitos*. La Tabla 2 presenta las especies de animales que conviven en los distintos tipos de humedales: zooplancton, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

**FIGURA — 3**

Organismos fotosintéticos que viven en los humedales



Fuente: tomado de Sculthorpe (1967) citado en Rial (2003)

**TABLA — 2**  
Especies de animales que conviven en los distintos tipos de humedales

PRINCIPALES ESPECIES DE FAUNA	
Zooplankton	Protozoarios, rotíferos, cladóceros y copépodos.
Invertebrados	Insectos acuáticos, moluscos, cangrejos, camarones, caracoles y almejas o mejillones de río, esponjas de aguadulce.
Peces	Especies catádromas, especies introducidas para desarrollo de pesca deportiva y especies de aguas salobres (robalos, sábalo, sardinas, tiburones, anchoas, entre otros).
Anfibios	Ranas, sapos, salamandras.
Reptiles	Tortugas, cocodrilos, iguanas, serpientes (familias Elapidae y Dipsadidae) y culebras (Boidae).
Aves	Podicipediformes, anseriformes, charadriiformes, ciconiiformes. gruiformes, cuculiformes, passeriformes.
Mamíferos	Delfines tanto marinos como de agua dulce, manatíes, nutrias, algunos roedores, marsupiales, murciélagos, carnívoros, primates, osos hormigueros, perezosos, armadillos, entre otros.

Fuente: tomado de Lasso et al. (2016)

## LOS HUMEDALES MÁS GRANDES DEL MUNDO Y DE COLOMBIA

Los siguientes ocho humedales son los más grandes del mundo en extensión (García de Durango, 2020):

### 1. *El Pantanal*

El más grande, con una extensión entre 140.000 y 220.000 km<sup>2</sup>, es un humedal continental conformado por una llanura aluvial que cubre la parte occidental de Mato Grosso do Sul en Brasil y partes en Bolivia y Paraguay. Cuenta con más de 4.700 especies, incluidas plantas y vertebrados (Figura 4).

### 2. *Río Negro*

En Brasil, ocupa aproximadamente 120.000 km<sup>2</sup>, es un humedal continental que se encuentra en el centro una de las selvas tropicales preservadas. Este humedal incluye más de 20 unidades de conservación y su designación aumenta significativamente la conectividad de las áreas protegidas de Brasil. Su biodiversidad incluye especies de aves y mamíferos amenazados (Figura 5).

### 3. *Ngiri-Tumba-Maindombe*

En la República Democrática del Congo, con aproximadamente 66.000 km<sup>2</sup>, es un humedal lacustre localizado alrededor del lago Tumba. Es el mayor cuerpo continental de agua dulce de África y uno de los más extensos del mundo (Figura 6).

### 4. *Golfo de la Reina Maud*

En Canadá, con 62.780 km<sup>2</sup>, es un humedal costero marino santuario de aves migratorias conformado por bahías costeras, zonas intermareales, estuarios de mareas, deltas, ríos de tierras bajas y lagos de agua dulce (Figura 7).

### 5. *Grands affluents*

En la República Democrática del Congo, tiene cerca de 60.000 km<sup>2</sup> de extensión, es un humedal costero marino compuesto por lagos, lagunas, marismas y bosques inundados y pantanosos.

### 6. Sudd

En Sudán del Sur, con 57.000 km<sup>2</sup>, es un humedal marino costero-continental compuesto por varios ecosistemas, que comprenden desde aguas abiertas y vegetación sumergida hasta vegetación flotante, bosques inundados, pastizales de río, y matorrales de llanura de inundación.

### 7. Delta del Okavango, en Botswana

Con 55.300 km<sup>2</sup>, es humedal de río considerado un abanico fluvial más que un delta. Incluye 1060 especies de plantas, 32 especies de mamíferos, más de 650 especies de aves, 68 especies de peces y una población de insectos muy diversa.

### 8. Gueltas et Oasis de l’Air, en Nigeria,

Cuenta con 49.200 km<sup>2</sup>, es un humedal continental situado en el centro de la parte del desierto del Sahara compuesto por arroyos, oasis y marismas temporales y permanentes. Habitan 290 especies de plantas con flor y 150 especies de aves nativas y migratorias (Figura 8).

**FIGURA — 4**  
El Pantanal en Brasil, Bolivia y Paraguay



Fuente: tomado de García de Durango (2020)



**FIGURA — 5**

**El Río Negro en Brasil**



Fuente: tomado de García de Durango (2020)

**FIGURA — 6**

**Ngiri-Tumba-Maindombe en la República Democrática del Congo**



Fuente: tomado de García de Durango (2020)



**FIGURA — 7**  
Golfo de la Reina Maud en Canadá



Fuente: tomado de García de Durango (2020)

**FIGURA — 8**  
Gueltas et Oasis de l'Aïr, desierto del Sahara en Nigeria



Fuente: tomado de García de Durango (2020)

## Los humedales más grandes de Colombia

Los siguientes cinco humedales son los más grandes en Colombia (Herrera, 2016; Twenergy, 2019):

### 1. Ciénaga Grande

En Santa Marta, ubicada a 20 msnm, ocupa 400.000 hectáreas. Es un humedal marino costero, incluye 20 lagunas de diferente salinidad con varios ríos y grandes zonas de manglares. Es refugio de aves nativas y migratorias (Figura 9).

### 2. Laguna de la Cocha

En Nariño, ubicada a 2680 msnm, ocupa 39.000 hectáreas. Es un humedal de origen glacial, compuesto por una laguna y páramos. Hogar de especies en peligro de extinción como el oso de anteojos, el tapir de montaña y el lobo de los andes (Figura 10).

### 3. Delta del Río Baudó

En Chocó, ubicado en la costa del Pacífico colombiano a nivel del mar, con 8.888 hectáreas, es un estuario, humedal marino-costero, formado por márgenes de inundación, playas de arena, ciénagas arbustivas y bosques palustres. Su vegetación predominante son los bosques de manglares con árboles de 35m de altura. Hábitat de paca moteada (*Agouti paca*), pecaríes (*Tayassu pecari* y *Tayassu tajacu*), jaguar (*Panthera onca*), nutria neotropical (*Lontra longicaudis*) y gran variedad de peces.

### 4. Complejo de humedales Laguna del Otún

En Risaralda, ubicado a 3950 msnm, con 6.500 hectáreas, es un humedal continental compuesto por lagunas, pantanos y turberas de diferentes tamaños. Es hábitat de 148 especies de plantas y 52 especies de aves. Este complejo abastece de agua a medio millón de colombianos de los municipios de Pereira y Dosquebradas (Figura 11).

### 5. Sistema Lacustre de Chingaza

En Cundinamarca, ubicado a 3250 msnm con 4.058 hectáreas, es un humedal continental formado por 20 lagunas refugio de aves migratorias y de más de 500 especies de fauna. Aporta el 80% de agua a Bogotá (Figura 12).

**FIGURA — 9**

Ciénaga Grande en Santa Marta



Fuente: tomado de El Venezolano Colombia (2019)

**FIGURA — 10**

Laguna de la Cocha en Nariño



Fuente: tomado de Altomira (2022)

**FIGURA — 11**

Complejo de Humedales Laguna del Otún en Risaralda



Fuente: tomado de colombiatours.travel (s.f.) citado en Villalobos (2019)

**FIGURA — 12**

Sistema Lacustre de Chingaza en Cundinamarca



Fuente: tomado de Shutterstock (s.f.) citado en Colombia.com (2020)

## EMISIONES DE GEI EN HUMEDALES CONSERVADOS Y EN DEGRADADOS. CAPTURA DE CARBONO

Los humedales, por ser ecosistemas cubiertos de agua, emiten mayormente CH<sub>4</sub> producido durante el proceso de descomposición de la materia orgánica y en menor cantidad CO<sub>2</sub> emitido en el proceso de respiración de microorganismos, plantas, animales y suelo presentes en estos ecosistemas. Cuando el humedal no ha sido intervenido ni afectado por acción antrópica, o ha sido conservado, sus emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se producen siguiendo el ciclo biogénico natural (ver capítulo de apertura) y el humedal mantiene su capacidad de realizar el proceso de *captura y acumulación de carbono*. Por el contrario, cuando el humedal ha sido intervenido o degradado por acción antrópica o natural, sus emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> son mucho mayores que en humedales no intervenidos o conservados, dependiendo del grado de degradación causada.

### Emisiones de CH<sub>4</sub> y de CO<sub>2</sub>

Los suelos inundados poseen condiciones anaeróbicas que favorecen la producción de CH<sub>4</sub>. Emisiones de CH<sub>4</sub> de humedales situados en diferentes zonas geográficas están dentro del rango de 0.001-1.810 Mg/ha/año (Hernández, 2010) (Tabla 3). Las Tablas 4 y 5 ilustran datos de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Mg/ha/año) respectivamente, provenientes de estudios de caso en humedales específicos, conservados vs degradados por acción antrópica, ubicados en regiones templadas y tropicales. Los datos indican que las emisiones de CH<sub>4</sub> superan ampliamente a las de CO<sub>2</sub> tanto en humedales conservados como degradados, y que las emisiones de ambos gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> se incrementan significativamente en humedales degradados por la acción antrópica, al compararse con humedales no intervenidos o conservados.

**La Captura de Carbono** en humedales se realiza a través de las plantas que fijan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo convierten a carbono orgánico. Se han reportado *tasas de Captura de C* de 0.4-32 MgC/ha/año para diferentes humedales (Hernández, 2010). Adicionalmente, la Tabla 6 muestra una estimación de la capacidad de *Captura de C* de humedales conservados o restaurados, calificada en alta, media o baja. La metodología utilizada para esta estimación fue la herramienta *Gmapgis*, un mapa descriptivo de los humedales en el mundo templado y tropical según su capacidad de captura de carbono. Las estimaciones indican



**TABLA — 3**  
Emisiones de CH<sub>4</sub> expresadas en carbono (Mg C/ha/año) en diferentes tipos de humedales de agua dulce y salobre

ZONA GEOGRÁFICA	TIPO DE HUMEDAL	MITSCH Y GOSSELINK (2000)	TORRES ALVARADO ET AL. (2005)
HUMEDALES DE AGUA DULCE			
Boreal	Turberas oligotróficas	0.003-0.062	-
	Turberas eutróficas	0.050-1.180	-
	Humedales herbáceos	0.080-0.292	-
	Humedales con especies leñosas	0.018-0.240	-
Templada	Turberas oligotróficas	0.073-0.086	-
	Turberas eutróficas	0.011-1.146	-
	Humedales herbáceos	0.003-1.810	1.600
	Humedales con especies leñosas	0.027-0.386	0.054-0.400
HUMEDALES DE AGUA SALOBRE			
Templada	Humedales herbáceos	0.001-0.397	0.003-0.004
Tropical/ subtropical	Humedales herbáceos	0.009	-
	Manglares	0.011-0.220	-

Fuente: tomado de Hernández (2010, p. 146)

**TABLA — 4**  
Emisiones de CO<sub>2</sub> (Mg/ha/año) en estudios de caso específicos de humedales conservados y degradados

TIPO DE HUMEDAL	ESTUDIO DE CASO	UBICACIÓN	REGIÓN	CO2 (MG/HA/AÑO)
Conservado	Pantano	Lituania	Templada	0.06
	Ribereño	México	Tropical	0.001
	Selva inundable	México	Tropical	0.005

Degradado	Manglar	Estados Unidos	Templada	1.62
	Bosque de llanura inundable	Australia	Templada	4.3
	Bosque pantanoso de palmeras	Venezuela	Tropical	5.6

Fuente: adaptado de Fennessy y Lei (2018) y Hernández (2010)

**TABLA — 5**  
Emisiones de CH<sub>4</sub> (Mg/ha/año) en estudios de caso específicos de humedales conservados y degradados

TIPO DE HUMEDAL	ESTUDIO DE CASO	UBICACIÓN	REGIÓN	CH <sub>4</sub> (MG/HA /AÑO)
Conservado	Manglar	Australia	Templada	0.68
	Construido	Estados Unidos	Templada	0.57
	Humedal aislado	Costa Rica	Húmedo tropical	0.33
	Pantano	Costa Rica	Húmedo tropical	2.20
	Pantano	Botsuana	Seco tropical	0.72
	Costero	Australia	Templada	1.05 - 1.37
Degradado	Pantano	Malasia	Tropical	4.44
	Pantano	Panamá	Tropical	2.59
	Turbera	Norte América	Temperada	0.121

Fuente: adaptado de Fennessy y Lei (2018) y Hernández (2010)

que los humedales costeros y marinos (marismas, manglares, estuarios, pastos marinos) así como humedales boscosos de agua dulce, realizan mayor *Captura de C*; mientras que los pantanos templados, tropicales y boreales muestran una baja capacidad (Fennessy & Lei, 2018).

**TABLA — 6**  
Estimación de la capacidad de captura de carbono en suelo por diferentes tipos de humedales conservados o restaurados

TIPO DE HUMEDAL	ESTIMACIÓN DE CAPACIDAD DE CAPTURA DE CARBONO EN SUELO
Manglares	Alta
Marismas de marea de agua dulce	Alta
Estuarios	Alta
Pastos marinos	Alta
Pantanos tropicales	Baja
Pantanos temperados/boreales	Baja
Humedales boscosos de agua dulce	Alta

Fuente: adaptado de Fennessy y Lei (2018)

**La acumulación de Carbono en el suelo** de humedales se favorece porque la saturación de agua en el suelo disminuye la velocidad de descomposición de la materia orgánica. En diversos humedales de Norteamérica se ha reportado que la acumulación de C en el suelo oscila entre 470 y 2902 Mg C/ha (Hernández, 2010).

**Estrategias para aumentar captura de carbono en humedales degradados por acción antrópica**

Ramsar (2009, 2015, 2018) sugiere técnicas para la restauración de humedales, reduciendo emisiones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> y aumentando la Captura de C (Tabla 7). Enfatiza la participación comunitaria en todas las etapas de restauración, creando conciencia sobre el mantenimiento de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos del humedal.



**TABLA — 7**  
Técnicas sugeridas para la restauración de algunos tipos de humedales

TIPO DE HUMEDAL	TÉCNICA DE RESTAURACIÓN	DESCRIPCIÓN
Turberas	Restablecimiento de la hidrología	Rehumedecerlas para elevar el nivel freático y saturar los suelos, disminuyendo las emisiones de CO <sub>2</sub> .
Manglares	Reforestación de manglares	Las reservas de carbono en el suelo aumentan significativamente con la edad del bosque de manglar. Cuando se recupera un manglar degradado estas reservas de carbono pueden alcanzar su nivel natural en 10 años posteriores a la restauración.
Continental	Restablecimiento de la hidrología	Conexión de llanuras aluviales con sus ríos y arroyos para reestablecer el patrón natural de inundación del humedal.

Fuente: tomado de Ramsar (2009, 2015, 2018)

**POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA  
SOBRE HUMEDALES**

**Política internacional**

La *Convención sobre los Humedales*, iniciada en Ramsar, Irán en 1971 y entrada en vigor en 1975, con la participación de cerca del 90% de los países miembros de la ONU, proporciona el marco legal para la conservación y uso racional de los humedales y sus recursos. Los países miembros deben realizar un uso racional de todos sus humedales, conservarlos, incluirlos en la lista de *Humedales de Importancia Internacional* y cooperar en materia de humedales transfronterizos e intereses comunes (Ramsar, 2015). Los humedales están incluidos en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2015-2030) de la ONU, objetivo 13 (Acción por el clima), 14 (vida submarina) y 15 (vida de ecosistemas terrestres).

## Política colombiana

Colombia ratificó mediante la **Ley 357 de 1997** (Congreso Nacional, 1997) su adhesión como uno de los 168 estados miembros de la Convención de Ramsar sobre los humedales. Mediante el **Decreto 157 de 2004** se reglamenta el uso sostenible, conservación y manejo de los humedales (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006b). El **Decreto 196 de 2006** adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo de humedales en Colombia a partir de una delimitación, para luego realizar una caracterización y zonificación (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2006b).

## CONCLUSIONES

Los humedales ocupan entre 4 y 6% de la superficie terrestre, 56% de esa área en regiones tropicales y subtropicales y 44% en regiones boreales (Arizona University, 2013). Su función ecológica principal es la de absorber las emisiones de  $\text{CO}_2$  atmosférico convirtiéndolas en carbono orgánico en suelo y vegetación, transformando de esta manera a los humedales en grandes depósitos de carbono. Esta función de captura y acumulación de carbono es fundamental para la mitigación del Cambio Climático. Adicionalmente, los humedales ofrecen múltiples servicios ecosistémicos tales como protección contra daños por inundaciones, tormentas y olas, mejoran de la calidad del agua mediante el filtrado de desechos agrícolas e industriales y la recarga de acuíferos. Debido a su enorme riqueza en fauna y flora, los humedales son fuentes de alimentación para las comunidades cercanas a ellos. Las políticas públicas y la participación de los Estados y de las comunidades aledañas a los humedales son fundamentales para su manejo y conservación, buscando reducir las emisiones de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en humedales degradados y aumentando, a través de técnicas de conservación y restauración apropiadas sugeridas por Ramsar (2009, 2015, 2018), la capacidad de *Captura de Carbono* del humedal. Esto contribuye a permitir que el humedal cumpla con su función primordial, que es la de reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ -eq mitigando el Cambio Climático.

## REFERENCIAS

- ALONGI, D. M.** (1998). *Coastal Ecosystem Processes*.
- ALTOMIRA.** (2022). *La Laguna de La Cocha*. <https://altomira.co/2016/09/03/la-laguna-de-la-cocha/>
- ARIZONA UNIVERSITY.** (2013). *Werlands of the world*.
- ARREOLA, J.** (2003). *Tesis*. CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S. C. Programa.
- ATUESTA-IBARGÜEN, D. J.** (2019). Composición florística y formas de vida de las macrófitas acuáticas de la serranía de La Lindosa (Guaviare), Guayana colombiana. *Caldasia*, 41(2), 301-312. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v41n2.71615>
- BEVILACQUA, R.** (21 de abril de 2017). Turberas: un singular ecosistema de gran valor para la humanidad. *Ladera Sur*. <https://laderasur.com/articulo/turberas-un-singular-ecosistema-de-gran-valor-para-la-humanidad/#:~:text=Las turberas%2C que corresponden al, de los 2.000 mm anuales>
- CHEMUNG COUNTY SOIL & WATER CONSERVATION DISTRICT.** (2020). *Flood group work*. <https://www.fws.gov/northeast/nyfo/USCA/FP.htm>
- COLOMBIA.com.** (2020). *La vida en el Parque Nacional Natural Chingaza es todo un espectáculo [Fotografía]*. <https://www.colombia.com/turismo/sitios-turisticos/bogota/atractivos-turisticos/sdi461/83854/parque-nacional-natural-chingaza>
- COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD [CONABIO].** (2021). Manglares. *Biodiversidad Mexicana*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares>
- CONGRESO NACIONAL.** (1997). *LEY 357 DEL 21 DE ENERO DE 1997* (Issue 2).
- CONVENCIÓN RAMSAR- ECUADOR.** (2010). *Humedales*.
- CONVENCIÓN RAMSAR.** (1971). ¿Qué son los humedales?
- EL VENEZOLANO COLOMBIA.** (2019). *La ciénaga de Santa Marta en Colombia, un paraíso por descubrir [Fotografía]*. <https://elvenezolanocolombia.com/2019/11/la-cienaga-de-santa-marta-en-colombia-un-paraiso-por-descubrir/>

- FENCHEL, T.**, King, G. H. & Blackburn, T. H. (1998). *Bacterial Bio geochemistry*, Academic Press (ed.); 2nd ed.
- FENNESSY, S. M.** & Lei, G. (2018). Wetland restoration for climate change resilience. *Ramsar Briefing Note*, 10.
- GARCÍA DE DURANGO, A.** (2020). Conoce los 10 humedales más grandes del mundo. *Iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/agueda-garcia-durango/conoce-10-humedales-mas-grandes-mundo>
- GERBEAUX, P.**, Finlayson, C. M. & Van Dam, A. A. (2018). Wetland Classification: Overview. In *The Wetland Book* (pp. 1461-1468). [https://doi.org/https://nebulosa.icesi.edu.co:2144/10.1007/978-90-481-9659-3\\_329](https://doi.org/https://nebulosa.icesi.edu.co:2144/10.1007/978-90-481-9659-3_329)
- HERNÁNDEZ, M. E.** (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano. *Terra Latinoamericana*, 28(2), 139-147.
- HERRERA, H.** (2016). Seis Humedales Colombianos de Importancia Mundial. *AIDA*. <https://aida-americas.org/es/blog/seis-humedales-colombianos-de-importancia-mundial>
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC].** (2000). *Emissions Scenarios*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions\\_scenarios-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf)
- KENNISH, M. J.** (2000). Estuary restoration and maintenances. *The National Estuary Program*, 359.
- LAL, R.** (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- LASSO, C. A.**, Colonnello, G. & Morales, M. (2016). XIV. MORICHALES, CANANGUCHALES Y OTROS PALMARES INUNDABLES DE SURAMÉRICA PARTE II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina. En *Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia*.
- LEVINTON, J. S.** (2009). *Marine Biology: function, biodiversity, ecology*, Oxford University Press (Ed.); 3ra edition.
- MINISTERIO DE AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.** (2006). Resolución 196 del 1 de febrero de 2006 “por la cual se adopta la guía técnica para la formulación de planes de manejo para humedales en Colombia.” 01, 1-31.

- MITSCH, W. J. & Golsselink, J. G.** (2000). *Wetlands* (Fifth edit).
- MONTES, C.** (2003). Criterios ecológicos para el deslinde de humedales ribereños. *Ecología, Manejo y Conservación de Los Humedales*, 61-76.
- RAMSAR-HERO.** (2010). *Tipos de Humedales. Manual de curso sobre inducción de humedales*.
- RAMSAR.** (2009). *El cuidado de los Humedales, Una Respuesta al Cambio Climático*. 16.
- RAMSAR.** (2015). La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? In *Ramsar.Org/Library*.
- RAMSAR.** (2018). *PERSPECTIVA MUNDIAL SOBRE LOS HUMEDALES: Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas 2018*. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo\\_s.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf)
- RIAL, A.** (2003). El concepto de planta acuática en un humedal de los Llanos de Venezuela. *Memoria de La Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 155, 119-132.
- TWENERGY.** (2019). *Los cinco humedales más importantes de Colombia*. <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/medio-ambiente/los-cinco-humedales-mas-importantes-de-colombia-1723/>
- VALLEJO, S. S. & Gonzales, N. E.** (1993). *Biodiversidad Marina y Costera de México*, 1 ed.
- VILLALOBOS, E.** (2019). Laguna del Otún [fotografía]. *Redbus*. <https://blog.redbus.co/naturaleza/laguna-otun-embalse-natural-risaralda/>



# **La energía hidroeléctrica: fuente de mitigación del cambio climático y de ecoturismo**

**BORIS SEBASTIÁN AGUIRRE  
GERALDINNE CALDERÓN  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA**

## **OBJETIVO**

Esta investigación presenta la conceptualización de Energía Hidroeléctrica, su Cadena productiva y sus emisiones de GEI, expone Política internacional y colombiana sobre la energía hidroeléctrica para la mitigación del cambio climático, y describe las centrales hidroeléctricas como fuente de ecoturismo.





## INTRODUCCIÓN

La energía obtenida a través de combustibles fósiles, además de su gran contribución y servicio al desarrollo de las sociedades actuales, ha producido un deterioro al medio ambiente. El uso de combustibles fósiles se ha reconocido por el mundo científico como la mayor causa de emisiones de GEI y por ende del Cambio Climático (ver capítulo de apertura, capítulos 1 y 2). Es por esto por lo que el mundo está buscando una transición hacia el uso de energías renovables y limpias, donde se incluye la energía hidroeléctrica. La obtención de este recurso energético se logra por medio de centrales hidroeléctricas que se han tecnificado a través del tiempo, aumentando su presencia a nivel mundial. Asimismo, algunas centrales hidroeléctricas han generado de manera indirecta una atracción ecoturística con efectos económicos, sociales y ambientales importantes debido a diversos factores como su ubicación, tamaño, ambiente y potencial turístico.

## LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

### ¿Qué es la energía hidroeléctrica?

La hidroeléctrica, del latín *hydraulīcus*, hace referencia a aquello que se mueve por medio de fluidos. El concepto se utiliza, en general, para nombrar al arte de contener, conducir y elevar las aguas. Se obtiene a partir del aprovechamiento de la energía cinética y potencial de las corrientes, las mareas o los saltos de agua, lo que provoca el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas (Secretaría de Medio Ambiente Energías y Desarrollo Sostenible de Oaxaca [SEMAEDES], 2022).

La hidroelectricidad requiere construir represas, canales de derivación y la instalación de grandes turbinas y equipamiento para generar electricidad (Bazan, s.f.). Una central hidroeléctrica clásica es un sistema de tres partes: un depósito en que se puede almacenar agua; una presa que puede abrirse y cerrarse para controlar el paso del agua; y una central eléctrica en la que se produce la electricidad (National Geographic, 2010) (Figura 1).

**FIGURA — 1****Central hidroeléctrica clásica**

Fuente: tomado de Greentech (2021)

## Historia

En la antigüedad, los romanos y griegos aprovechaban la energía del agua con ayuda de ruedas hidráulicas para moler trigo. Sin embargo, la posibilidad de emplear esclavos y animales de carga retrasó su aplicación generalizada hasta el siglo XII. Durante la Edad Media, las grandes ruedas hidráulicas de madera desarrollaban una potencia máxima de cincuenta caballos (ExpoEnergía, 2017) (Figuras 2 y 3).

## La Energía Hidráulica: fuente para generar electricidad

La energía hidroeléctrica debe su mayor desarrollo al ingeniero civil británico *John Smeaton* (1724-1792), que construyó por primera vez a mediados del siglo XVIII grandes ruedas hidráulicas. La hidroelectricidad tuvo mucha importancia durante la Revolución Industrial, impulsando el desarrollo de las industrias textiles, del cuero, y los talleres de construcción de máquinas a principios del siglo XIX, y ayudó al crecimiento de las nuevas ciudades industriales que se crearon en Europa y América

**FIGURA — 2**

La Fuente de Filipo, la más antigua obra hidráulica del mundo



Fuente: tomado de Ancient-Origins (2021)

**FIGURA — 3**

Ruedas Hidráulicas en Hama-Siria, siglo XII



Fuente: tomado de HeretiQ (2005)

(ExpoEnergía, 2017). La primera central hidroeléctrica se construyó en Niagara Falls, Canadá, en 1879. En 1881 las farolas de la ciudad de Niagara funcionaban mediante energía hidroeléctrica. En 1882, la segunda central hidroeléctrica del mundo comenzó a funcionar en Estados Unidos, en Appleton, Wisconsin. La energía hidroeléctrica genera electricidad de la forma más barata en la actualidad. Esta fuente de energía es limpia y se renueva cada año a través del deshielo y las precipitaciones.

## PARTICIPACIÓN DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL, EN LAS GRANDES POTENCIAS Y EN LA DE LOS PAÍSES LÍDERES EN SU USO EN AMÉRICA LATINA

### Mundial

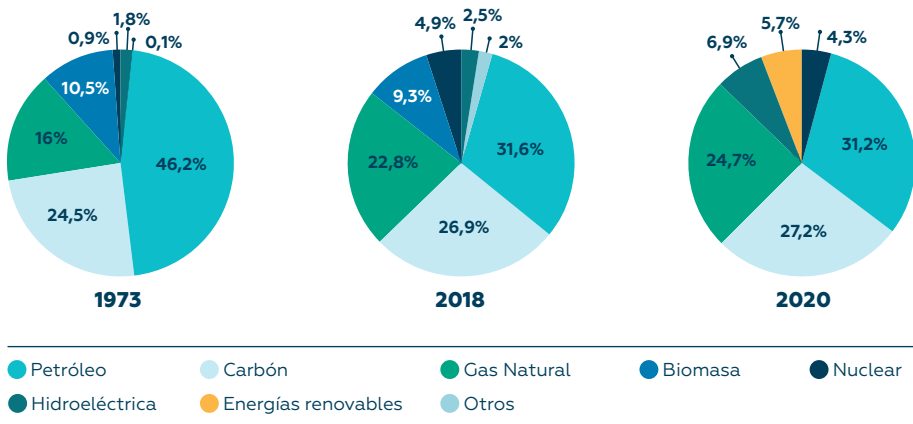
La energía hidroeléctrica, como otras energías renovables, representa un bajo porcentaje en la matriz energética mundial. Sin embargo, su participación ha crecido levemente pasando de representar 1.8% en 1973, a 2.5% en 2018 y a 6.9% en el 2020 (Figura 4). Aunque su contribución es mínima, este tipo de energía es la **energía renovable** más grande del mundo. Según Holzer (2020), en 2019 la generación de electricidad a partir de energía hidroeléctrica alcanzó un estimado de 4.306 TWh, estableciendo la mayor contribución de una fuente de energía renovable. Lo anterior se corrobora en la matriz energética mundial 2020, ya que su participación fue 6.9% mientras que la de otras energías renovables, exceptuando la nuclear, fue 5.7% (Figura 4).

### Principales potencias

*Estados Unidos*, con predominio de combustibles fósiles para la obtención de energía, presenta un cambio entre 1975 y 2018 con la implementación de energías renovables pasando de representar el 7% (1975) al 18% (2018). La energía hidroeléctrica representa solo el 3% de su matriz energética en 2018. *China*, cuya principal fuente de energía es el carbón, incrementó el uso de la energía hidroeléctrica de 3% a 8% entre 1975-2018 y de energías renovables (eólica, solar, nuclear y otras) que representaron el 7% en 2018. *Rusia*, cuya principal fuente de energía

**FIGURA — 4**

Participación de la energía hidroeléctrica en la Matriz Energética Mundial en 1973 y en 2020



Fuente: adaptado de RunRun Energético (2020) y Sánchez (2021)

es el gas natural, aumentó la participación de la energía hidroeléctrica de 2% a 6% entre 1994-2018 y mantuvo la utilización de otras energías renovables en 7% en el mismo período (Figura 5)

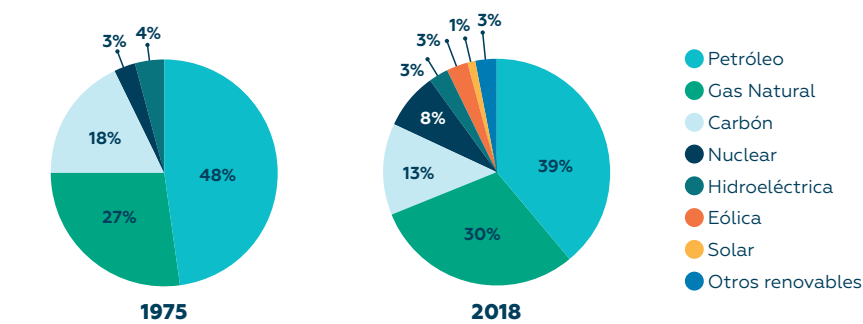
### América latina: países líderes de uso en Energía Hidroeléctrica

La Figura 6 muestra que Paraguay, Brasil, Colombia y Uruguay son los países líderes en uso de fuentes hídricas para la generación de energía en el 2010, representando respectivamente el 100%, 72%, 67% y 57% de su matriz energética. Esta tendencia se ha mantenido en 2018-2019 para Brasil (66.6%), Colombia (68.4%) y Uruguay (55.6%). Sin embargo, Paraguay, siendo un país con muchas centrales hidroeléctricas, disminuyó su participación a un 46% en 2018, importando combustibles fósiles (Figuras 7 y 8).

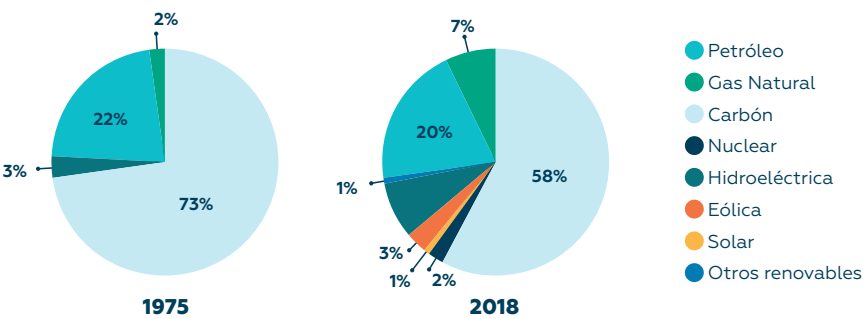
Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica, tanto en Latinoamérica, como a nivel global. Hoy en día están en funcionamiento 28 centrales hidroeléctricas con capacidad neta mayor o igual a 20 MW/hora y 115 centrales hidroeléctricas con capacidad menor. Así, la

**FIGURA — 5**  
Participación de la energía hidroeléctrica en la matriz energética de las principales potencias del mundo

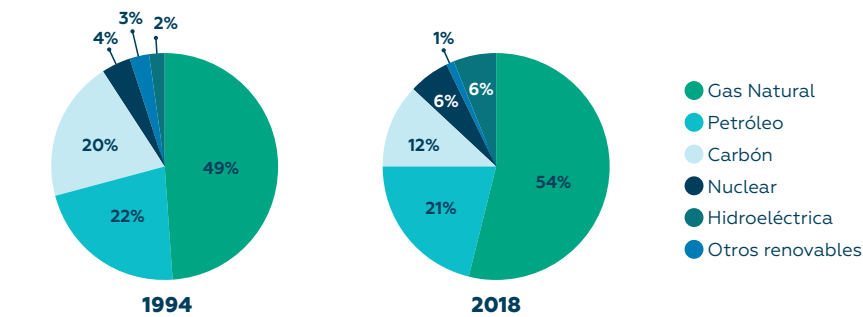
**MATRIZ ENERGÉTICA DE ESTADOS UNIDOS (1975-2018)**



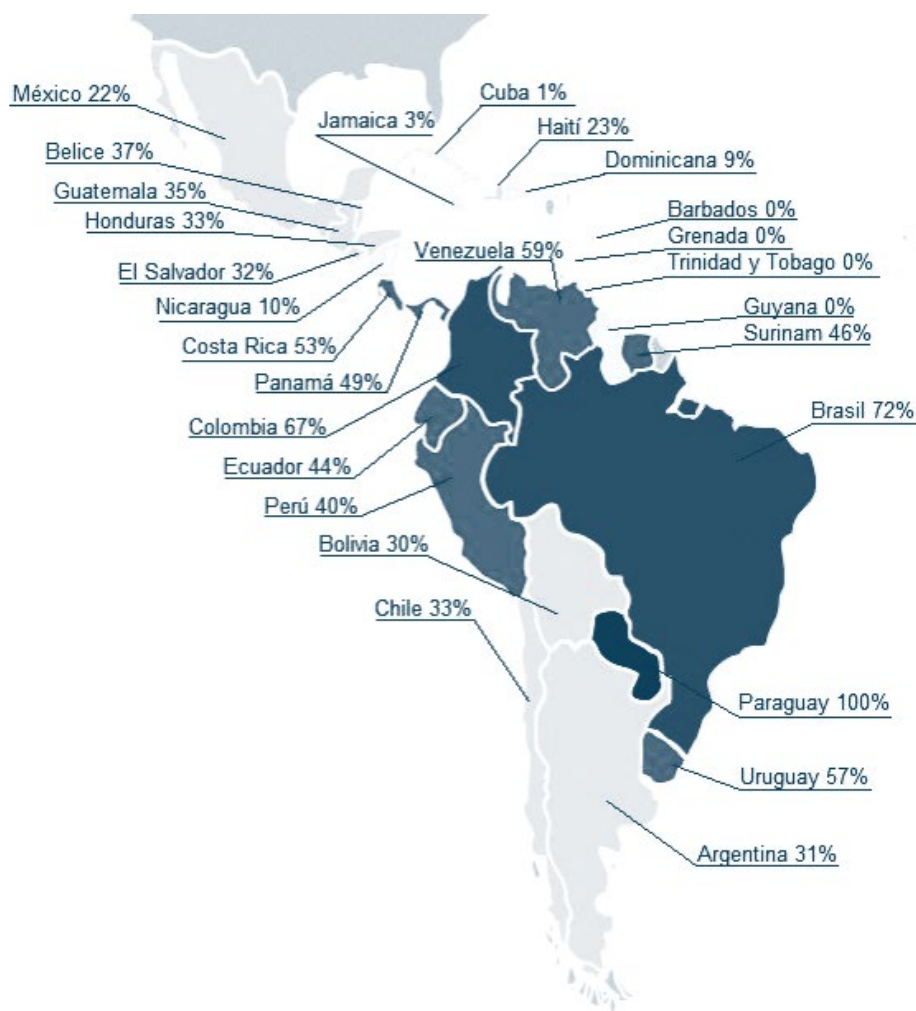
**MATRIZ ENERGÉTICA DE CHINA (1975-2018)**



**MATRIZ ENERGÉTICA DE RUSIA (1994-2018)**



Fuente: adaptado de Energy Information Administration (EIA, 2019) y British Petroleum (BP, 2019)

**FIGURA — 6****Participación de la energía hidroeléctrica en América Latina 2010****Participación de la energía hidroeléctrica en la matriz del país (%)**

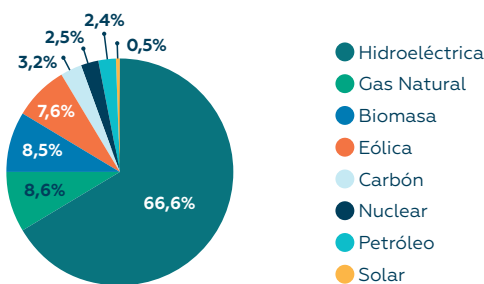
○ 0 - 20%    ● 20 - 40%    ● 40 - 60%    ● 60 - 80%    ● 80 - 100%

\* No incluye Puerto Rico ni Guyana Francesa.

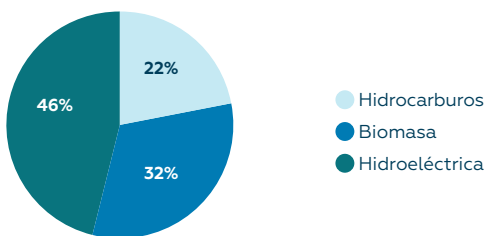
Fuente: tomado de Eguíluz (2015)

**FIGURA — 7**  
Participación de la energía hidroeléctrica en la matriz energética de Brasil, Uruguay y Paraguay (2018-2019)

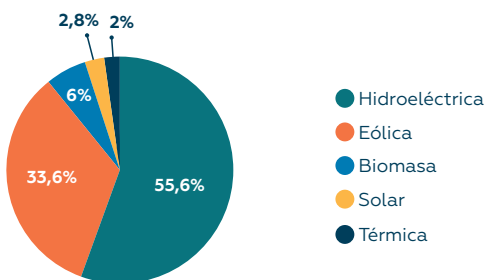
**BRASIL (2018)**



**PARAGUAY (2018)**



**URUGUAY (2019)**



Fuente: adaptado de Canal Energía (2019); Fleitas (2020) y Crónicas (2020)



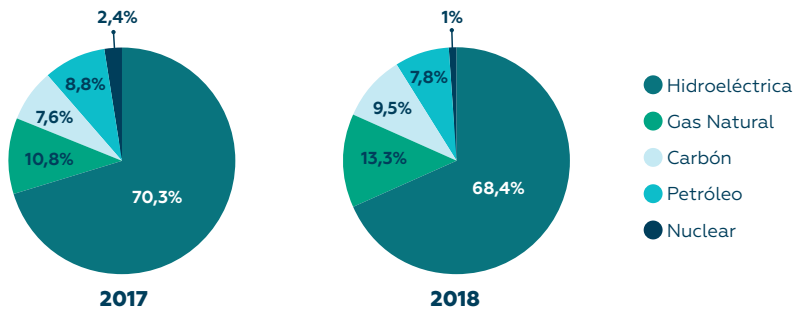
**FIGURA — 8**

Participación de la energía hidroeléctrica en la matriz energética de Colombia (2017-2018)

---

**MATRIZ ENERGÉTICA DE COLOMBIA (2017-2018)**

---




---

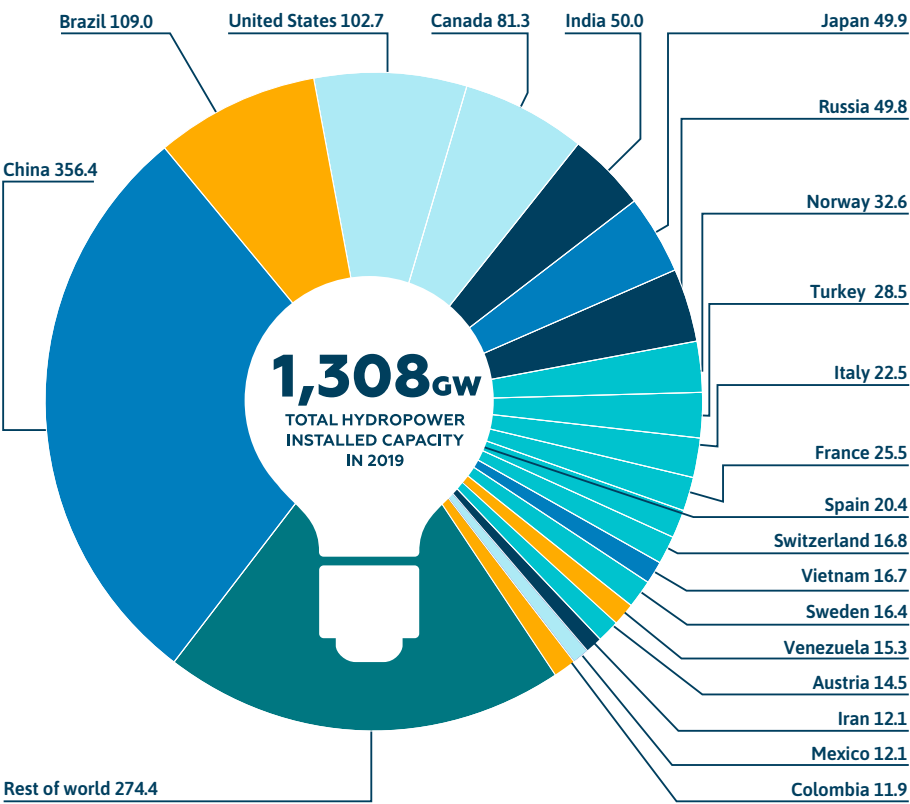
Fuente: adaptado de Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019)

generación de energía eléctrica del país según su matriz energética está basada en un 70,35% en energía hidráulica en el 2017 (Figura 7). Además de su inmensa riqueza hídrica, Colombia también cuenta con abundantes recursos naturales renovables como el solar y eólico, que representan un gran potencial para la generación de energía eléctrica a gran escala.

### Países con la mayor capacidad instalada de Energía Hidroeléctrica, 2019

En el 2019 la capacidad instalada de energía hidroeléctrica fue de 1308 GW/año (Holzer, 2020). La Figura 9 muestra los 20 países con la mayor capacidad hidroeléctrica instalada, de los cuales se destacan: China con 27.2% de la capacidad total mundial, Brasil con 8.3%, Estados Unidos con 7.9% y Canadá con 6.2%. Colombia, ubicada en el puesto 20, ocupó el 0.9% de la capacidad total instalada del mundo.

**FIGURA — 9**  
Países con la mayor capacidad hidroeléctrica instalada (GW/año) en 2019



Fuente: tomado de Holzer (2020)

## CADENA PRODUCTIVA DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA Y EMISIONES DE GEI

### Construcción y funcionamiento de una central hidroeléctrica

lagua (2022, apartado 2) y Figuras 10 y 11 ilustran y describen las distintas etapas y elementos en la construcción y funcionamiento de una central hidroeléctrica. **1- Presa:** se encarga de atajar el río y remansar las aguas antes de la contención, generando un desnivel en el agua que se aprovecha para la producción de energía. Las presas pueden ser de tierra o de hormigón. **2- Tomas de agua:** se encargan de recoger el agua embalsada para llevarla hasta las máquinas por medio de un canal o *tubería forzada*. Las tomas de agua presentan unas compuertas para regular la cantidad de agua que llega a las turbinas y unas *rejillas filtradoras* para impedir el paso a elementos extraños. **3- Sala de máquinas:** es donde se ubican las máquinas (turbinas-alternadores, turbina hidráulica, eje y generador eléctrico) y los elementos de regulación y comando. Presenta unas compuertas de entrada y salida que se emplean para poder dejar sin agua la zona de las máquinas en caso de reparación o desmontajes. **4- Turbinas hidráulicas:** se encarga de aprovechar la energía del agua que pasa a través para producir un movimiento de rotación mediante su propio eje. Existen tres tipos principales: la rueda Pelton, la turbina Francis y la turbina Kaplan. **5- Transformadores:** dispositivos eléctricos que sirven para aumentar o disminuir la tensión de un circuito eléctrico de corriente alterna manteniendo la potencia. **6- Líneas de transporte de energía eléctrica:** cableado para transmitir la electricidad producida.

La construcción de una central hidroeléctrica conlleva costos ambientales y sociales que pueden evitarse o reducirse si se evalúan cuidadosamente y se implantan medidas correctivas en la fase de planeación. Una mala planeación puede conllevar a problemas indeseados como la deforestación, el desplazamiento de grupos étnicos, alteración del territorio, de su biodiversidad o dificultad en la navegación fluvial debido al transporte de materiales aguas abajo.

### Emisiones de GEI

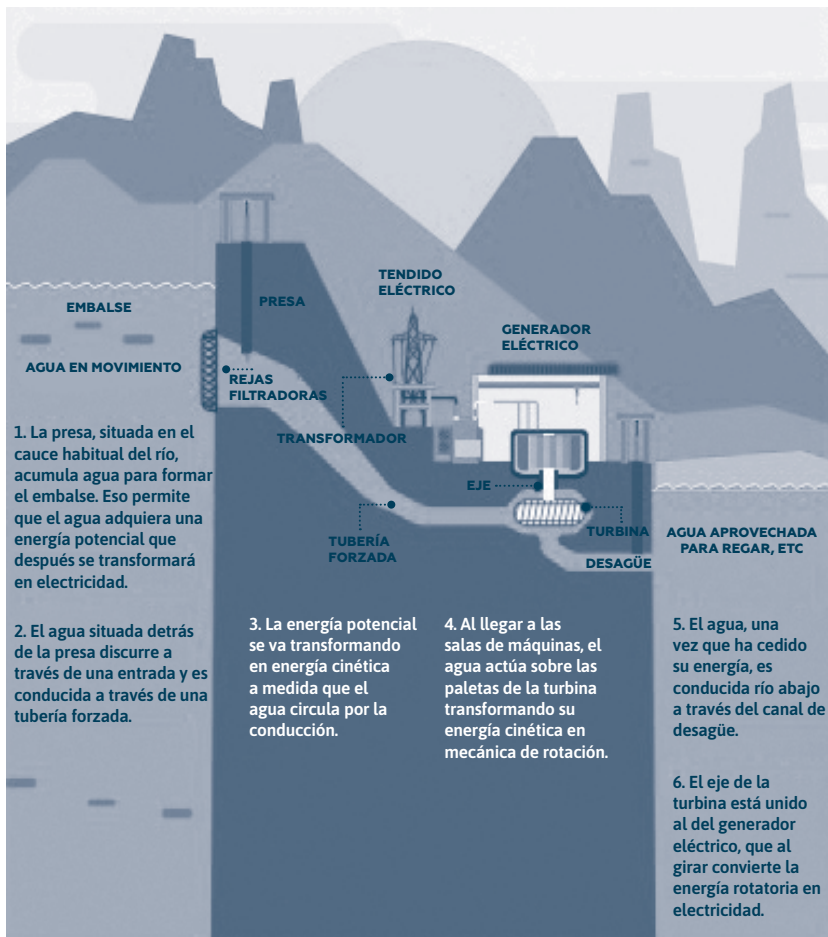
La energía hidroeléctrica no emite GEI en la generación de la energía eléctrica, pero sí emite GEI en algunas fases, principalmente en la construcción de las centrales hidráulicas. Los gases emitidos son los siguientes:

**FIGURA — 10**

Funcionamiento de una central hidroeléctrica

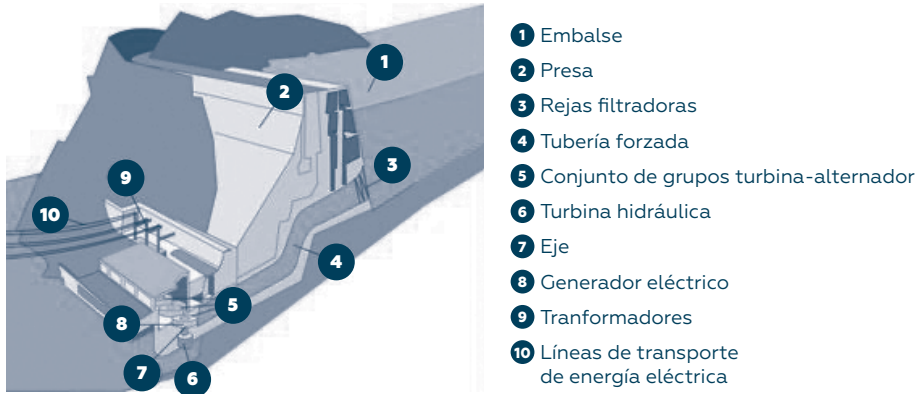
**¿CÓMO FUNCIONA UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA?**

Las centrales hidroeléctricas convierten en energía eléctrica la diferencia de energía potencial que tiene una determinada masa de agua al trasladarla entre dos puntos situados a distinta altitud o cota.



Fuente: tomado de Iberdrola S.A. (2022)

**FIGURA — 11**  
Partes de una central hidroeléctrica



Fuente: tomado de lagua (2022)

*Dióxido de carbono* ( $\text{CO}_2$ ), *Metano* ( $\text{CH}_4$ ) y *Óxido nitroso* ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en transporte y construcción, *Hidrofluorocarbonos* (HFC) en la instalación de refrigerantes y extintores, *Hexafluoruro de azufre* ( $\text{SF}_6$ ) en la construcción de las redes de energía, torres de alta tensión y transformadores, y *Perfluorocarbonos* (PFC) en la fase de construcción de la central hidráulica.

La energía hidroeléctrica es una fuente de mitigación del cambio climático, pues contribuye a disminuir las emisiones de GEI derivadas del uso de combustibles fósiles (United Nations Climate Change, 2018). Sin embargo, como la disponibilidad de agua para la generación de energía se ve afectada por el cambio en los patrones de precipitación a través de las diferentes épocas estacionales, es probable que sea necesario combinar el uso de energía hidroeléctrica con la generada por combustibles fósiles. Para lograr mayor reducción en las emisiones de GEI, lo ideal es combinarla con otras energías renovables como la solar o eólica.

## ¿CÓMO LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA MITIGA EL CAMBIO CLIMÁTICO?

Desde el inicio de la era industrial, la generación de energía proveniente de los combustibles fósiles –carbón, petróleo y gas natural– ha ido en

aumento. Toda nuestra sociedad depende de estas fuentes de energía y en ellas se ha basado la economía del mundo. Desafortunadamente, estas fuentes, en las distintas etapas de su cadena productiva, impactan negativamente al medio ambiente, especialmente por sus altos niveles de emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y de metano ( $\text{CH}_4$ ) entre otros GEI. En la Cumbre de la Ambición Climática, Glasgow, 2021 (United Nations Framework Convention Climate Change [UNFCCC], 2021) se confirmó científicamente que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático; se acordó que subvenciones ineficientes a combustibles fósiles deberán ir eliminándose y el carbón, el combustible fósil más contaminante, debe reducirse gradualmente en los próximos años. Se concluyó que para lograr que el incremento de temperatura promedio global con respecto a la era preindustrial no sea mayor a  $1.5^\circ\text{C}$ , las emisiones de GEI deberán reducirse en un 45% antes del 2030. Estas decisiones exigen un aumento en la eficiencia energética y una sustitución paulatina del consumo de energías fósiles por renovables. En la cadena productiva de la energía hidroeléctrica, como se mencionó anteriormente, las emisiones de GEI son muy inferiores a las ocasionadas por las industrias del carbón, petróleo y gas natural (ver capítulos 1 y 2) contribuyendo a la mitigación del cambio climático.

## **POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA SOBRE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

### **Política internacional**

La política mundial de apoyo a la transición energética hacia las energías renovables ha impulsado el crecimiento del mercado, una competencia mundial alta y la reducción en los costos. Existen tres organizaciones internacionales que promueven y apoyan la transición energética: 1- *Agencia Internacional de Energías Renovables* (IRENA), cuyo objetivo es facilitar la cooperación, promover el conocimiento, la adopción y el uso sostenible de energías renovables; 2- *Agencia Internacional de Energía* (AIE), organización intergubernamental creada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) tras la crisis del

petróleo de 1973, actúa como asesor en política energética para sus 30 países miembros en su esfuerzo de asegurar una energía responsable, asequible y limpia para sus ciudadanos; y 3- *Red de Políticas de Energías Renovables para el Siglo XXI* (REN21), grupo de expertos y de gobiernos, cuyo objetivo es facilitar el desarrollo de políticas, el intercambio de conocimientos y la acción conjunta hacia una rápida transición global hacia las energías renovables.

Como parte de la política mundial de apoyo a la transición hacia energías renovables, se incluyen dos incentivos económicos: a- **impuesto ambiental** a los servicios de electricidad, con exención a los proveedores de energía renovable, cuya ganancia se deposita en un fondo para apoyar la energía renovable y el desarrollo de tecnologías de eficiencia energética; y b- **exención fiscal** para el desarrollo de proyectos de energías renovables.

Entre los 17 objetivos de la *Agenda Mundial de Desarrollo Sostenible 2015-2030*, se incluye como objetivo 7 “garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”. La energía hidroeléctrica es una energía renovable, limpia, asequible, segura y moderna, que contribuye a alcanzar los objetivos de Desarrollo Sostenible, a la reducción de la pobreza y de la degradación ambiental.

## Política colombiana

La política energética colombiana se encuentra definida en el *Plan Energético Nacional 2020-2050* (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2015b) que fija una visión de largo plazo para el sector energético, incluyendo leyes y decretos para el desarrollo de energías renovables en especial para energía hidroeléctrica. **La Ley 51 de 1989**, encargada de la planeación energética y en particular de aceptar los programas de generación eléctrica no convencional, efectuar, contratar o promover la realización de estudios para establecer la conveniencia económica y social de su desarrollo y adoptar la política respectiva (Congreso de la República de Colombia, 1989). **Ley 143 de 1994**, conocida como la “Ley Eléctrica”, otorga a la UPME la función de elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional y dispone que el Estado es el encargado de asegurar la adecuada incorporación de los aspectos ambientales en la planeación y gestión de las actividades del sector (Congreso de la República de Colombia, 1994). **Ley 1665 de 2013**, aprueba el estatuto de IRENA, de la

cual Colombia es miembro, y a través de su **Decreto 570 de marzo 2018** explora el uso de fuentes renovables que complementen la generación hidroeléctrica (Congreso de la República de Colombia, 2013). Esta ley está respaldada por la **Ley 1715 de 2014** y el **Decreto 298 de 2016** que establecen la organización y funcionamiento del *Sistema Nacional de Cambio Climático (SISCLIMA)* para gestionar la mitigación de GEI y la adaptación al cambio climático en el país.

### INCENTIVOS PARA COMPAÑÍAS QUE INVIERTAN EN ENERGÍAS RENOVABLES PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GEI EN COLOMBIA

De acuerdo con el Congreso de la República de Colombia (2014) y la Presidencia de la República de Colombia (2015) existen los siguientes incentivos en el territorio colombiano:

- *Deducción especial en el impuesto de renta*, sustentado en el Artículo 11 de la Ley 1715 de 2014, el Artículo 2.2.3.8.2.1. y siguientes del Decreto 2143 de 2015; que aplica a contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta que realicen nuevas inversiones en investigación y desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCER), quienes tendrán derecho a deducir hasta el 50% del valor de las inversiones.
- *Depreciación acelerada*, presentado en el Artículo 14 de la Ley 1715 de 2014 y el Artículo 2.2.3.8.5.1. del Decreto 2143 de 2015; gasto que la ley permite deducir del impuesto sobre la renta, por una proporción del valor del activo que no puede superar el 20% anual.
- *Exclusión del IVA de bienes y servicios nacionales o importados* para inversiones en energías renovables expuesto en el Artículo 12 de la Ley 1715 de 2014, el Artículo 2.2.3.8.3.1. del Decreto 2143 de 2015.
- *Exención de gravámenes arancelarios* por la importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de inversión de proyectos con FNCER, contemplado en el Artículo 13 de la Ley 1715 del 2014 y el Artículo 2.2.3.8.4.1 del Decreto 2143 de 2015.



## LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA: UNA FUENTE DE ECOTURISMO

### ¿Qué es el ecoturismo?

Según la Organización Mundial del Turismo (OMT, 2022), el ecoturismo es toda actividad turística que gira en torno a la naturaleza, donde los turistas se enfocan en la observación, percepción y exploración del ecosistema, derivando beneficios que incluyen su comprensión de la complejidad de la naturaleza y su bienestar físico y mental. Este tipo de actividad genera a quien la ofrece: beneficios económicos, que se suelen usar para el mantenimiento del propio medio ambiente; beneficios sociales, porque crea oportunidades de trabajo y labor para las comunidades allegadas; y beneficios ambientales, ya que exige la conservación y buen manejo del sitio ecoturístico (OMT, 2002, citado en OMT, 2022). Así, este tipo de turismo administrado con buena gobernanza cumple con los cuatro pilares del Desarrollo Sostenible (2015-2030): desarrollo económico, bienestar social, conservación y manejo del capital natural y buena gobernanza (CEPAL, 2020).

### Grandes centrales hidroeléctricas y su desarrollo ecoturístico

Se mencionan a continuación las cinco centrales hidroeléctricas más grandes del mundo, ordenadas según su capacidad de generación de energía eléctrica en MW/día.

*Represa las Tres Gargantas, China* (Figura 11): se construyó en 1994 reubicando alrededor de 1.200.000 habitantes debido a su gran tamaño. Es una de las plantas hidroeléctricas más grandes del mundo, ubicada en China sobre el río Yangtsé en la ciudad Yichang con más de 2 kilómetros de presa. Según Roca (2021) “La central hidroeléctrica china de Tres Gargantas bate el récord mundial de generación eléctrica anual al alcanzar los 111,8 TWh, 2021”, lo que corresponde a una capacidad de 22.500 MW/día.

*Represa Itaipú, Brasil* (Figura 12): la Represa de Itaipú, binacional, compartida por Brasil y Paraguay, construida en 1971, suministra energía al 25% de la población de Brasil y 95% de la población de Paraguay. Hasta el 2011 se consideraba la central hidroeléctrica más grande del mundo, cuando fue superada por la *Presa de las Tres Gargantas* en China. Según J. Roca (2021) la central tiene la capacidad de generar 14.000 MW/

**FIGURA — 12****Represa las Tres Gargantas, China**

Fuente: tomado de SectorElectricidad (2017)

día. Además, recibe más de 1 millón 25 mil turistas. Entre 1977 y 2015 se estima que ha sido visitada por más de 19 millones de turistas de más de 188 países y territorios.

*Presa de Atatürk, Turquía* (Figura 13): esta presa está ubicada en Atatürk Baraji, en el suroriente de Turquía, se inauguró en 1990 con una capacidad instalada de 2.400 MW/día y una producción anual de 8.9 TW/h con capacidad de solventar durante siete años la energía en el país. A partir de 1993 se convirtió en la más grande del país y hoy en día es una de las más grandes del mundo. La Presa Atatürk es un atractivo turístico de la zona y recibe más de 50 mil turistas al año.

*Las cataratas del Niágara, Canadá y Estados Unidos* (Figura 14): en 1893 se construyó la primera central hidroeléctrica ubicada en la frontera del sur de Canadá con el norte de Estados Unidos, cuyo nombre real es *Robert Moses Niágara Power Plant*. Su función inicial fue la de suministrar electricidad a la línea de tren que conectaba Niagara Falls con las localidades de Queenston y Chippawa. Actualmente, es uno de los destinos turísticos más importantes del mundo por su inmensa belleza natural y recibe aproximadamente 30 millones de turistas al año, generando un beneficio económico que se utiliza para financiar los servicios públicos y la infraestructura en los dos países involucrados. Las Cataratas del

**FIGURA — 13**  
Represa Itaipú, Brasil



Fuente: tomado de History Channel Latinoamérica (2021)

**FIGURA — 14**  
Presa de Atatürk, Turquía



Fuente: tomado de Megaconstrucciones (2012)

**FIGURA — 15****Las cataratas del Niágara, Canadá y Estados Unidos**

Fuente: tomado de Guía Chicago (2022)

Niágara son un monumento natural de 12.000 años de antigüedad (Figura 14). Según el informe “Nuevo aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Niágara” la central tiene una capacidad de generación eléctrica de 2.190 MW/día (Chapin, 1963).

La presa de Hoover, Estados Unidos (Figura 15): fue construida entre 1931 y 1936, ubicada entre los estados de Arizona y Nevada en Estados Unidos. Se denomina *Lago Mead* en honor al ingeniero que supervisó el proyecto antes y durante su construcción y murió cuando se estaba finalizando. Además de suministrar electricidad a los estados de Arizona, Nevada y California, es un atractivo turístico visitado por más de 1 millón de personas cada año. Según el informe de Argos “Presa Hoover: construcción y patología de un ícono de la ingeniería” la central tiene la capacidad de generar 2.074 MW/día de electricidad (Argos, 2020).

**FIGURA — 16****La presa de Hoover, Estados Unidos**

Fuente: tomado de Ingeoexpert (2021)

## PRINCIPALES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS EN COLOMBIA

Como se mencionó anteriormente, Colombia, dotada de abundantes recursos hídricos, posee una matriz energética muy limpia, cuya fuente predominante para generación de electricidad es la energía hidroeléctrica, una energía renovable, infinita. En la matriz energética de 2017 representó el 70.35% y en la de 2018 el 68.5%. El país ha construido importantes centrales hidroeléctricas para aprovechar su potencial. Se mencionan las más relevantes tanto en su capacidad de generación de energía como en su oferta de ecoturismo.

*Represa El Peñol* (Figura 16): ubicada en Guatapé, departamento de Antioquia, inició su construcción en 1972 y terminó en 1979 y cuenta con una capacidad de 560 MW/día para generar electricidad. En el 2021 aportaba alrededor del 12% de la energía hidroeléctrica que se utiliza en Colombia (EPM, 2016). Es un sitio turístico muy reconocido que atrae a miles de visitantes nacionales y extranjeros por la belleza de la represa y del pequeño pueblo colonial de Guatapé. Además de las actividades acuáticas tales como paseos en lancha, motos acuáticas, navegación a



**FIGURA — 17**  
Represa El Peñol



Fuente: tomado de Minube (s.f.)

vela, kajak y yates, cuenta con hoteles ecoturísticos (glampings) para el hospedaje de los turistas (Aguirre Ramírez et al., 2007).

**Represa La Salvajina** (Figura 17): la central hidroeléctrica de Salvajina, alimentada por el Río Cauca, fue construida en 1985 y está ubicada al suroccidente de Colombia, municipio de Suarez, departamento del Cauca. Cuenta con una capacidad de generación de energía de 285 MW/día (Celsia S.A., 2022b). Ayuda a controlar el caudal del río Cauca, mitigando las sequías del verano e inundaciones del invierno, aportando beneficios al sector agrícola mejorando la calidad de los suelos y generando electricidad para la población de Suarez y municipios aledaños. Es un paraíso poco conocido en Colombia para realizar deportes náuticos, paseos en lancha con guías locales, y posee hoteles y hostales para los turistas.

**Represa Calima** (Figura 18): la Central Hidroeléctrica de Calima, ubicada en el noroccidente del departamento del Valle del Cauca, Colombia, se construyó entre 1961 y 1964 y posee una capacidad instalada para generar 132 MW/día de energía para abastecer a todo el departamento (Celsia S.A., 2022a). Es uno de los más grandes lagos de América con una extensión de 19.3 km y el más grande de Colombia. La represa ha creado una zona turística formidable, con un total de 720.000 visitantes al año.

**FIGURA — 18**  
**Represa La Salvajina**



Fuente: tomado de Celsia S.A. (2022b)

**FIGURA — 19**  
**Represa Calima**



Fuente: tomado de Celsia S.A. (2022a)

## CONCLUSIONES

Durante los años recientes se han incrementado las políticas adoptadas por diferentes países del mundo que apuntan a generar energías limpias. Garantizar que se pueda cubrir la demanda energética de manera sostenible a través de energías renovables, como la energía hidroeléctrica, es necesario para reducir el impacto ambiental que genera el uso de combustibles fósiles en la producción de electricidad y calor; y alcanzar los objetivos de la *Cumbre Climática de París, 2015* descritos en el *Acuerdo de París* (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015). Lo anterior, además, contribuye a que se puedan alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015-2030 (ODS) acordados en la Asamblea General de las Naciones Unidas, Nueva York, 2015.

La política internacional de lucha contra el Cambio Climático y las decisiones de los gobiernos sobre su transición energética progresiva, de energías basadas en combustibles fósiles hacia energías renovables, es fundamental pues, además de ofrecer la legislación para su implementación, establece los incentivos para dicha transición. Organizaciones internacionales como el Banco Mundial son clave para que los países en desarrollo puedan incorporar las energías renovables a su portafolio.

La Central Hidroeléctrica, además de generar energía eléctrica, se ha convertido en una bella fuente de ecoturismo que produce desarrollo económico para la región, creación de empleo tanto para mano de obra no calificada como para trabajos especializados como los instructores de deportes acuáticos, guías turísticos, biólogos, periodistas y administradores de hoteles y restaurantes. El ecoturismo creado en torno a una central hidroeléctrica es además una actividad educativa sobre la complejidad de la naturaleza y la importancia de cuidar los recursos naturales para la sostenibilidad de la humanidad.



## REFERENCIAS

- AGUIRRE RAMÍREZ, N. J.**, Palacio Baena, J. & Ramírez Restrepo, J. J. (2007). Características limnológicas del embalse el Peñol-Guatapé, Colombia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 6(10), 53-66.
- ANCIENT-ORIGINS.** (2021). *La fuente de Filipo: La más antigua obra hidráulica del mundo aún en uso [Fotografía]*. <https://www.ancient-origins.es/artefactos-tecnologia-antigua/fuente-filipo-003825>
- ARGOS.** (2020). PRESA HOOVER: CONSTRUCCIÓN Y PATOLOGÍA DE UN ÍCONO DE LA INGENIERÍA. 360 En Concreto. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/presa-hoover-construccion-y-patologia-de-un-ico-no-de-la-ingenieria#:~:text=La Presa Hoover es una,de metros cúbicos de concreto.>
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (26 de marzo de 2019). *La matriz energética de Colombia se renueva*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- BAZAN, R.** (s.f.). *CENTRALES HIDROELÉCTRICAS* (p. 11). <https://www.coursehero.com/file/70127498/Bazan-Renzo-CENTRALES-HIDROELÉCTRICASdocx/>
- BRITISH PETROLEUM [BP].** (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- CANAL ENERGÍA.** (2019). *BEN: oferta interna de energia eléctrica subiu 1,7% em 2018*. <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53118732/ben-oferta-interna-de-energia-eletrica-subiu-17-em-2018>
- CELSIA S.A.** (2022a). *Central hidroeléctrica Calima*. Nuestras Centrales Hidroeléctricas. <https://www.celsia.com/es/quienes-somos/centrales-hidroelectricas/>
- CELSIA S.A.** (2022b). *Central hidroeléctrica Salvajina*. Nuestras Centrales Hidroeléctricas. <https://www.celsia.com/es/quienes-somos/centrales-hidroelectricas/>

**CEPAL.** (2020). *La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el nuevo contexto mundial y regional. Escenarios y proyecciones en la presente crisis.* [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45336/6/S2000208\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45336/6/S2000208_es.pdf)

**CHAPIN, W. S.** (1963). Nuevo aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Niágara. *Informes de La Construcción*, 16(152), 79-83.

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (1989). *Ley 51 de 1989: por la cual se crea la Comisión Nacional de Energía y se dictan otras disposiciones.* <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1788820#:~:text=LEY 51 DE 1989&text=por la cual se crea, y se dictan otras disposiciones.>

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (1994). *Ley 143 de 1994: por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones.* [https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley\\_143\\_1994.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf)

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2013). *Ley 1665 de 2013: por medio de la cual se aprueba el “ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA).”* <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY 1665 DEL 16 DE JULIO DE 2013.pdf>

**CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2014). *Ley 1715 de 2014: por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional.* [http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

**CRÓNICAS.** (2020). La demanda eléctrica cae y la matriz energética es cada vez más renovable. *Crónicas.* <https://www.cronicas.com.uy/sociedad/la-demanda-electrica-cae-y-la-matriz-energetica-es-cada-vez-mas-renovable/>

**EGUÍLUZ, R.** (2015). El recurso hidroeléctrico en Latinoamérica (II). *Iagua.* <https://www.iagua.es/blogs/ruben-eguiluz/recurso-hidroelectrico-latinoamerica-ii>

**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, E.** (2019). *Balanço Energético Nacional 2019: ano base 2018.* <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN 2019 Completo WEB.pdf>

- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.** (2019). *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- EPM.** (2016). *Central hidroeléctrica Guatapé ya opera al 50% de su capacidad*. <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/central-hidroelectrica-guatape-ya-opera-al-cincuenta-porciento-de-su-capacidad>
- EXPOENERGÍA.** (2017). *Historia: Energía Hidráulica. ExpoEnergía Puebla*. <https://www.exposolucionesenenergia.com/blog/historia-energia-hidraulica.php?m=#:~:text=La hidroelectricidad es un recurso, y equipamiento para generar electricidad>.
- FLEITAS, J. A.** (2020). Una “matriz energética” absurda en el país de las hidroeléctricas. ABC. <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/economia/2020/02/17/una-matriz-energetica-absurda-en-el-pais-de-las-hidroelectricas/>
- GREENTEACH.** (2021). *Energía hidráulica y energía hidroeléctrica*. <https://www.greenteach.es/energia-hidraulica-hidroelectrica/>
- GUIA CHICAGO.** (2022). ¿QUÉ VISITAR EN LAS CATARATAS DEL NIÁGARA? [Fotografía]. <https://www.viajarchicago.com/visitar-cataratas-niagara.php>
- HERETIQ.** (2005). *Ruedas de agua en Hama - Siria [Fotografía]*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Rueda\\_hidráulica#/media/Archivo:Hama-3\\_norias.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Rueda_hidráulica#/media/Archivo:Hama-3_norias.jpg)
- HISTORY CHANNEL LATINOAMÉRICA.** (2021). *BRASIL Y PARAGUAY CONSTRUYEN LA REPRESA HIDROELÉCTRICA MAS GRANDE DEL MUNDO [Fotografía]*. <https://latam.historyplay.tv/hoy-en-la-historia/brasil-y-paraguay-construyen-la-represa-hidroelectrica-mas-grande-del-mundo>
- HOLZER, O.** (2020). Brasil fue el país que más potencia hidroeléctrica instaló en todo el mundo durante 2019. *Energía Estratégica*. <https://www.energiestrategica.com/brasil-fue-el-pais-que-mas-potencia-hidroelectrica-instalo-en-todo-el-mundo-durante-2019/#:~:text=Brasil se posicionó en el,Laos 1892 MW%3B Bhutan 720>
- IAGUA.** (2022). ¿Qué es y cómo funciona una central hidroeléctrica? <https://www.iaqua.es/respuestas/que-es-y-como-functiona-central-hidroelectrica>

- IBERDROLA S.A.** (2022). ¿Cómo funciona una central hidroeléctrica? [Fotografía]. [https://www.iberdrola.com/documents/20125/41497/Infografia\\_Central\\_Hidroelectrica\\_Funcionamiento.pdf/d7f903af-ad50-f6b4-0ae3-a6c-57f8aed7f?t=1629273729894](https://www.iberdrola.com/documents/20125/41497/Infografia_Central_Hidroelectrica_Funcionamiento.pdf/d7f903af-ad50-f6b4-0ae3-a6c-57f8aed7f?t=1629273729894)
- INGEOEXPERT.** (2021). *La presa Hoover: su altura y su construcción* [Fotografía]. <https://ingeoexpert.com/2021/02/03/la-presa-hoover-su-altura-y-su-construccion/>
- MEGACONSTRUCCIONES.** (2012). *Presa de Atatürk* [Fotografía]. <https://megaconstruccionen.net/images/presas/foto/ataturk-dam.jpg>
- MINUBE.** (s.f.). *Piedra del Peñol* [Fotografía]. Guatapé. <https://www.minube.com/rincon/piedra-del-penol-a85982>
- NATIONAL GEOGRAPHIC.** (2010). *Energía hidroeléctrica*. Medio Ambiente. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-hidroelectrica>
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL TURISMO [OMT].** (2022). *ECOTURISMO Y ÁREAS PROTEGIDAS*. <https://www.unwto.org/es/desarrollo-sostenible/ecoturismo-areas-protegidas>
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2015). *DECRETO 2143 DE 2015*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=64682>
- ROCA, J.** (2021). Las 10 hidroeléctricas más grandes del mundo: China ya alberga cinco centrales del Top 10. *El Periódico de La Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-centrales-hidroelectricas-mas-grandes-del-mundo/>
- ROCA, R.** (2021). La central hidroeléctrica china de Tres Gargantas bate el récord mundial de generación eléctrica anual al alcanzar los 111,8 TWh. *El Periódico de La Energía*. [https://elperiodicodelaenergia.com/la-central-hidroelectrica-china-de-tres-gargantas-bate-el-record-mundial-de-generacion-electrica-anual-al-alcanzar-los-1118-twh/#:~:text=A las 24%3A00 horas,\(111%2C8 TWh\).](https://elperiodicodelaenergia.com/la-central-hidroelectrica-china-de-tres-gargantas-bate-el-record-mundial-de-generacion-electrica-anual-al-alcanzar-los-1118-twh/#:~:text=A las 24%3A00 horas,(111%2C8 TWh).)

- RUNRUN ENERGÉTICO.** (2020). *LA ERA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES CONTINUARÁ POR VARIAS DÉCADAS*. <https://www.runrunenergetico.com/la-era-de-los-combustibles-fosiles-continuara-por-varias-decadas/>
- SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>
- SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE ENERGÍAS Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE OAXACA [SEMAEDES].** (2022). *Energía Hidráulica*. *Oaxaca.Gob.Mx*. <https://www.oaxaca.gob.mx/semaedes/energia-hidraulica/>
- SECTORELECTRICIDAD.** (2017). *La central hidroeléctrica más grande del mundo*. <https://www.sectorelectricidad.com/17308/la-central-hidroelectrica-mas-grande-del-mundo/>
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA [UPME].** (2015). *PLAN ENERGÉTICO NACIONAL COLOMBIA: IDEARIO ENERGÉTICO 2050*. [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)
- UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE.** (2018). *Cómo la energía hidroeléctrica puede ayudar a la acción climática*. <https://unfccc.int/es/news/como-la-energia-hidroelectrica-puede-ayudar-a-la-accion-climatica>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>



## CAPÍTULO 13

# La energía eólica a nivel mundial y su potencial en Colombia

BEATRIZ EUGENIA ESCOBAR  
MARIANA AYALA  
XIMENA GÓMEZ  
KAREN MARAHIA  
ERIKA MUÑOZ  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Este presente capítulo presenta y describe la definición de energía eólica, su cadena productiva y sus emisiones de GEI, muestra la política internacional y colombiana sobre energía eólica, y expone el panorama actual de energía eólica en Colombia y sus perspectivas futuras.





## INTRODUCCIÓN

La energía renovable se define como un tipo de energía que se obtiene a partir de fuentes naturales infinitas, inagotables, tales como: *Eólica* obtenida a partir de la energía cinética del viento; *Geotérmica* aprovecha las altas temperaturas (100-150 °C) de yacimientos volcánicos bajo la superficie terrestre; *Solar* a partir del sol, siendo la *fotovoltaica* que utiliza la luz del sol y la *térmica* su calor; *Mareomotriz* obtenida del movimiento de las mareas; *Hidroeléctrica* a partir de la fuerza del agua dulce de corrientes y ríos; *Biomasa* por la combustión de materia orgánica y *Biogás* producida biodegradando materia orgánica mediante microorganismos en dispositivos específicos sin oxígeno para generar un gas combustible (Acciona, 2020b). En respuesta a la política mundial de transición energética, de sustitución paulatina del uso de combustibles fósiles por energías renovables para reducir emisiones de GEI (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2015, 2021b, 2021a), la demanda y precio de estas energías aumentó inicialmente para responder a una población mundial creciente. Sin embargo, a partir del 2013 los costos de casi todas las energías renovables muestran una reducción (Figura 1). Se observa que la solar es la que más ha disminuido en precios desde el 2010, seguida por la energía eólica que se ha mantenido relativamente estable (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2018).

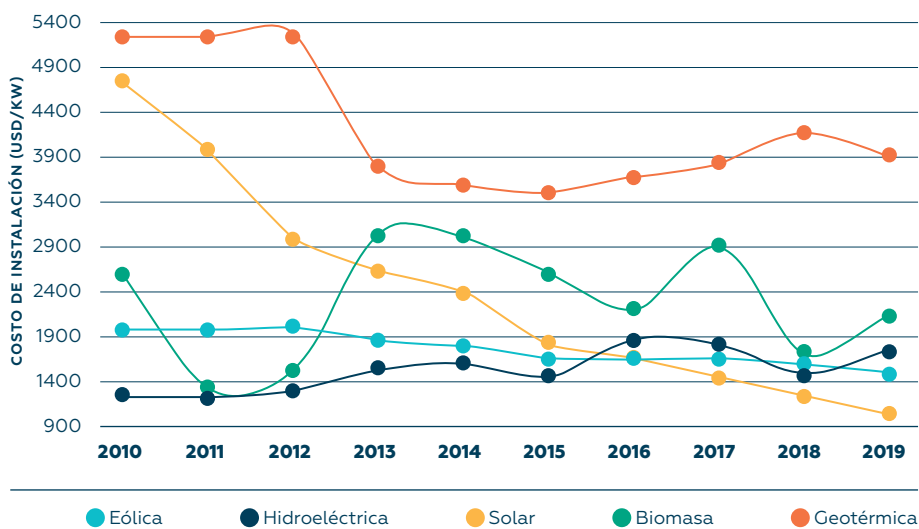
## LA ENERGÍA EÓLICA

Entre las diferentes fuentes de energía renovable, el recurso eólico se posiciona como una tecnología líder para combatir el cambio climático sin presentar afectación al medio ambiente, debido a que genera electricidad limpia, no tiene efecto negativo sobre la fisicoquímica del suelo, no genera contaminantes ambientales, ni presenta alteraciones en acuíferos ni gases tóxicos (Díaz, 2013; Escudero López, 2008; Moragues & Rapallini, 2003).

La energía eólica aprovecha la energía cinética del viento para transformarse en energía eléctrica a través de aerogeneradores, los cuales son estructuras que giran entre 13 y 25 revoluciones por minuto y tienen una vida media superior a los 25 años gracias a la innovación tecnológica de la actualidad. En los aerogeneradores la energía eólica

**FIGURA — 1**

Costos de energías renovable (USD/kW) entre 2010-2019



Fuente: adaptado de IRENA (2019)

mueve una hélice y mediante un sistema mecánico gira el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Las aspas son muy importantes en el diseño de un aerogenerador ya que son la parte de la turbina que recibe directamente la energía del viento. Un rotor está compuesto, generalmente, por dos o tres aspas cuyo tamaño comercial oscila entre los 20 y 60 metros y pueden pesar más de 1000 kg cada una. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento (Acciona, 2020a).

## EL PARQUE EÓLICO

La unión de varias turbinas eólicas compone un parque eólico sobre un espacio determinado con varianzas en los vientos y direcciones influentes de este mismo. Un parque eólico debe ser ubicado teniendo en cuenta criterios técnicos, económicos y ambientales, buscando minimizar al máximo impactos sociales, culturales y ecológicos. IRENA (2018)

establece que los puntos más importantes para el desarrollo, transporte, instalación y generación de aerogeneradores son: la planificación del proyecto, estructuración de la construcción, generación presupuestal de turbinas, conexión de redes y estudio biológico del terreno.

## COMPORTAMIENTO GENERAL DEL VIENTO

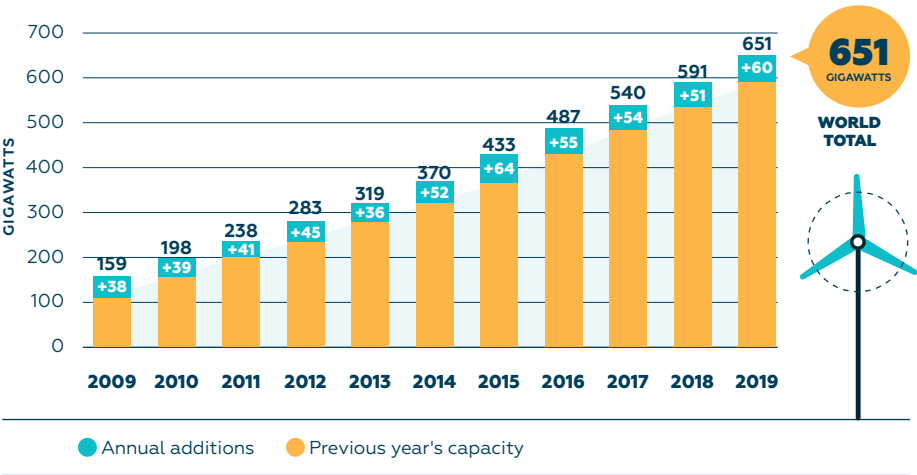
El viento es el movimiento de aire proporcionado por el calentamiento diferencial de la superficie terrestre y la atmósfera. El viento generalmente es producido por el desplazamiento de las masas de aire en la tropósfera, primera capa de la atmósfera terrestre, la cual está en contacto con la superficie de la Tierra. Tener conocimiento general sobre el comportamiento del viento de una región, no es suficiente para determinar el potencial eólico, ya que esto depende de factores como el sentido de giro del viento, el gradiente de presión por temperatura y ángulos geográficos del movimiento del viento (Eraso-Checa et al., 2018).

El comportamiento del viento se define por dos parámetros: su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo se determina mediante la llamada *rosa de los vientos*. La velocidad media del viento varía según diversas situaciones meteorológicas, es elevada en las costas, en algunos valles estrechos y en las montañas dependiendo de su altitud y topografía. La velocidad media del viento es más débil durante la noche y aumenta gradualmente a partir de la salida del sol (Bustamante et al., 2014; Matos Pupo et al., 2009).

## TENDENCIA DE INVERSIÓN EN ENERGÍA EÓLICA A NIVEL MUNDIAL

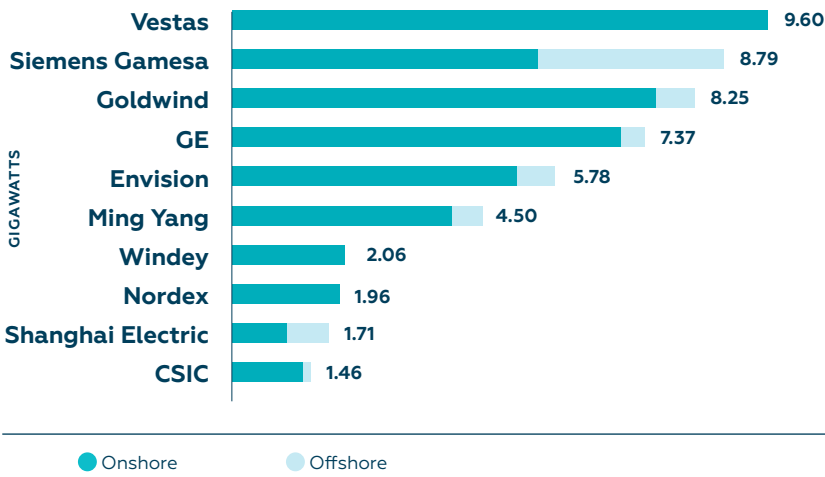
La necesidad por asegurar el suministro energético reduciendo los impactos ambientales y mejorando las condiciones de adaptabilidad al Cambio Climático, están impulsando a los gobiernos a incrementar las energías renovables en su matriz energética. La Figura 2 muestra el crecimiento exponencial de la capacidad instalada en energía eólica a nivel mundial entre 2009 y 2019; y la Figura 3 presenta la participación en GW de las empresas fabricantes de turbinas eólicas en 2019, siendo Vesta, Dinamarca, Siemens Gamesa, España, y Goldwind, China, las líderes de esta industria.

**FIGURA — 2**  
Capacidad instalada en energía eólica 2009 – 2019 (en GW)



Fuente: tomado de Revista de Energía Eólica y Vehículo Eléctrico (REVE, 2020a)

**FIGURA — 3**  
Participación en GW de empresas fabricantes de turbinas eólicas 2019



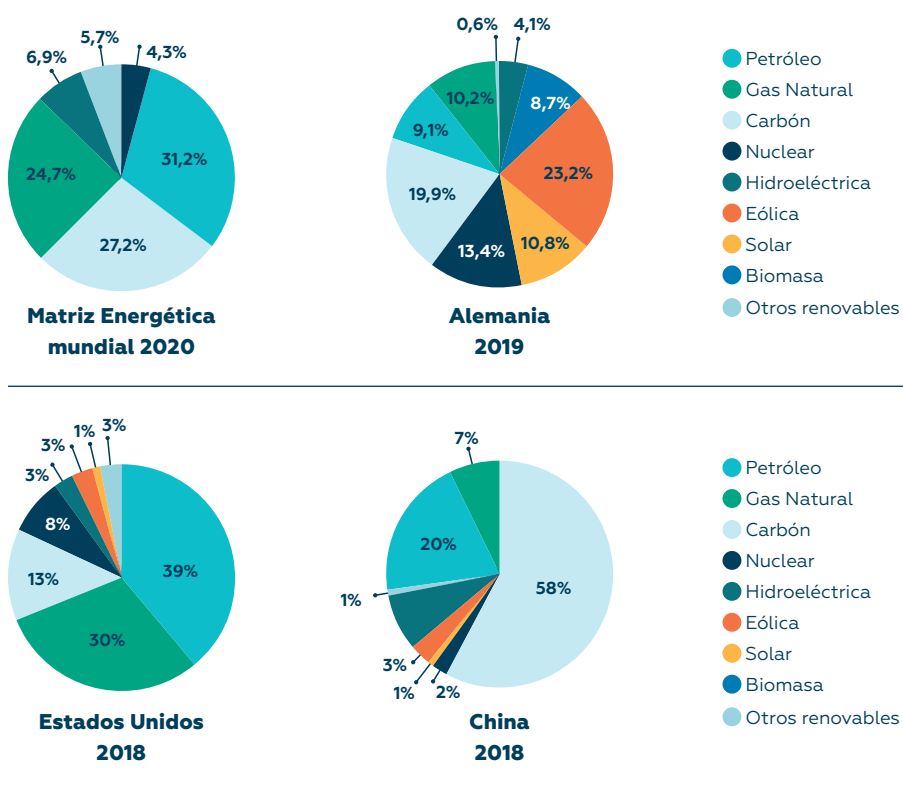
Fuente: tomado de REVE (2020b)

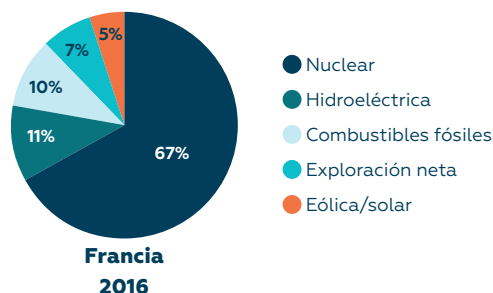
## PARTICIPACIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL Y DE PAÍSES LÍDERES EN SU USO

La energía eólica junto con otras energías renovables, exceptuando la hidroeléctrica y nuclear, contribuyen con solo el 5.7% de la matriz energética mundial 2020 (Figura 4). Alemania y Francia son países líderes en el uso de energías renovables, representando el 60.2% (23.2% en eólica) en Alemania 2017 y el 83% (5% en eólica y solar) en Francia 2016. Aunque China y Estados Unidos cuentan con la mayor capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial y con los parques eólicos más grandes del mundo, la energía eólica solo representa el 3% en sus matrices energéticas 2018.

**FIGURA — 4**

Participación de la energía eólica en la matriz energética mundial y de países líderes





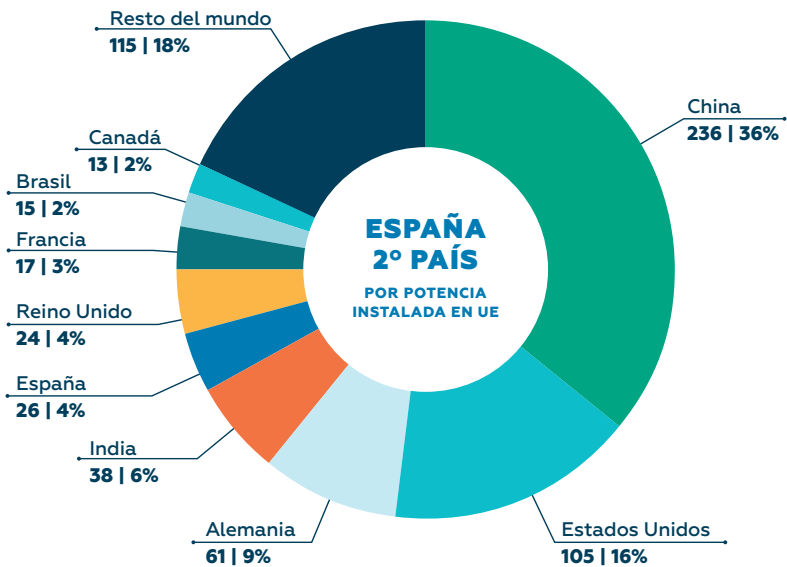
Fuente: adaptado de Sánchez (2021), Energy Information Administration (2019), Energy Information Administration (EIA, 2019), British Petroleum (BP, 2019), Roca (2019) y Bernal (2017) a partir de la Agencia Internacional de la Energía (2017)

## PAÍSES CON MAYOR CAPACIDAD INSTALADA

La Figura 5 presenta los 9 países líderes en producción de energía eólica, que representan el 82% de la capacidad eólica mundial, siendo los primeros China (36%), Estados Unidos (16%), Alemania (9%) e India (6%).

**China** con capacidad instalada 236GW, es el líder mundial en energía eólica y cuenta con el parque eólico terrestre más grande del mundo, *Parque eólico de Gansu* (7.965MW) (Figura 6) (Unwin & Farmer, 2019). **Estados Unidos** (105GW) es el segundo y particularmente fuerte en energía eólica terrestre con sus parques eólicos *Alta Wind Energy Center* en California (1.548MW), segundo a nivel mundial, el *Shepherd's Flat* en Oregón (845MW) y *Roscoe* en Texas (781.5MW). **Alemania** con 61GW, la más alta en Europa, proporciona energía eólica a 400.000 hogares mediante sus parques eólicos marinos *Gode* (582MW) y *Nordsee One* (382MW) (Figura 7). **India** con 38GW, la segunda más alta de Asia, cuenta con los parques terrestres *Muppandal* en Tamil Nadu (1.500 MW) y *Jaisalmer* en Rajasthan (1.064 MW), tercer y cuarto a nivel mundial.

**FIGURA — 5**  
Capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial (en GW y %)



Fuente: tomado de Sostenible o Sustentable (2022)

**FIGURA — 6**  
Parque eólico terrestre de Gansu, China



Fuente: Tomado de ENERNEWS (2019)

**FIGURA — 7**

Parque eólico marino Nordsee One, Alemania



Fuente: tomado de Innogy SE (2018) y Nordsee One GmbH (2021)



## CADENA PRODUCTIVA DE LA ENERGÍA EÓLICA Y SUS EMISIONES DE GEI

La emisión de GEI en la cadena de producción de energías renovables, y en particular de energía eólica, es mínima, dado que estas energías solo emiten GEI en las etapas de construcción y ensamblaje y no durante la producción de energía eléctrica. Por el contrario, en la cadena de producción de energía generada por combustibles fósiles se emiten GEI durante toda su cadena de producción (ver capítulos 1 y 2) y se consumen recursos finitos y agotables. La cadena de producción de energía eólica incluye la extracción de las materias primas, la construcción de los parques eólicos y la puesta en marcha de estos.

### Extracción de las materias primas y construcción del parque eólico

La producción de los cimientos y las aspas requiere de acero y cemento entre otros materiales, cuya extracción emite GEI. Las emisiones generadas por explosiones y en la fabricación del acero y del cemento son de 1.623 kg CO<sub>2</sub>/kg acero y 0.225 kg CO<sub>2</sub>/kg cemento. El transporte de la materia prima en camiones y grúas y el proceso de construcción del parque con sus componentes emite CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (García-Ochoa et al., 2020).

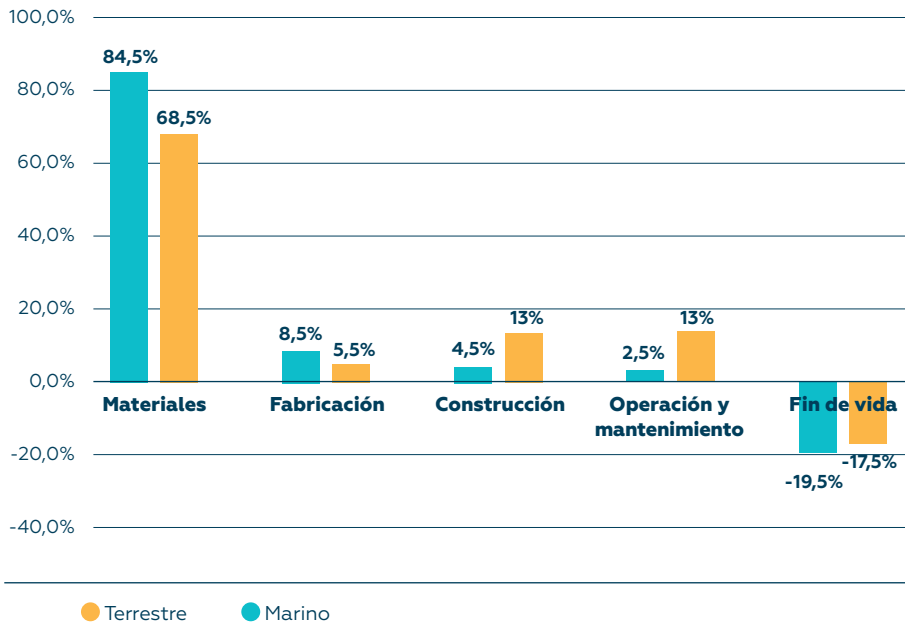
### Puesta en marcha del parque eólico

En esta etapa se realizan las conexiones eléctricas que permitirán que la generación de energía dada por el movimiento de las aspas con el viento sea llevada por medio de cables hacia un transformador desde donde se inyecta al sistema de electricidad. El sistema de cableado eléctrico requiere de metales como aluminio para la fabricación de semiconductores y la transmisión y distribución de la energía eléctrica, procesos que emiten GEI como los *Perfluorocarbonos* (PFC's) y el *Hexafluoruro de Azufre* (SF<sub>6</sub>) de muy alta capacidad de calentamiento global (Ballesteros & Aristizabal, 2007) (ver capítulo 6). Para la cuantificación de las emisiones de GEI correspondientes a los consumos eléctricos, se considera el *factor de emisión* de 0.21911 tCO<sub>2</sub>-eq/MWh, asociado a la Red Eléctrica de España (CIRCE, 2018). La energía excedente generada puede ser llevada a plantas de almacenamiento para utilizarla cuando no se esté generando por falta de fuerza del viento (Acciona, 2018).

La Figura 8 ilustra el porcentaje de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq que genera la energía eólica en todo su proceso de cadena productiva. Se comparan cuatro molinos eólicos, dos en parques terrestres y dos en parque marinos en sus etapas de extracción de materiales, fabricación de las partes, construcción, operación y mantenimiento del parque, y finalmente en su desmantelamiento y fin de vida. Los datos muestran que los parques eólicos terrestres generan mayores emisiones de GEI en la obtención de materiales y fabricación de las partes, mientras que los parques marinos los producen en la construcción y operación. En la etapa de desmantelamiento y fin de vida del parque se presentan emisiones negativas debido a que los materiales pueden ser reciclados y existe captura de carbono cuando el terreno vuelve a su estado de regeneración natural (Canga Cabañes, 2016).

**FIGURA — 8**

**Contribución porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub>-eq en la cadena productiva de un parque eólico**



Fuente: adaptado de Canga Cabañes (2016)

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA SOBRE ENERGÍA EÓLICA

### Política internacional

Las políticas sobre energías renovables en general traen consigo beneficios económicos y fiscales para las empresas que inviertan en ellas, tales como tarifas y primas de alimentación, préstamos blandos e incentivos fiscales (Raza et al., 2020). En el caso específico de la energía eólica para generación de energía eléctrica, los países líderes en su utilización cuentan con políticas específicas sobre su uso que incluyen beneficios económicos y fiscales para las empresas que inviertan en parques eólicos. Para países como China, Estados Unidos, Alemania, Canadá, Dinamarca, Australia y Japón la existencia de estas políticas aumentó significativamente la generación de este tipo de energía (Saidur et al., 2010).

### Política colombiana

Colombia ha promulgado leyes y decretos desde 1989 hasta 2018 con lineamientos de política pública y beneficios para su gestión. La **Ley 51 de 1989** acepta los programas de generación eléctrica con energías renovables y adopta la política respectiva (Congreso de la República de Colombia, 1989). Leyes sucesivas como **Ley 633 de 2000**, que mediante la creación del *Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas* (FAZNI), vigente hasta el 2021, ofrece fondos para proyectos de energía renovable. **Ley 697 de 2001** promueve y estimula la eficiencia energética y las energías renovables y crea el *Programa de Electricidad de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales* (PROURE) (Congreso de la República de Colombia, 2001). Posteriormente, el país ha decretado otras leyes que perfeccionan la política sobre energías renovables tales como la **Ley 1665 de 2013**, **Ley 1715 de 2014** (Congreso de la República de Colombia, 2013, 2014) (ver capítulo 13), hasta el **Decreto 580 de 2018** que promueve la contratación de energías renovables a largo plazo (Giraldo et al., 2018; Presidencia de la República de Colombia, 2018).

**Política Sobre Energía Eólica. Ley 788 de 2002** que establece una exención al impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada a partir de fuentes eólicas (Congreso de la República de Colombia, 2002). En los **Artículos 15 a 23 de la Ley 1715**

**de 2014** se especifican apoyos para la energía eólica (Congreso de la República de Colombia, 2014; Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2015a). La **Resolución 1312 de 2016** define los términos de referencia para la elaboración del *Estudio de Impacto Ambiental* (EIA) requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de energía eólica continental (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2016a).

## ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Colombia posee una matriz energética muy limpia cuya principal fuente es la energía hidroeléctrica, que en 2018 y 2019 contribuyó con el 68.4% y 69.7% respectivamente para la generación de energía (ver capítulo 13 y Figura 9 de este capítulo). Sin embargo, la generación de energía hidroeléctrica es vulnerable en épocas de sequías y durante el fenómeno del Niño, lo cual disminuye las reservas en las centrales hidroeléctricas. Gracias a su ubicación territorial, sus características geográficas y climáticas, Colombia tiene un gran potencial para la producción de electricidad limpia complementando la hidroeléctrica con otras energías renovables como eólica y solar (Dohmen, 2018). No obstante, solo se aprovecha el 0.4% de su potencial para la producción de energía eólica (Casamitjana Causa, 2017; Edsand, 2017) y esta fuente de energía contribuyó con solo el 0.13% de la matriz energética 2019 (Figura 9) generada por el único parque eólico del país, *Parque Eólico Jepirachi* (Figura 10), Guajira, puesto en marcha en 2004 con capacidad instalada de 19.5 MW de potencia nominal.

El parque eólico *Jepirachi* cuenta con 15 aerogeneradores de 1.3 MW cada uno, sometidos a los vientos alisios que soplan casi todo el año en esta parte de la península de la Guajira, a un promedio de 9.8 mts/seg. Este parque está registrado como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) por la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Fue uno de los primeros proyectos MDL firmados en el país y uno de los primeros en todo el mundo. Desde su entrada en operación hasta 2019, Jepirachi evitó 434.000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> (EPM, 2022).

**FIGURA — 9**  
Matriz Energética de Colombia para el 2019



Fuente: tomado de REVE (2019b)

**FIGURA — 10**  
Parque eólico Jepirachi en La Guajira, Colombia



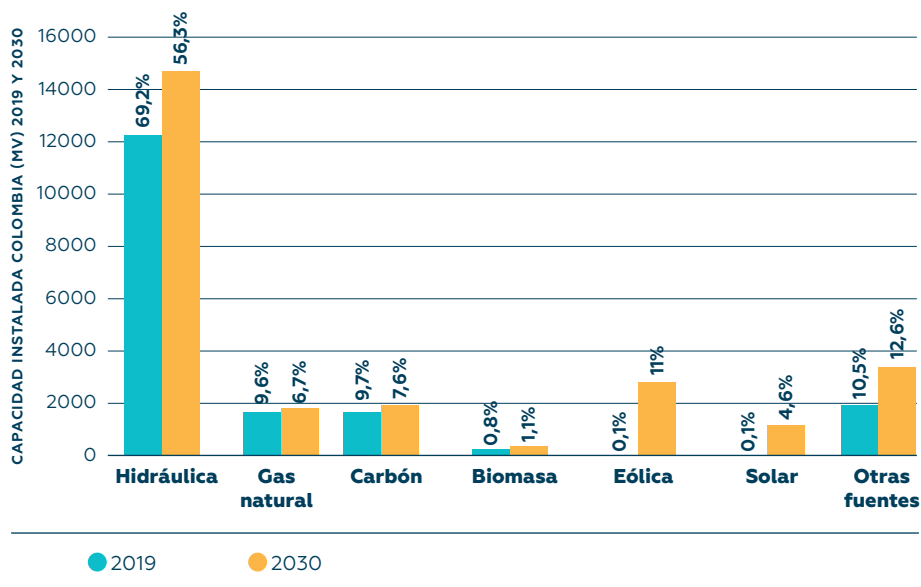
Fuente: tomado de Cortesía EPM (2022)

## PERSPECTIVAS FUTURAS DE LA ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA

Uno de los objetivos trazados por la UPME es suplir el 11% de la demanda eléctrica nacional con energía eólica para finales de la década 2020-2030, como se indica en la Figura 11. Se espera que la energía hidráulica continúe liderando la matriz energética de Colombia, sin embargo, será complementada con otras energías renovables.

En el 2019 el país formuló 60 proyectos de parques eólicos a desarrollarse en el departamento de La Guajira, llevados a cabo por 13 organizaciones multinacionales y 5 organizaciones locales, indicados en la Tabla 1, cuya localización se ilustra en la Figura 12. Sin embargo, existen otras regiones del país con potencial eólico (Tabla 2).

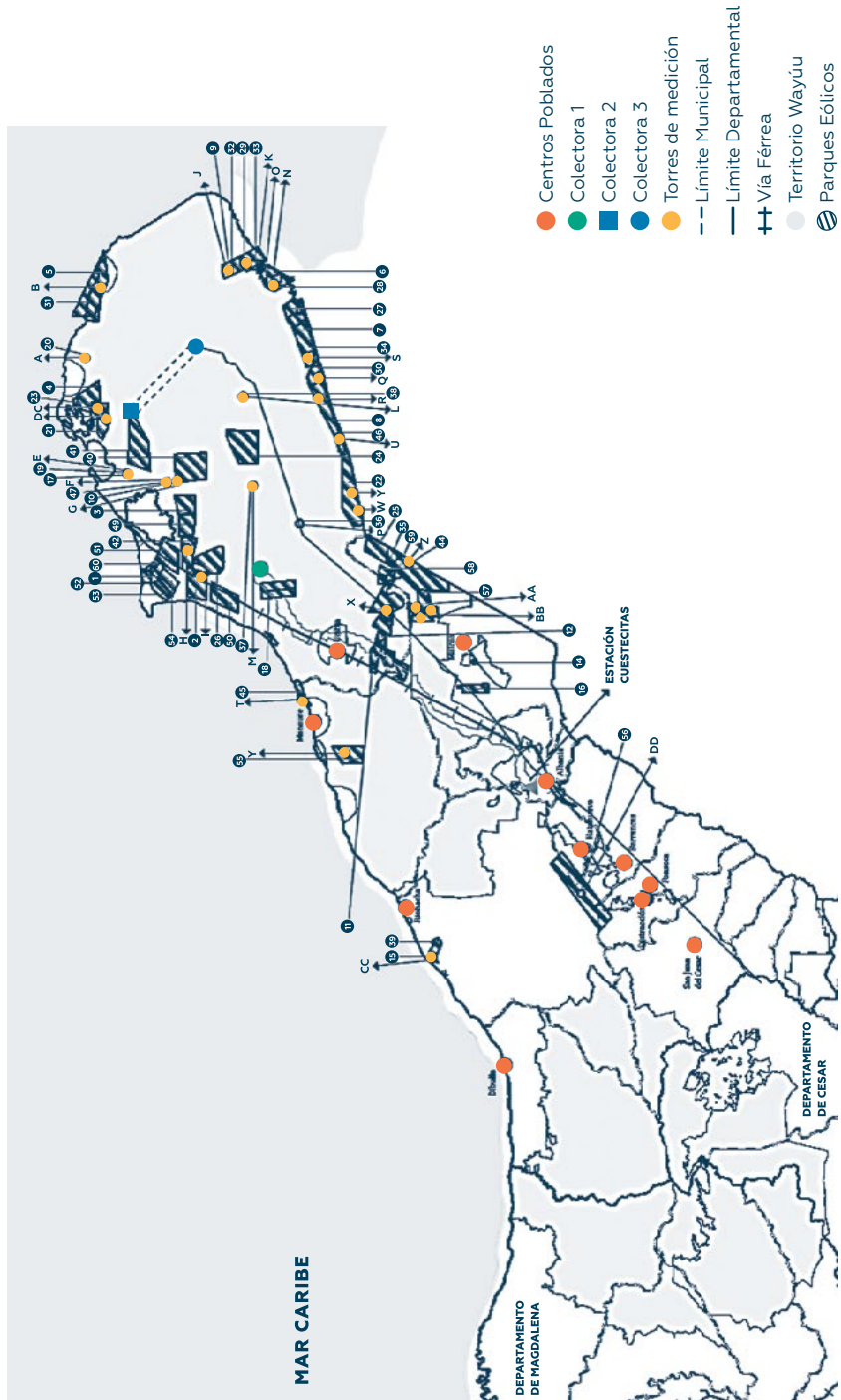
**FIGURA — 11**  
Capacidad instalada Colombia [MW] 2019 a 2030



Fuente: adaptado de UPME (2017)

**FIGURA — 12**

Localización de los 60 proyectos eólicos proyectados en La Guajira, 2019



Fuente: tomado de Eduardo Romero (@EduardoARomeroS, 2020) a partir de González y Barney (2019)

TABLA — 1

60 proyectos eólicos proyectados en Colombia en La Guajira, 2019

NÚMERO EN EL MAPA	PROYECTO EÓLICO	EMPRESA
1	Warepet	Acquaire
2	Alupa 1n	Alupar
3	Alupa 2n excluido por Indepaz	
4	Alupa 3n excluido por Indepaz	
5	Alupa 4n	
6	Alupa 5n	
7	Alupa 6n	
8	Alupa 7n	
9	Antena Satsapa	
10	Antena Zukaramana	
11	Camelia	Begonia Power
12	Camelia I	
13	Camelia II	
14	Acacia II	
15	Parque de generación eólica La Manita	Colgeólica
16	Parque Eólico Kumarka	Desarrollos eólicos Cuatro Vías
17	P-Sarrut-1	Desarrollos eólicos de Uribia
18	P-Jokormahana	
19	Youlepa	
20	Epm Eo400t	Empresas Públicas de Medellín
21	Epm Eo300m	
22	Epm Eo200i Ipapure	
23	Parque excluido por Indepaz	



24	<b>Kuisa</b>	
25	<b>Windpechi</b>	
26	<b>Urrachi-Chemeski</b>	
27	<b>Florguajira</b>	
28	<b>Castillete</b>	
29	<b>Warrutumana</b>	Enel Green Power
30	<b>Watchuali</b>	
31	<b>Patomana</b>	
32	<b>Enramada I</b>	
33	<b>Enramada II</b>	
34	<b>Torres Kanas</b>	
35	<b>Proyecto Beta</b>	Eolos
36	<b>P6</b>	
37	<b>P7 (torre M)</b>	Eviva Energy Martifer
38	<b>P8 (torre L)</b>	Renewables
39	<b>El Ahumado</b>	Guajira Eólica I
40	<b>Parque Eólico Dividivi</b>	
41	<b>Parque Eólico Parashi</b>	Guajira Eólica II
42	<b>Parque Rutkain</b>	
43	<b>Parque Trupillo</b>	Guajira Eólica La Vela
44	<b>Parque Guajira II</b>	
45	<b>Parque y torre de medición Zona I</b>	
46	<b>Torre de medición Zona K (Uyatpana)</b>	Isagén
47	<b>Parque y torre de medición La Loma</b>	
48	<b>Guajira III</b>	
49	<b>Irraipa</b>	
50	<b>Carrizal</b>	
51	<b>Casa Eléctrica</b>	Jemewaa'kai
52	<b>Parque Jotomana</b>	
53	<b>Apotolorro</b>	
54	<b>Apotolorro II</b>	

55	Parque Eólico Musichi	Musichi
56	Brittos	Sowitec Energía de Colombia
57	Alpha	Vientos del Norte
58	Beta 3	
59	Beta 4	
60	Jouktai	Wayúu S.A. convenio con Isagén

Fuente: adaptado de González y Barney (2019)

**TABLA — 2**  
Potencial eólico para diferentes regiones del país

ÁREA	POTENCIAL EÓLICO DE CAPACIDAD INSTALABLE
Costa Norte (Guajira)	20.000 MW/h
Norte de Santander	5.000 MW/h
Boyacá	1.000 MW/h
Risaralda - Tolima	1.000 MW/h
Huila	2.000 MW/h
Valle del Cauca	500 MW/h

Fuente: tomado de Luna Rodríguez y Nieves García (2019, p. 27)

## CONCLUSIONES

La energía eólica es una de las más importantes fuentes de energía renovable a nivel mundial y una de las de mayor crecimiento en capacidad instalada durante las últimas 4 décadas. Con la implementación de proyectos de energía eólica se busca disminuir la emisión de GEI, en comparación con las de combustibles fósiles, mitigando así el cambio climático, sin afectación sobre la fisicoquímica del suelo, contaminación ambiental, ni alteraciones en acuíferos.

En Colombia, la selección de la Guajira como destino de 60 nuevos proyectos de energía eólica se sustenta en sus condiciones de óptimo comportamiento del viento. Sin embargo, el país ha identificado otras regiones con potencial para futuros proyectos eólicos. La política colombiana desde 1989 hasta el presente, ha promovido la implementación y uso de energías renovables y desde el 2002 sobre energía eólica, con expectativas de crecimiento entre 2019 y 2030 con el fin que se llegue al 11% de contribución a la matriz energética colombiana.

## REFERENCIAS

- ACCIONA.** (13 de junio de 2018). *Planta de almacenamiento con energía eólica | Sostenibilidad- ACCIONA [Archivo de video]*. <https://www.youtube.com/watch?v=y46MeMRx1qw>
- ACCIONA.** (2020a). *AEROGENERADORES. ENERGÍA EÓLICA*. [https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/?\\_adin=02021864894](https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/?_adin=02021864894)
- ACCIONA.** (2020b). *LA IMPORTANCIA DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES. ENERGÍAS RENOVABLES*. [https://www.accion.com/es/energias-renovables/?\\_adin=11551547647](https://www.accion.com/es/energias-renovables/?_adin=11551547647)
- BALLESTEROS, H. O. B. & Aristizabal, G. E. L.** (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología.*

- BERNAL, F.** (2017). Sobre la obra cumbre antinuclear del diario La Nación. Respuesta primera. OETEC. <https://www.oetec.org/nota.php?id=2636&area=17>
- BRITISH PETROLEUM [BP].** (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition*. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- BUSTAMANTE, C., Jans, M. & Higuera, E.** (2014). El comportamiento del viento en la morfología urbana y su incidencia en el uso estacional del espacio público, Punta Arenas, Chile. *Revista AUS*, 15, 28-33.
- CANGA CABAÑES, J. L.** (2016). La huella de carbono de las energías renovables. 2- Eólica. *Comunidad ISM*. <https://www.comunidadism.es/la-huella-de-carbono-de-las-energias-renovables-2-eolica/>
- CASAMITJANA CAUSA, M.** (2017). Energías renovables. *Revista CINTEX*, 22(1 SE-Editorial), 7-9. <https://doi.org/10.33131/24222208.282>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (1989). *Ley 51 de 1989: por la cual se crea la Comisión Nacional de Energía y se dictan otras disposiciones*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1788820#:~:text=LEY 51 DE 1989&text=por la cual se crea,y se dictan otras disposiciones>.
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2001). *Ley 697 de 2001*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4449>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2002). *Ley 788 de 2002*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=7260>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2013). *Ley 1665 de 2013: Por medio de la cual se aprueba el “ESTATUTO DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES (IRENA)”*. <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Leyes/Documents/2013/LEY 1665 DEL 16 DE JULIO DE 2013.pdf>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2014). *Ley 1715 de 2014: por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional*. [http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariase-nado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

- CORTESÍA EPM.** (2022). *Jepírachi, el primer parque eólico puesto en marcha en Colombia* [Fotografía]. <https://www.semana.com/mejor-colombia/articulo/epm-pionera-de-la-transicion-energetica-en-colombia/202200/>
- DÍAZ, M.** (2013). Energía eólica. *Boletín IIE*, 37(2), 54-57.
- DOHMEN, C.** (2018). *Förnybar energi i Colombia. Möjligheter för en ren och hållbar elproduktion.*
- EDSAND, H.-E.** (2017). Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. *Technology in Society*, 49, 1-15.
- EDUARDO ROMERO** [@EDUARDOAROMEROS]. (13 de enero de 2020). ¿Dónde se ubicarán los parques eólicos proyectados construir en La Guajira? Probablemente será de las apuestas que mayor impacto (positivo y/o negativo) genere para las comunidades wayúu en el departamento [Imagen adjuntada][Tuit]. Twitter. <https://twitter.com/EduardoARomeroS/status/1216859439417917448/photo/1>
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.** (2019). *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050.* <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- ENERNEWS.** (2019). *Parque eólico de Gansu, China* [Fotografía]. Uno Por Uno, Los 10 Parques Eólicos Más Grandes Del Mundo. <http://enernews.com/nota/325413/uno-por-uno-los-10-parques-eolicos-mas-grandes-del-mundo>
- EPM.** (2022). *Parque Eólico Jepírachi.* <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/nuestras-plantas/energia/parque-eolico>
- ERASO-CHECA, F.,** Escobar-Rosero, E., Paz, D. F. & Morales, C. (2018). Metodologia para a determinação das características do vento e a avaliação do potencial de energia eólica em Túquerres-Nariño. *Revista Científica*, 31, 19-31.
- ESCUDERO LOPÉZ, J.** (2008). *Manual de energía eólica.* Mundi-Prensa Libros.
- GARCÍA-OCHOA, J. A.,** Quito-Rodríguez, J. C. & Perdomo, J. A. (2020). Análisis de la Huella de Carbono en la Construcción y su Impacto Sobre el Ambiente. *Villavicencio: Universidad Cooperativa de Colombia*, 22.

- GIRALDO, M.,** Gómez, J. D. & García, D. (2018). *Documento de Políticas Públicas N°50. Las energías renovables en Colombia: problemática social, ambiental y jurídica desde una perspectiva territorial*. <https://foronacionalambiental.org.co/publicaciones/detalle/documento-de-politica-publica-no50-las-energias-renovables-en-colombia-problematica-social-ambiental-y-juridica-desde-una-perspectiva-territorial/>
- GONZÁLEZ, C.** & Barney, J. (2019). *El viento del este llega con revoluciones. Multinacionales y transición con energía eólica en territorio Wayúu*. Indepaz [Instituto de Estudios para el Desarrollo y la Paz]. <http://www.indepaz.org.co/wp-content/uploads/2019/04/EL-VIENTO-DEL-ESTE-LLEGA-CON-REVOLUCIONES-INDEPAZ.pdf>
- INNOGY SE.** (2018). *Nordsee One offshore wind farm starts commercial operation [Fotografía]*. Offshore Wind Industry. [https://www.offshorewindindustry.com/sites/default/files/field/image/offshore\\_b\\_nordsee\\_one\\_starts\\_operation.jpg](https://www.offshorewindindustry.com/sites/default/files/field/image/offshore_b_nordsee_one_starts_operation.jpg)
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA].** (2018). *Renewable Power Generation Costs in 2017, Key findings and executive summary*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA\\_2017\\_Power\\_Costs\\_2018\\_summary.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018_summary.pdf)
- LUNA RODRÍGUEZ, J. M.** & Nieves García, J. L. (2019). *Evaluación del recurso eólico para la generación de energía eléctrica en la vía al Mar Cali-Buenaventura* [Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/10970/T08523.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- MATOS PUPO, F.,** Tamayo, L. & Lorenzo, A. (2009). Modelo Simple para la Predicción de la Generación Eólica (MOSIMPRE) aplicado al Parque Eólico Demostrativo de Turiguano. Ciego de Ávila, Cuba. *Revista EcoSolar*, (26).
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2016). *Resolución 1312 de 2016*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/18995913/Res.+MADS+1312+11-08-2016+ToR+EIA+Py+s+Eólicos+continentales.pdf/2de2127d-d0a5-4953-8462-8de862cd6f36>
- MORAGUES, J.** & Rapallini, A. (2003). *Energía eólica*. Buenos Aires: Instituto Argentino de La Energía General Mosconi.

**NORDSEE ONE GMBH.** (2021). *LOCATION* [Fotografía].

**PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2018). Decreto 580 de 2018. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=85746>

**RAZA, M. Y., Wasim, M. & Sarwar, M. S.** (2020). Development of Renewable Energy Technologies in rural areas of Pakistan. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 42(6), 740-760.

**REVISTA DE ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO [REVE].** (2019). *La apuesta por las energías renovables en Colombia*. <https://www.evwind.com/2019/05/11/la-apuesta-por-la-energias-renovables-en-colombia/>

**REVISTA DE ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO [REVE].** (2020a). *La situación mundial de la energía eólica*. <https://www.evwind.com/2020/07/05/la-situacion-mundial-de-la-energia-eolica/>

**REVISTA DE ENERGÍA EÓLICA Y VEHÍCULO ELÉCTRICO [REVE].** (2020b). *Vestas lideró los aerogeneradores para la energía eólica en 2019*. <https://www.evwind.com/2020/02/19/vestas-lidero-los-aerogeneradores-para-la-energia-eolica-en-2019/>

**ROCA, J. A.** (2019). Las energías renovables producen el 47% de la generación eléctrica alemana en 2019. *El Periódico de La Energía*. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-energias-renovables-producen-el-47-de-la-generacion-electrica-alemana-en-2019/>

**SAIDUR, R., Islam, M. R., Rahim, N. A. & Solangi, K. H.** (2010). A review on global wind energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1744-1762.

**SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>

**SOSTENIBLE O SUSTENTABLE.** (2022). *Energía Eólica: ¿Qué es? Ventajas y Desventajas*. <https://sostenibleosustentable.com/es/energia-renovable/energia-eolica-que-es-ventajas-desventajas/>

**UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA [UPME].** (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. <http://www.>

upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\_Energias\_Renovables/INTEGRACION\_ENERGIAS\_RENOVANLES\_WEB.pdf

**UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA [UPME].** (2017). *PLAN DE EXPANSIÓN DE REFERENCIA GENERACIÓN – TRANSMISIÓN 2017 – 2031*. [https://www1.upme.gov.co/Energia\\_electrica/Plan\\_GT\\_2017\\_2031\\_PREL.pdf](https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Plan_GT_2017_2031_PREL.pdf)

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2015). *ACUERDO DE PARÍS*. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021a). *Climate Change Conference COP 25 Madrid*. <https://unfccc.int/event/cop-25>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021b). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>

**UNWIN, J. & Farmer, M.** (2019). The top 10 countries with the largest wind energy capacity in 2021. *Power Technology*. <https://www.power-technology.com/analysis/wind-energy-by-country/>



## CAPÍTULO 14

# Energía solar a nivel mundial y su potencial en Colombia

MANUELA ROJAS  
SANTIAGO RUEDA  
NATHALIA TRUJILLO  
LINA MARCELA CORREA  
MARÍA ALEJANDRA BETANCURT  
CARLOS EDUARDO VARGAS  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Este capítulo explica las características y tipos de energía solar, costos, las emisiones de GEI en su cadena productiva, países productores y política internacional y colombiana sobre su implementación dirigida a reducir las emisiones de GEI, mejorar el bienestar del ecosistema y la calidad del aire.



## INTRODUCCIÓN

La utilización complementaria de fuentes de energía renovable como la solar, eólica, hidráulica, biogás, mareomotriz, biomasa y geotérmica (ver capítulo 14) son una alternativa para mitigar el Cambio Climático, pues disminuyen las emisiones de GEI del sistema energético basado en combustibles fósiles (ver capítulos 1 y 2), sin dejar por ello de cubrir la demanda mundial de servicios energéticos.

## LA ENERGÍA SOLAR

Esta energía se obtiene del sol, es renovable, fuente de energía ilimitada, no produce GEI ni subproductos peligrosos para el medio ambiente, está disponible en todo el planeta y contribuye al Desarrollo Sostenible, pues no afecta los ecosistemas terrestres y marinos, como sí lo hace el uso de combustibles fósiles durante la explotación, transporte, refinado y utilización de sus derivados (ver capítulos 1 y 2) (Ibarra, 2020; Twenergy, s.f.). Es de dos tipos: *energía solar fotovoltaica*, la cual, a través de placas solares, absorbe la radiación solar y la transforma en electricidad que puede ser almacenada en la red eléctrica para luego ser distribuida; y *energía solar térmica*, que utiliza la radiación solar para calentar un fluido (agua) hasta que genere vapor y accione una turbina que produzca electricidad (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2015; Nandwani, 2005).

## HISTORIA Y SU DESARROLLO EN EL MUNDO

El uso de energía solar sin un dispositivo intermedio para captarla, denominada *energía solar pasiva*, comenzó en la antigua Grecia, cuya importancia se refleja en la adoración al Dios Helios o Dios del Sol y en diseños arquitectónicos que aprovecharan la luz y el calor del sol (año 400 a.C.) (Carbonell, 2022). Arquímedes entre sus inventos militares desarrolló un sistema para prender fuego a los barcos de las flotas enemigas utilizando espejos para concentrar la radiación solar en un punto (Glez, 2018). El Imperio Romano utilizó por primera vez vidrio en las ventanas para aprovechar la luz y atrapar el calor solar en sus casas, penalizando el bloqueo del sol a los vecinos. Más adelante, Horace Bénédict de Saussure

(1839-1890) inventó el *colector solar* para captar la energía del sol como fuente y reutilizarla para generar electricidad, denominada *energía solar activa* (Carbonell, 2022). A partir de su invento surgieron los desarrollos posteriores de calentadores solares de agua de placa plana y de celdas fotovoltaicas y paneles solares que convierten la luz en electricidad.

## PANELES SOLARES

Los paneles solares fotovoltaicos contienen un conjunto de células solares que convierten la luz en electricidad, compuestos generalmente por silicio que aprovechan la energía de los fotones de la luz solar para hacer saltar un electrón del silicio. Mediante la suma de varios de estos electrones se genera una corriente eléctrica (Granda-Gutiérrez et al., 2013). La primera utilización práctica de celdas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica se dio en los dos primeros satélites geoestacionarios (Carbonell, 2022).

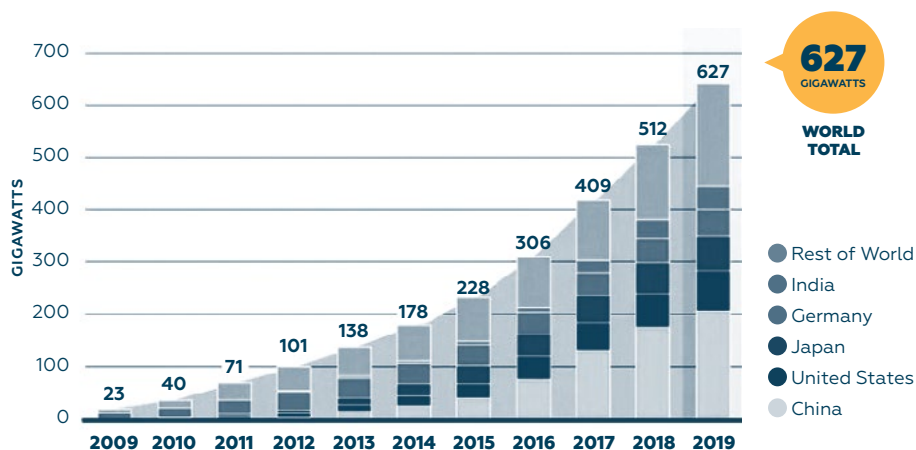
## CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD MUNDIAL DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La Figura 1 presenta el crecimiento de la capacidad mundial en energía solar fotovoltaica entre 2009 y 2019, pasando de 23GW/año a 627GW/año, correspondiente a un incremento de 263% en 10 años. Alemania fue el líder entre 2009 y 2014 superado por China entre 2015 y 2019.

## PAÍSES CON LA MAYOR CAPACIDAD INSTALADA DE ENERGÍA SOLAR, 2019

La Figura 1 muestra los 5 países con la mayor capacidad instalada de energía solar en el 2019, representando 410 GW/año aprox., el 65.5% de la capacidad instalada mundial. China con 210 GW/año aprox., contribuye con el 33.5% de la capacidad mundial, seguida por Estados Unidos (80 GW/año aprox., 12.8%), Japón (70 GW/año aprox., 11.2%), Alemania (30 GW/año aprox., 4.8%) e India (20 GW/año aprox., 3.2%). Sin embargo,

**FIGURA — 1**  
Crecimiento de la capacidad mundial en energía solar fotovoltaica (PV)  
2009-2019



Fuente: tomado de Energía Renovable (2020)

la participación porcentual de la energía solar en la matriz energética de estos países no refleja su liderazgo en la capacidad instalada a nivel mundial, siendo Alemania el país con mayor participación de esta energía en su matriz energética 2019.

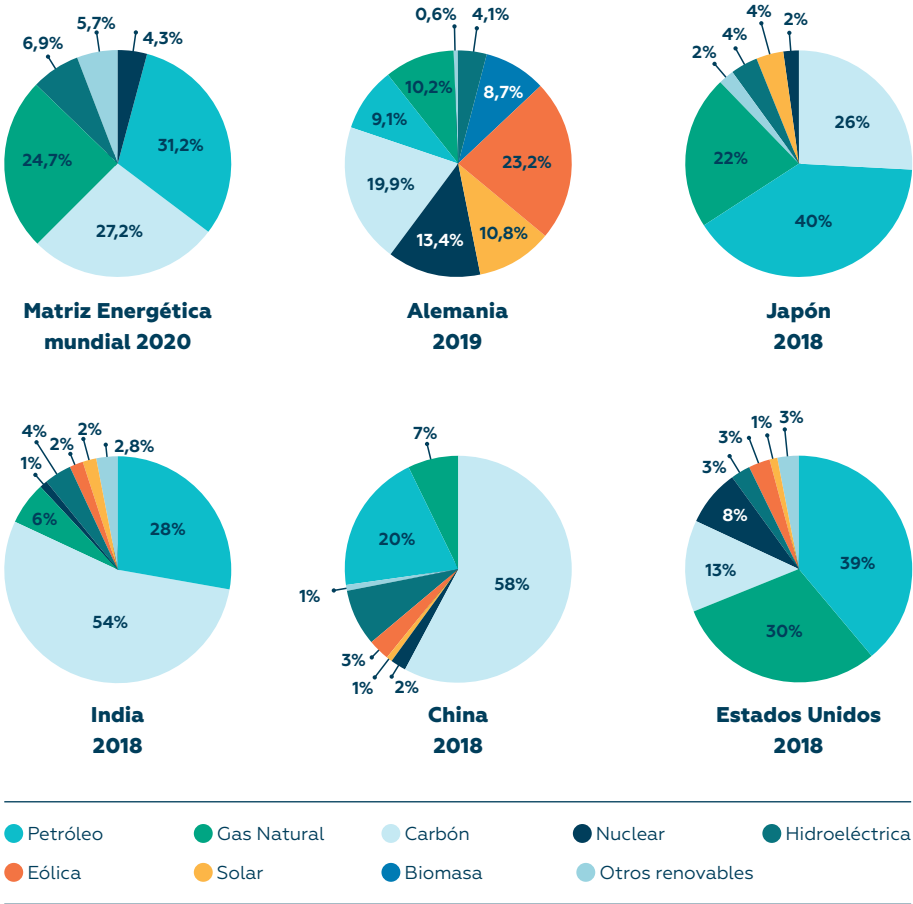
Participación de la Energía Solar en la matriz energética mundial de países líderes en su uso y en américa latina

La Figura 2 muestra que la energía solar, junto con otras energías renovables, exceptuando la hidroeléctrica y nuclear, contribuyen con solo el 5.7% de la matriz energética mundial 2020. Alemania y Japón son países líderes en la participación de energía solar en su matriz energética, representando el 10.4% en Alemania 2019 y el 4% en Japón 2018, seguido por India con el 2%, China y Estados Unidos con el 1% en sus matrices energéticas 2018.

La Figura 3 muestra la participación porcentual de energías renovables en la red eléctrica de cada país de América Latina en 2019, siendo los de mayor participación Paraguay (100%), Costa Rica (98.2%), Uruguay (96.7%), Belice (93%), Brasil (81.4%) y Colombia (71.9%). La energía hidroeléctrica representa el 84% de las energías renovables utilizadas en la región y la energía solar representa solo el 1%.

**FIGURA — 2**

Participación de la energía solar en la matriz energética mundial y de países líderes



Fuente: adaptado de Sánchez (2021), Energy Information Administration (2019), Energy Information Administration (EIA, 2019), British Petroleum (BP, 2019) y Roca (2019)



## TENDENCIAS DEL MERCADO FOTOVOLTAICO EN EL MUNDO AL 2023

El mercado mundial superó los 600 GW/año en 2019 (Figura 1). La acumulación de ofertas promedio en Egipto, Jordania, Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita por debajo de los 30 \$USD/MWh sugieren que a partir del 2019 se vean precios más bajos. Más países invierten en energía fotovoltaica sin subsidios desde el 2019 como España, Portugal e Italia. A medida que los costos continúen bajando se espera que esta tendencia se extienda más allá del sur de Europa. Las 20 plantas fotovoltaicas más grandes del mundo representarán el 83% de la nueva demanda mundial hasta 2023 (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2019a) y los países que avanzarán más rápido en la implementación de nuevos parques solares se concentrarán en Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita (J. A. Roca, 2020), pues actualmente cuenta con los parques eólicos más grandes (Figuras 4 y 5). Los costos de capital de la energía fotovoltaica se reducirán en un 20% al 2023 hasta 14 \$USD/MWh (BID, 2019).

### FIGURA — 4

El Parque Solar con una producción de 200 gigavatios en Arabia Saudita



Fuente: tomado de Inverardi (2018)



**FIGURA — 5**

El mayor parque solar con 3.2 millones de paneles en los Emiratos Árabes Unidos



Fuente: tomado de Xataka (2019)

## **CADENA PRODUCTIVA DE LA ENERGÍA SOLAR Y EMISIONES DE GEI**

La cadena productiva de la energía solar consta de cuatro etapas: *fabricación del panel solar, construcción e instalación del parque solar, uso y mantenimiento, y fin de vida* (Enguita, 2012). Sus emisiones de GEI son mínimas en comparación con las generadas en el proceso de producción de energía eléctrica mediante combustibles fósiles (ver capítulos 1, 2, 12 y 13), ya que solo se generan en las dos primeras etapas y en forma muy reducida en las dos últimas.

### **Fabricación del panel solar**

Incluye el suministro de materias primas, transporte de materiales auxiliares y fabricación. La energía eléctrica utilizada en esta etapa tiene su origen en la mezcla de fuentes energéticas disponibles en el país de fabricación, principalmente de combustibles fósiles, generando emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  entre otros gases.

### **Construcción e instalación del parque solar**

Incluye el transporte desde la puerta de la fábrica hasta el lugar de instalación del parque solar, generando emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> principalmente.

### **Uso y mantenimiento**

Incluye operaciones de reparación, sustitución, rehabilitación del panel y el uso de agua operacional. La producción de electricidad mediante paneles solares en silicio policristalino fabricados a gran escala, en reemplazo de silicio monocristalino disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta cerca de 200 veces y las de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> entre 100 y 200 veces respecto a una central térmica de carbón (POWEN, 2021).

### **Fin de vida**

Incluye la deconstrucción, transporte y gestión de residuos. No se produce degradación del suelo ni contaminación del agua. Al final de la vida útil de los paneles solares, se vierten en depósitos controlados por considerarse un residuo no peligroso, pues países, en especial Estados Unidos, China y Japón, incorporan políticas de reciclaje en los paneles solares (Limon, 2021).

## **POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA SOBRE LA ENERGÍA SOLAR**

### **Política internacional**

Aunque a nivel mundial la utilización de la energía solar y otras renovables, exceptuando la hidroeléctrica y nuclear, contribuye solo con el 5.7% de la matriz energética 2020 (Figura 2), las políticas de apoyo, reducciones de costos tecnológicos de la energía solar y duplicación de la demanda de electricidad en las economías de países en desarrollo, están conduciendo a un rápido aumento de esta fuente de energía renovable, poniendo al sector eléctrico en la vanguardia de los esfuerzos de reducción de emisiones de GEI (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b).

## Política colombiana

El *Plan Nacional de Cambio Climático y la Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono* buscan como objetivo que el país sea carbono neutral en 2050 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], s.f., 2017). Los avances de Colombia en la incorporación de fuentes de energías renovables como la solar y eólica, representan un logro importante de estas políticas. El *Plan Integral de Gestión del Cambio Climático del Sector Minero-energético*, presentado en la COP 25 en Madrid 2019, aportará la reducción de 9 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> con el uso de energías solar y eólica en Colombia. Colombia lidera la meta de América Latina de asegurar un 70% de participación de energías renovables en la matriz energética regional al año 2030 (Ministerio de Minas y Energía [MinEnergía], 2021).

**Contexto colombiano y La Energía Solar.** Colombia recibe del sol una radiación promedio de 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/día, estando por encima de Alemania (3.0 kWh/m<sup>2</sup>/d), país que hace mayor uso de la energía solar fotovoltaica a nivel mundial (AYC Solutions, 2022). Esta radiación presenta mayor concentración en las regiones de las costas Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central. Sin embargo, el uso de la energía solar como fuente energética es muy bajo en el país y su contribución en la matriz energética 2019 fue solo de 0.12% (ver Figura 9, capítulo 13).

Sin embargo, en 2021 y 2022 el país ha logrado importantes inversiones en energía solar. El parque solar *La Loma* en el municipio El Paso, departamento de Cesar (Figura 6), el más grande del país, de 427 hectáreas, ha llegado al 70% de su construcción en abril del 2022 con 121.300 paneles solares y una proyección de 400.000. Este proyecto fotovoltaico de ENEL Green Power, línea de negocios de ENEL Colombia, con una inversión de \$US 126 millones, contará con una capacidad instalada de 187 MW en corriente directa, generará 420 GW/año de energía por 20 años beneficiando a 370.000 ciudadanos (Presidencia de la República-Colombia, 2022b). *La Loma* ha generado más de 700 empleos directos en su fase de construcción y contribuirá a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en 107.000 toneladas/año (América economía, 2019).

**FIGURA — 6****Parque Solar La Loma en El Paso, Cesar**

Fuente: tomado de Región Caribe (2019)

## CONCLUSIONES

La energía solar es renovable, ilimitada, disponible en todo el planeta, contribuye al Desarrollo Sostenible y sus costos se han reducido en el mercado mundial por nuevos desarrollos tecnológicos, especialmente en la fabricación de paneles solares. El mundo enfrenta una oportunidad de asumir la política mundial de transición energética con la implementación y uso de esta energía y de otras renovables para reducir las consecuencias del Cambio Climático.

Colombia, por el nivel de radiación solar que recibe, tiene un alto potencial para la generación de energía solar, que supera a Alemania, primer productor mundial de esta energía. Sus regiones en las costas Atlántica y Pacífica, Orinoquía y Región Central representan un futuro promisorio para la creación de nuevos parques solares que, aumentando la participación de esta energía en su matriz energética, conviertan a Colombia en uno de los mayores productores de energía solar en América Latina.

## REFERENCIAS

- AMÉRICA ECONOMÍA.** (2019). *Entra en operación la planta de energía solar más grande de Colombia, con una inversión de US\$70M.* <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/entra-en-operacion-la-planta-de-energia-solar-mas-grande-de-colombia-con-una>
- AYC SOLUTIONS.** (2022). *Antecedentes de la Energía Solar en Colombia.* <https://www.aycsolutions.com/energia-solar-en-colombia-antecedentes-y-potencial/#:~:text=La radiación media en Colombia, los cambios frecuentes del clima.>
- BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA [CAF].** (2015). *Energía Solar: tipos de generación en América Latina.* <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2015/08/energia-solar-tipos-de-generacion-en-america-latina/#:~:text=Actualmente%2C existen dos tipos de,la radiación solar en electricidad.>
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (2019). *Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina.* [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evolución\\_futura\\_de\\_costos\\_de\\_las\\_energías\\_renovables\\_y\\_almacenamiento\\_en\\_América\\_Latina\\_es.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Evolución_futura_de_costos_de_las_energías_renovables_y_almacenamiento_en_América_Latina_es.pdf)
- BRITISH PETROLEUM [BP].** (2019). *BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition.* <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>
- CARBONELL, M.** (2022). *Historia de la energía solar.* *Hogarsense.* <https://www.hogarsense.es/energia-solar/historia-energia-solar>
- DW.** (2018). *América Latina, sostenibilidad a la vista.* <https://www.dw.com/es/américa-latina-sostenibilidad-a-la-vista/a-43238484>
- ENERGÍA RENOVABLE.** (2020). *El mercado mundial de Energía Solar Fotovoltaica 2019.* <https://www.energiarenovable.net/mercado-de-energia-solar-fotovoltaica/>

- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION.** (2019). *International Energy Outlook 2019 with projections to 2050*. <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/ieo2019.pdf>
- ENGUITA, O.** (2012). *Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19179/TFM-OscarEnguita.pdf>
- GLEZ, M.** (6 de septiembre de 2018). Los espejos de Arquímedes. *El País*. [https://elpais.com/elpais/2018/09/04/ciencia/1536060341\\_786926.html](https://elpais.com/elpais/2018/09/04/ciencia/1536060341_786926.html)
- GRANDA-GUTIÉRREZ, E. E., Orta, O. A., Díaz-Guillén, J. C., Jimenez, M. A., Osorio, M. & González, M. A.** (2013). Modelado y simulación de celdas y paneles solares. *Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica*, 35, 17-22.
- IBARRA, O. M. V.** (2020). Tipos de energía y transformaciones. *Vida Científica Boletín Científico de La Escuela Preparatoria No. 4*, 8(16), 39-40.
- INVERARDI, F.** (2018). LA PLANTA SOLAR MÁS GRANDE DEL MUNDO: RÉCORD EN ARABIA SAUDITA [Fotografía]. <https://www.innaturale.com/es/la-planta-solar-mas-grande-del-mundo-record-en-arabia-saudita/>
- LIMON, R.** (28 de marzo de 2021). Un estudio calcula que los paneles solares generarán 80 millones de toneladas de residuos en tres décadas. *El País*. <https://elpais.com/ciencia/2021-03-29/un-estudio-calcula-que-los-paneles-solares-generaran-80-millones-de-toneladas-de-residuos-en-tres-decadas.html>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (s.f.). *Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono ECDBC*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade3a8222934.pdf>
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2017). *Plan Nacional de Cambio Climático*. [http://www.andi.com.co/Uploads/13.PolCC toma decisiones.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/13.PolCC%20toma%20decisiones.pdf)
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA [MINENERGIA].** (2021). *PLAN INTEGRAL DE GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO DEL SECTOR MINERO ENERGÉTICO 2050*. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24309752/21261021\\_Plan\\_Modifica+el+Plan+Integral+de+Gestión+del+Cambio+Climá-](https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24309752/21261021_Plan_Modifica+el+Plan+Integral+de+Gestión+del+Cambio+Climá-)

tico+-+Sector+Minero+Energético.pdf/dbb68213-3ac3-48fb-9638-08ab42e74e83

**NANDWANI, S. S.** (2005). *Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica). Jun, 1-26.*

**POWEN.** (2021). *Panel solar monocristalino vs. policristalino – ¿En qué se diferencian?* <https://powen.es/panel-solar-monocristalino-policristalino/>

**PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA.** (2 de mayo de 2022). *Energía. En La Loma, Cesar, queda la planta solar más grande del país [Archivo de video]. Youtube.* <https://www.youtube.com/watch?v=kQpg490EUTk>

**REGIÓN CARIBE.** (2019). *La planta fotovoltaica más grande de Colombia fue inaugurada en El paso, Cesar [Fotografía].* <https://regioncaribe.com.co/la-planta-fotovoltaica-mas-grande-de-colombia-fue-inaugurada-en-el-paso-cesar/>

**ROCA, J. A.** (2019). *Las energías renovables producen el 47% de la generación eléctrica alemana en 2019. El Periódico de La Energía.* <https://elperiodicodelaenergia.com/las-energias-renovables-producen-el-47-de-la-generacion-electrica-alemana-en-2019/>

**ROCA, J. A.** (2020). *Las 20 mayores plantas fotovoltaicas del mundo: India manda en el ranking y España entra en el Top 20. El Periódico de La Energía.* <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

**SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG.* <https://misionverdad.com/file/2515>

**TWENERGY.** (s.f.). *Energía solar.* Recuperado el 17 de abril de 2022, desde <https://twenergy.com/energia/energia-solar/>

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow.* <https://ukcop26.org/>

**XATAKA.** (2019). *Emiratos Árabes ha construido la mayor planta solar del mundo: 3,2 millones de paneles produciendo 1,17 GW [Fotografía].* [https://i.blogs.es/bd8108/na01jul-noor-abu-dhabi-solar-pic/1366\\_2000.jpg](https://i.blogs.es/bd8108/na01jul-noor-abu-dhabi-solar-pic/1366_2000.jpg)





# **Hidrógeno verde: una nueva fuente de energía renovable**

**CARLOS MORALES  
JUAN PABLO GARCÍA  
VALENTINA HINOJOSA  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA**

## **OBJETIVO**

Esta investigación presenta cómo el Hidrógeno Verde es una fuente viable para mitigar el Cambio Climático global y describe las oportunidades y metas que tiene Colombia frente al uso de este gas.



## INTRODUCCIÓN

Los combustibles fósiles son indispensables hoy en día para la generación de energía eléctrica y calórica. Además, proveen innumerables subproductos para el desarrollo industrial y la vida cotidiana (ver capítulos 1 y 2). En la matriz energética mundial 2020 representaron el 83.1 % de las fuentes energéticas (Sánchez, 2021). Sin embargo, su utilización ha sido reconocida como el mayor emisor de gases de efecto invernadero (GEI) y por ende principal responsable del cambio climático (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021b) lo que ha impulsado la transición energética paulatina hacia energías renovables y limpias. Una excelente alternativa es el *hidrógeno verde*, que se genera utilizando energía proveniente de fuentes renovables con cero emisiones netas de GEI (Dincer, 2007; The Royal Society, 2018).

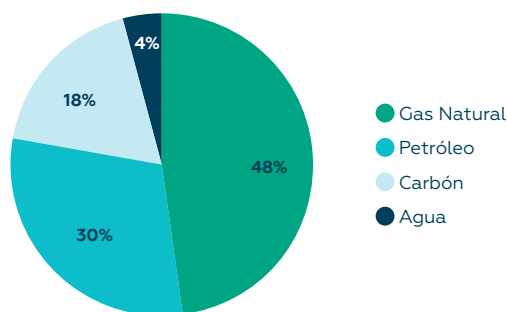
Al ser Colombia un país con potencial para las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), es posible que la producción de *hidrógeno verde* sea una acción que permita aportar a los compromisos de mitigación del país ante la Cumbre Climática de París 2015 de reducir en un 20% sus emisiones globales de GEI para el 2030 comparándolas con las del 2010 (Plataforma de Información y Diálogo para la Amazonía Colombiana [PID AMAZONÍA], 2017). Asimismo, el uso del *hidrógeno verde* podría ser una oportunidad para el desarrollo de otros procesos de industrialización y adicionalmente apoyar la política de transición energética en el país.

## EL HIDRÓGENO

El hidrógeno (H) es el elemento más abundante en el universo; sin embargo, tan solo el 0.000055% se encuentra libre en la atmósfera, lo cual hace obligatoria la extracción de los átomos de H convertidos en molécula diatómica  $H_2$  (denominado hidrógeno molecular o dihidrógeno) a partir de moléculas mayores para su uso a gran escala (VisualPolitik, 2021).

### Fuentes de extracción de $H_2$

El  $H_2$  se extrae principalmente de hidrocarburos, cuyas moléculas están formadas por átomos de H y C, y además de agua ( $H_2O$ ). La principal fuente de extracción es el gas natural (48%), seguida por petróleo (30%), carbón (18%) y agua (4%) (Figura 1).

**FIGURA — 1**Fuentes de extracción de  $H_2$  en porcentaje

Fuente: adaptado de DW Español (2021a) a partir de International Energy Agency (IEA, 2020)

## Hidrógeno Gris

El  $H_2$  puede obtenerse a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), cuyo proceso emite grandes cantidades de  $CO_2$  y debido a esto, el hidrógeno producido se denomina *hidrógeno gris*. El proceso de extracción se realiza mediante la técnica de *Reformado de Metano con Vapor* (RMR), que mezcla gas natural y agua calentada en forma de vapor para producir hidrógeno. En el proceso de producción de este hidrógeno, no existe subsecuente captura y almacenamiento de carbono (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2019).

## Hidrógeno Azul

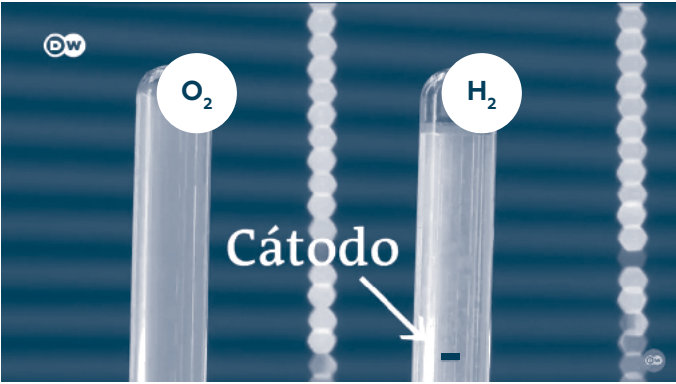
Hace referencia al hidrógeno generado a través del *Reformado de Metano con Vapor* (RMR) de gas natural o gasificación de carbón; a diferencia del hidrógeno gris, incorpora la captura y el almacenamiento de carbono y por tal razón el hidrógeno obtenido se denomina *hidrógeno azul* (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2019).

## Hidrógeno Verde

Se produce mediante la electrólisis del agua, proceso que consiste en aplicar electricidad para lograr la separación de la molécula de agua ( $H_2O$ ) en dos átomos de hidrógeno ( $H_2$ ) y un átomo de oxígeno (O). El agua utilizada para la electrólisis debe contener sal y minerales. Cuando la

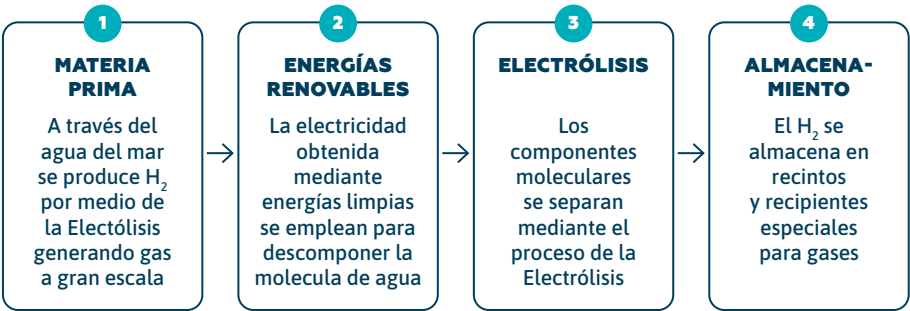
electricidad se genera a través de una fuente de energía limpia y renovable como la hidroeléctrica, eólica o solar, se denomina *hidrógeno verde* (Figuras 2 y 3) (The Royal Society, 2018). Al obtener el *hidrógeno verde*, su única emisión a la atmósfera es vapor de agua generando cero emisiones netas. Este hidrógeno generado es almacenado en recipientes especiales listo para ser usado, ya sea como combustible limpio, fertilizante o para exportar sus excedentes (Ministerio de Energía de Chile, 2020).

**FIGURA — 2**  
Extracción de H<sub>2</sub> por electrólisis del agua generando hidrógeno verde



Fuente: tomado de DW Español (2021a)

**FIGURA — 3**  
Proceso de producción del hidrógeno verde



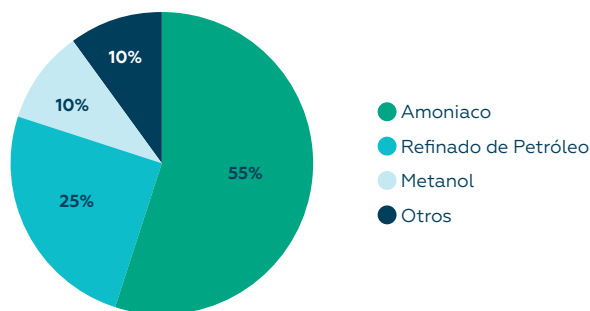
Fuente: adaptado de Ministerio de Energía de Chile (2020)

Según The International Energy Agency (IEA, 2020) indica que cerca del 96% del hidrógeno se produce con combustibles fósiles obteniendo *hidrógeno gris* o *hidrógeno azul* debido a que su costo de producción es de \$1 USD/kilo producido, mientras que el de *hidrógeno verde* oscila entre \$3 y 7.5 USD/kilo producido de  $H_2$ . En el año 2019, el *hidrógeno verde* no representaba una competencia frente al *hidrógeno gris* respecto a los costos, pero hoy en día la situación está cambiando debido a la reducción del costo de las energías renovables y a la eficiencia de los electrolizadores (Howarth & Jacobson, 2021).

## PRODUCCIÓN, DEMANDA Y USOS ACTUALES DEL HIDRÓGENO

En la actualidad la demanda del hidrógeno está destinada principalmente a la industria con una cantidad no mayor a las 80 Mt/año, aunque se espera que crezca cerca 100 veces para 2050 según las estimaciones más optimistas (Bloomberg NEF, 2020). El uso principal del hidrógeno es industrial: para la producción de amoníaco (55%), la refinación del petróleo (25%), la producción de metanol (10%) y otros usos menores (10%) como, por ejemplo, de combustible para alimentar motores eléctricos o el tratamiento de minerales (Figura 4).

**FIGURA — 4**  
Usos principales del  $H_2$  en porcentaje - 2018

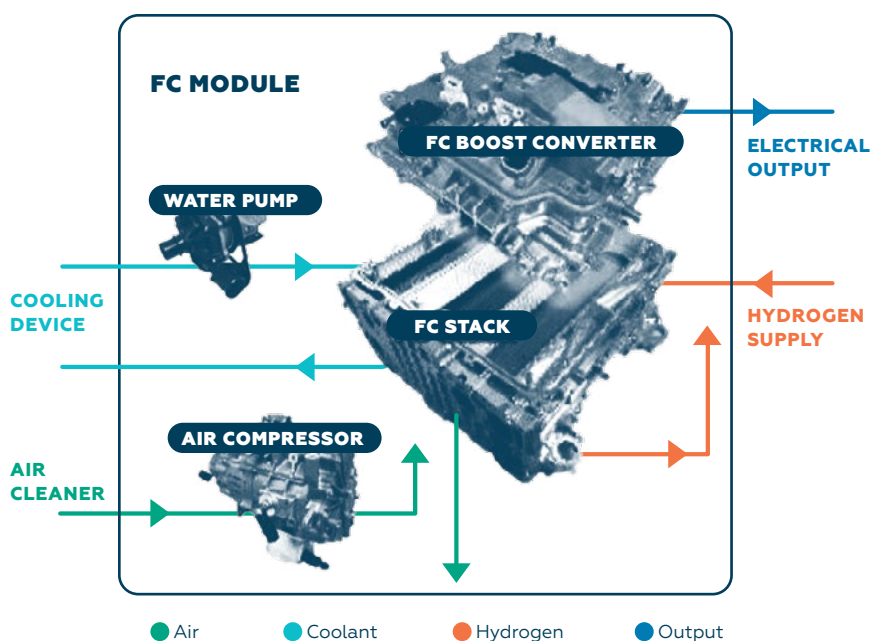


Fuente: adaptado de DW Español (2021a)

Aunque la demanda por el *hidrógeno verde* sigue siendo escasa por su costo de producción, con el aumento del uso de las energías renovables, la mentalidad sostenible que están tomando muchas industrias y la necesidad climática de hallar otras formas de producir energía, el *hidrógeno verde* ya tiene aplicaciones en campos como en el *Distrito de Bosbüll* en Alemania, donde gran parte del transporte público, la producción de energía para la calefacción y las reservas, se abastecen de *hidrógeno verde* (DW Español, 2021b).

Los vehículos que se abastecen con hidrógeno verde son eléctricos, cuya batería se alimenta con energía producida con este hidrógeno. Su uso reduce las emisiones de GEI generadas en la fabricación de la batería del vehículo eléctrico, puesto que no usa combustibles fósiles sino hidrógeno verde (Figura 5).

**FIGURA — 5**  
Esquema de funcionamiento del sistema de batería de vehículo con hidrógeno verde



Fuente: tomado de García (2021)

## USOS FUTUROS

El uso del hidrógeno a nivel industrial data del siglo XVIII con la llegada de la licuefacción, proceso por el cual se podía almacenar de forma líquida. Lo innovador son sus usos futuros y el cambio en la forma de producirlo. Las predicciones de su uso al 2050 se basan en la creciente demanda del hidrógeno como vector de energía, es decir, como una fuente de su transporte y almacenamiento.

El *hidrógeno verde* tiene como meta llegar a ser uno de los elementos fundamentales de la transformación energética del mundo. Por esta razón, como se expresó anteriormente, la demanda se puede elevar en sectores tan diversos como el transporte, la industria, el almacenamiento de energía, e incluso, como una alternativa al gas natural que se usa para cocinar o para la calefacción en residencias y edificios tanto del sector residencial como comercial (Hydrogen Europe, 2020). Los usos para los que se espera que el *hidrógeno verde* aumente y sea más representativo son la producción de energía en las horas pico, buques y transporte pesado y cemento. De la misma manera, para reducir la huella de CO<sub>2</sub> de procesos industriales, el *hidrógeno verde* sustituirá a los combustibles fósiles en la provisión de calor industrial de alta temperatura y como materia prima en algunos procesos, como la refinación y la producción de acero (Bloomberg NEF, 2020).

## EL HIDRÓGENO VERDE PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

Como se explicó anteriormente, en el proceso de producción de *hidrógeno verde* mediante la electrólisis del agua, no se generan emisiones de GEI, puesto que se utilizan energías renovables, contribuyendo así a mitigar el Cambio Climático. Sin embargo, en la fabricación de los tanques, gasoductos y demás dispositivos necesarios para su transporte, se emiten GEI como los hidrofluorocarbonos (HFC's) y los perfluorocarbonos (PFC's), emisiones que se equilibran con la no emisión de Hexafluoruro de Azufre (HF<sub>6</sub>) al reducir el uso de redes eléctricas. Aunque en la combustión del hidrógeno se pueden liberar pequeñas partículas de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, estas emisiones son insignificantes (Valle, 2021). En resumen, la utilización de *hidrógeno verde* genera cero emisiones netas.



## PROYECTOS ANUNCIADOS A NIVEL MUNDIAL UTILIZANDO HIDRÓGENO VERDE

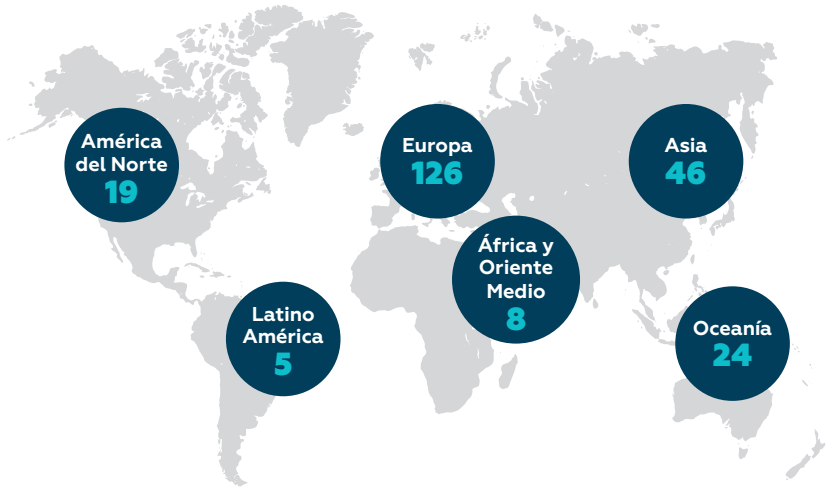
Actualmente, 30 países han desarrollado sus planes energéticos en los cuales el *hidrógeno verde* juega un papel clave en sus estrategias de reducción de emisiones. La estrategia de la Comisión Europea es ambiciosa y considera movilizar entre 180 y 470 billones de euros de financiación público-privada abarcando desde la investigación y desarrollo de tecnologías hasta incentivos para la instalación de proyectos de generación de *hidrógeno verde*, 100 veces más que lo que se destinará al *hidrógeno azul*. A febrero de 2021 se habían anunciado 228 proyectos con *hidrógeno verde* en toda su cadena de valor a nivel global, de los cuales 17 correspondían a proyectos de producción con una escala superior al gigavatio (Hydrogen Europe, 2020). La Figura 6 muestra como líder la Unión Europa con 126 proyectos, seguida por Asia (46), Oceanía (24), América del Norte (19), África y Medio Oriente (8) y América Latina (5): Chile 2, Paraguay 1, Bolivia 1 y México 1 (Figura 7).

## CASOS DE USO DEL HIDRÓGENO VERDE COMO VECTOR ENERGÉTICO Y COMO COMBUSTIBLE

**Chile** ya tiene infraestructura para la producción de hidrógeno verde y realizó un análisis sobre sus oportunidades de desarrollo apoyándose para la hidrólisis del agua con energía solar producida en el desierto de Atacama. El objetivo del gobierno chileno es desarrollar una industria que exporte más de 30 mil millones de dólares al año, nivel similar al de las exportaciones actuales de cobre. Las autoridades chilenas resaltan que el *hidrógeno verde* presenta beneficios como vector energético limpio y sustentable en la minería (Ministerio de Energía - Chile, 2020).

En los países asiáticos, **Corea del Sur** planea la instalación de 450 estaciones de repostaje para los automóviles con hidrógeno verde para 2025 (VisualPolitik, 2021) y **Japón**, la primera nación del mundo en elaborar en 2017 una estrategia para el *hidrógeno verde*, inició el proyecto FH2R, un centro de investigación y desarrollo, pionero en el uso de *hidrógeno verde* para la generación de energía sin emisión de GEI (Ministry of Economy Trade and Industry [METI], 2020), ubicado en la prefectura de Fukushima, cuyo mayor financiador es la empresa japonesa

**FIGURA — 6**  
228 proyectos anunciados utilizando hidrógeno verde a nivel mundial en 2021



Fuente: tomado de DW Español (2021a)

**FIGURA — 7**  
5 proyectos anunciados utilizando hidrógeno verde en América Latina en 2021



Fuente: tomado de DW Español (2021a)

de electrónica Toshiba. Así mismo, Japón sacó un modelo de vehículo con hidrógeno verde de última generación, cuya marca es *Toyota Mirai*.

**Alemania** se preguntó ¿cuántos autos eléctricos puede soportar la red eléctrica antes de que se produzca un apagón? como respuesta encontraron que, si un millón de autos eléctricos se cargan al tiempo se necesitarían 350 gigavatios; sin embargo, Alemania solo genera 68 gigavatios en total. Esto motivó a que en el 2021 en el *Distrito de Bosbüll*, al norte de Alemania, se transformaran los sistemas de abastecimiento para el transporte, la calefacción y el almacenamiento eléctrico para que operen con *hidrógeno verde* (DW Español, 2021a).

## COLOMBIA: OPORTUNIDADES Y METAS CON EL HIDRÓGENO VERDE

Colombia se comprometió ante la Cumbre Climática de París, 2015, a reducir sus emisiones de GEI en un 20% para el 2030 con referencia a sus emisiones en 2010 y presentó acciones concretas de inversión para mitigación y adaptación al Cambio Climático en los sectores de Energía, Industria, Vivienda, Transporte, Agricultura-silvicultura y otros usos del suelo, y Residuos. Estos compromisos aparecen en la publicación “El Acuerdo de París: Así actuará Colombia frente al Cambio Climático” (WWF, 2016). Una de las herramientas para contribuir a esta meta y que ha despertado mucho interés, es el *hidrógeno verde* como parte fundamental de la transición energética en el país (Valenzuela, 2021).

En el 2020, el Ministerio de Minas y Energía (MinEnergía) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2020) anunciaron que se presentará la hoja de ruta para incluir al *hidrógeno verde* en la matriz de energías limpias y renovables para el país. Si todos los proyectos se concretan, las inversiones totales alcanzarán más de 300 mil millones \$USD hasta 2030. En 2021 se presentó la hoja de ruta estructurada para la producción y uso de *hidrógeno verde*, no solo para atender la demanda nacional, sino también para exportar, teniendo en cuenta los aspectos legales, institucionales, financieros y comerciales del país.

Estudios realizados en torno a la viabilidad y potencial del país en *hidrógeno verde* indican, así como lo menciona Amell (2021, citado en Valenzuela, 2021): “Colombia dispone de fuentes importantes de energía

*renovable y allí se encuentra la expectativa del hidrógeno verde, producido a partir de la electrólisis del agua utilizando energías renovables, y del que se pueden obtener combustibles para el sector transporte".* De igual forma, el autor expone que la implementación de infraestructura que permita la obtención y utilización de *hidrógeno verde* incidirá en el incremento de la eficiencia energética nacional y será clave en la transición energética de Colombia en las próximas décadas.

### **Inauguración de las dos primeras plantas de producción de Hidrógeno Verde**

El pasado 18 de marzo del 2022, el presidente de Colombia, Iván Duque, inauguró dos plantas piloto para la producción de hidrógeno verde. La primera, a través de la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) en su refinería de Cartagena, con un electrolizador que produce hidrógeno verde usando energías renovables con dos propósitos: a) reducir las emisiones de GEI en las etapas de producción y refinado del petróleo con energía generada por el hidrógeno verde, y b) ofrecer el primer vehículo en Colombia cargado con hidrógeno verde para la generación de su energía. La segunda planta, con la empresa Promigas S.A. E.S.P. dedicada a actividades de transporte y distribución de gas natural, con un electrolizador que produce hidrógeno verde con energías renovables, para permitir que el gas domiciliario llegue a los hogares con menos emisiones de GEI (Presidencia de la República-Colombia, 2022a).

La meta es convertir al país en el mayor productor y exportador de hidrógeno verde en América Latina y el Caribe para estos dos fines: *transporte limpio y hogares renovables*. Lo estimado es reducir en un 51% las emisiones de GEI en el país para llegar al año 2050 siendo un país carbono neutral (Presidencia de la República-Colombia, 2022a).

## **CONCLUSIONES**

El hidrógeno verde es considerado una nueva fuente para la generación de energía limpia y renovable. Su proceso de producción a través de la electrólisis del agua usando para este fin energías renovables, no emite GEI, solo vapor de agua. Va a ser fundamental para la transición energética mundial y aparecerá como componente de la matriz energética

global y de distintos países en congruencia con las metas de descarbonización global al 2050.

En el mundo, hasta el 2021, se han desarrollado 228 proyectos con hidrógeno verde en Unión Europea (126), Asia (46), Oceanía (24), América del Norte (19), África y Medio Oriente (8) y América Latina (5). Colombia, en marzo 18 de 2022, ingresó a formar parte de proyectos con hidrógeno verde con la inauguración de dos plantas productoras a través de Ecopetrol y Promigas S.A. Dado este panorama, será relevante que se invierta en investigación y creación de redes de producción y distribución que mejore los costos e incentive el crecimiento de uso de hidrógeno verde colaborando así con la transición energética.

## REFERENCIAS

- BLOOMBERG NEF.** (2020). *Hydrogen Economy Outlook*. Bloomberg finance. <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>.
- DINCER, I.** (2007). Environmental and sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems. *International Journal of Energy Research*, 31(1), 29-55.
- DW ESPAÑOL.** (2021a). Hidrógeno verde: ¿punto de inflexión para América Latina? [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=kQUCAu8XqNk&t=30s>
- DW ESPAÑOL.** (14 de octubre de 2021b). ¡Una aldea que funciona con hidrógeno! [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=sqUP-NU6Cetk>.
- GARCÍA, G.** (2021). Toyota ofrece la pila de combustible hidrógeno del Mirai para autobuses, trenes y barcos. *Híbridos y Eléctricos*. <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/toyota-pila-combustible-hidrogeno-mirai-autobuses-trenes-barcos/20210311142333043224.html>
- HOWARTH, R. W. & Jacobson, M. Z.** (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering*, 9(10), 1676-1687.

- HYDROGEN EUROPE.** (2020). *HYDROGEN EUROPE CLEAN HYDROGEN MONITOR 2020*. <https://reglobal.co/wp-content/uploads/2021/01/Clean-Hydrogen-Monitor-2020.pdf>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY [IEA].** (2020). *Energy technology perspectives 2020*. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY [IRENA].** (2019). *Hydrogen: A renewable energy perspective: Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA\\_Hydrogen\\_2019.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf)
- MINISTERIO DE ENERGÍA - CHILE.** (18 de junio de 2020). Hidrógeno verde [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=P07sG-PNA6I>
- MINISTERIO DE ENERGÍA DE CHILE.** (2020). *Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde*. Santiago de Chile. [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional\\_hidrogeno-verde\\_vdef.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/mini-sitio/estrategia-nacional_hidrogeno-verde_vdef.pdf).
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA [MINENERGIA] & BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (2020). *Hoja de ruta del hidrógeno en Colombia*. [https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24309272/Hoja+Ruta+Hidrogeno+Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24309272/Hoja+Ruta+Hidrogeno+Colombia_2810.pdf)
- MINISTRY OF ECONOMY TRADE AND INDUSTRY [METI].** (2020). *Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050*. [https://www.meti.go.jp/english/press/2020/1225\\_001.html](https://www.meti.go.jp/english/press/2020/1225_001.html)
- PLATAFORMA DE INFORMACIÓN Y DIÁLOGO PARA LA AMAZONÍA COLOMBIANA [PID AMAZONÍA].** (2017). *LOS COMPROMISOS DE COLOMBIA EN EL ACUERDO DE PARÍS*. <https://pidamazonia.com/content/los-compromisos-de-colombia-en-el-acuerdo-de-parís>
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA-COLOMBIA.** (18 de marzo de 2022). Presentación de la primera planta piloto, para la producción de hidrógeno verde en Colombia [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=SzP6O046ASs>
- SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>

**THE ROYAL SOCIETY.** (2018). *Options for producing low-carbon hydrogen at scale*. <https://royalsociety.org/~media/policy/projects/hydrogen-production/energy-briefing-green-hydrogen.pdf>.

**UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>

**VALENZUELA, S.** (2021). Hidrógeno verde, una alternativa para el futuro de la energía en Colombia. *Centro de los objetivos en Desarrollo Sostenible para América Latina "CODS"*. Universidad de los Andes. <https://cods.unian-des.edu.co/hidrogeno-verde-una-alternativa-para-el-futuro-de-la-energia-en-colombia/>.

**VALLE, D.** (26 de abril de 2021). Los riesgos del hidrógeno. *El País*. <https://elpais.com/planeta-futuro/2021-04-27/los-riesgos-del-hidrogeno.html>

**VISUALPOLITIK.** (21 de febrero de 2021). ¿Jaque mate al poder del petróleo? - VisualPolitik [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=qVYHZ501qqk>.

**WWF.** (2016). *El Acuerdo de París: Así actuará Colombia frente al Cambio Climático*. <https://www.wwf.org.co/?266971/Colombia-frente-al-cambio-climatico>





# **Etanol a partir de yuca amarga: otra alternativa de reducción de emisiones de GEI generadas por la gasolina**

**CAMILO ANDRÉS GÓMEZ  
GABRIEL ANTONIO SALAZAR  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA**

## **OBJETIVO**

Esta investigación proporciona información resumida sobre: a) la industria mundial petrolera y del Etanol, y sus emisiones de GEI en cada industria; b) presenta la política internacional y colombiana sobre Etanol; d) la posibilidad de producir Etanol a base de yuca amarga en Colombia como reemplazo parcial del uso de la gasolina en la industria automotriz reduciendo sus emisiones de GEI; e) la importancia de políticas e incentivos del gobierno colombiano para este fin; y f) las oportunidades y ventajas de tipo económico, social y ambiental de producir Etanol con yuca amarga en Colombia sin interferir con la cadena alimenticia.



## INTRODUCCIÓN

A partir de la Revolución Industrial, el petróleo se ha convertido en una muy importante materia prima para la generación de energía eléctrica y para el funcionamiento de la sociedad actual. Sin embargo, su utilización ha dejado como consecuencia ambiental negativa la alta generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causantes del Cambio Climático Global. La política de cambio climático mundial en la **Cumbre Climática de Glasgow, 2021**, realizada entre octubre 31 y noviembre 13 del 2021, concluyó y resumió en el documento *Pacto de Glasgow*, entre otros temas lo siguiente (UNFCCC, 2021):

- Se reconoció que el uso de combustibles fósiles es el mayor causante de las emisiones globales de GEI y por ende el principal responsable del Cambio Climático.
- Las subvenciones ineficientes a combustibles fósiles deberán ir eliminándose.

Estas conclusiones apoyan datos del IPCC (2000) que muestran que el 75% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> se atribuyen al uso de combustibles fósiles; y los de World Resources Institute (2016) que indica el sector energético –dominado por el uso de combustibles fósiles– como responsable del 72% de las emisiones globales de GEI (tomado del capítulo de apertura).

## CONTEXTO

### El Petróleo: sus derivados y su participación en la matriz energética mundial y de Colombia

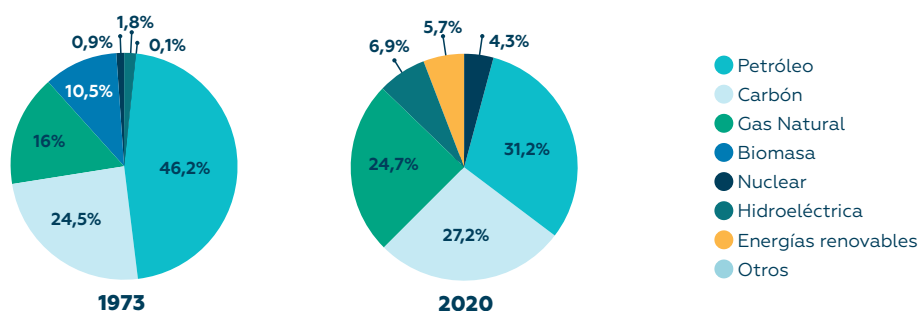
Según el Foro de la Industria Nuclear Española (Foro Nuclear, 2021) se define el petróleo como un aceite mineral que se produce en el interior de la Tierra por la transformación de la materia orgánica acumulada en sedimentos del pasado geológico y puede almacenarse en trampas geológicas naturales anaeróbicas. Es de color muy oscuro o negro, menos denso que el agua, siendo un recurso natural no renovable. Está formado

por una mezcla de hidrocarburos compuesta por carbón, azufre, hidrógeno y nitrógeno en cantidades variables. A partir del petróleo se obtienen productos clasificados en tres grupos (PetroPerú, 2022):

- *Energéticos*: combustibles específicos para el transporte, la agricultura, la industria, la generación de corriente eléctrica y para uso doméstico.
- *Productos especiales*: lubricantes, parafinas, asfaltos, grasas para vehículos y productos de uso industrial.
- *Materias primas para la industria petroquímica básica*: plásticos, acrílicos, guantes, pinturas, envases diversos, detergentes, fibras textiles, insecticidas, etc.

La Figura 1 muestra que el petróleo, como fuente energética, ha disminuido su participación desde el año 1973 (46.2%) al 2020 (31.2%). Sin embargo, el uso de combustibles fósiles en su totalidad (carbón, petróleo y gas natural) se redujo levemente pasando de 86.7% en 1973 a 83.1% en 2020. El uso de energías renovables muestra una baja participación, aunque aumentó, pasando de representar 1.8% en 1973 a 4.3% en 2020.

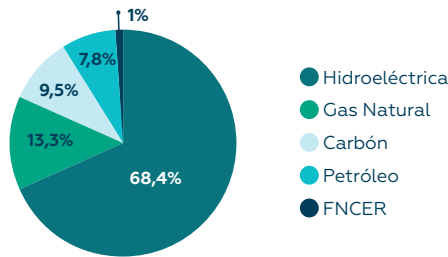
**FIGURA — 1**  
Matriz energética mundial: su transición entre 1973 y 2020



Fuente: adaptado de RunRun Energético (2020) y Sánchez (2021)

La Figura 2 muestra que Colombia tiene una matriz energética muy limpia, con uso predominante de energía hidráulica (68.4%) y bajo empleo de combustibles fósiles (30.6%): petróleo (7.8%), gas natural (13.3%) y carbón (9.5%); y, por último, un 1.0% de fuentes no convencionales de energía renovable (FNCR).

**FIGURA — 2**  
Matriz generación eléctrica Colombia 2018



Fuente: adaptado de Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019)

## CADENA PRODUCTIVA DEL PETRÓLEO Y SUS EMISIONES DE GEI

La producción del petróleo y sus derivados pasa por tres grupos de etapas productivas, las cuales generan una alta emisión de GEI, estas son: **primera etapa:** exploración, extracción y producción de petróleo crudo; **segunda etapa:** procesamiento, transporte-almacenamiento; y **tercera etapa:** refino, distribución y venta al consumidor mayorista.

La Tabla 1 muestra, para la industria petrolera de Argentina en el año 2015, el cálculo del total de emisiones de GEI de Gg CO<sub>2</sub>-eq y la contribución parcial de cada gas (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en Gg), generadas en las diferentes etapas de producción del petróleo. Estas emisiones se calcularon utilizando los *Factores de Emisión* del IPCC del 2012 atribuidas a procesos de combustión y fuga de gas, para equipos de combustión en industrias petroleras de países en vía de desarrollo, tomando en consideración el número de pozos productores existentes en el país (Alvarez, 2017).

Los datos de la Tabla 1 permiten calcular que las emisiones totales de CO<sub>2</sub> representan el 73.3% del total de emisiones de GEI y las de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O el 26.7%. En la primera etapa se genera la mayor cantidad de emisiones (13140.11 Gg de CO<sub>2</sub>-eq) representando el 49.1% del total. En la segunda y tercera etapas se emiten el 23.7% y el 27.2% del total de emisiones de la cadena productiva del petróleo.

**TABLA — 1**

Total, de emisiones de GEI (Gg de CO<sub>2</sub>-eq) producidas por la Industria petrolera de Argentina en 2015 utilizando los Factores de Emisión del IPCC del 2012

SECTOR	CATEGORÍA	TIPO DE EMISIÓN	Gg CO <sub>2</sub> eq	Gg CO <sub>2</sub>	Gg CH <sub>4</sub>	Gg N <sub>2</sub> O
Exploración	Gas/Petróleo	Fugitivas	362.43	36.53	15.52	0.00
	Gas	Fugitivas	2800.53	2.21	133.25	0.00
Producción	Gas/Petróleo	Combustión	9704.72	9699.33	0.18	0.01
		Fugitivas	62.92	61.77	0.04	0.00
	Petróleo	Fugitivas	209.51	0.73	9.94	0.00
Procesamiento	Gas	Fugitivas	3088.22	2873.27	10.21	0.00
Transporte	Gas	Combustión	2571.80	2570.42	0.05	0.00
		Fugitivas	597.93	0.28	28.46	0.00
	Petróleo	Combustión	62.04	61.97	0.00	0.00
		Fugitivas	13.66	0.01	0.65	0.00
		Combustión	4315.28	4311.46	0.08	0.01
Refinación	Petróleo	Fugitivas	6.47	0.00	0.30	0.00
		Fugitivas	1129.34	2.71	53.65	0.00
Distribución	Gas Petróleo	Fugitivas	1.41	1.41	0.00	0.00
		Fugitivas	1819.56	0.00	86.65	0.00
Consumo	Gas	Fugitivas	1819.56	0.00	86.65	0.00
<b>Total resultado</b>			<b>26745.8</b>	<b>19622.1</b>	<b>338.98</b>	<b>0.02</b>

Fuente: tomado de Álvarez (2017)

## LOS BIOCOMBUSTIBLES: ETANOL Y BIODIÉSEL

Los biocombustibles son combustibles producidos a partir de productos vegetales y son biodegradables, lo que los hace amigables con la naturaleza. El *Etanol* –para reemplazo parcial de la gasolina, producto derivado del petróleo– se produce utilizando la caña de azúcar, el sorgo dulce, la remolacha azucarera, el maíz, la madera y la celulosa. El *Biodiésel* –para reemplazo parcial del diésel, producto derivado del petróleo– se genera a partir de aceites vegetales de palma, girasol, soja, colza, entre otros (Federación Nacional de Biocombustibles [FEDEBIO-COMBUSTIBLES], 2021b).

### Etanol

Es un alcohol, llamado alcohol etílico, con fórmula  $C_2H_5-OH$ , producido por la fermentación por levaduras de los azúcares contenidos en los jugos extraídos de la **caña de azúcar**, el **sorgo dulce**, el **maíz**, la **mazorca del maíz**, la **remolacha azucarera** y en algunos proyectos privados de los **almidones contenidos en la yuca amarga**. Luego de la fermentación, el producto pasa por diversas etapas culminando con su destilación para retirar el exceso de agua y adecuarlo al uso como combustible para motores de vehículos de combustión interna a base de gasolina (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2021b, párrafo 2).

Las mezclas de Etanol con gasolina se indican con la letra E seguida del porcentaje de Etanol en la mezcla. En Colombia desde el 2011 se han venido utilizando las mezclas E8 y E10 para algunas zonas del país. En Colombia, de acuerdo con la Resolución 40261 de agosto de 2021 (Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente] et al., 2021) a partir de abril de 2022 entrará en vigor la mezcla de etanol al 10% (E10) para todo el país, exceptuando los departamentos del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Norte de Santander y el casco urbano del municipio de Río de Oro en el departamento del Cesar, los cuales iniciarán la mezcla E10 a partir de enero 2023. Sin embargo, por la poca capacidad para mantener el nivel de suministro dados por la pandemia del COVID-19 se estipuló en la Resolución 40421 de diciembre del 2021 (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura] et al., 2021; Portafolio, 2022), que para agosto del 2022 la mezcla de etanol estará al 10%, manteniendo el mismo plazo para los departamentos de la excepción.

## Biodiésel

Descubierto por el profesor Expedito Parente de la Universidad Federal de Ceará, Brasil, en 1977, resultante de la reacción de un ácido graso vegetal o animal, con un alcohol –etanol o metanol– en presencia de un catalizador, generalmente hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. Se puede utilizar puro o mezclado con el diésel petrolero (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2021b). Similar al etanol, se identifica la mezcla con diésel petrolero, con la letra B, seguida del porcentaje mezclado. En Colombia la mezcla de biodiésel al 10%(B10) entró en vigor en 27 departamentos de acuerdo con la Resolución 40261 de agosto de 2021 (Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente] et al., 2021).

Las Tablas 2 y 3 muestran **el crecimiento** de la producción y del consumo entre 2010 y 2019 de los dos biocombustibles: biodiésel y etanol. En este período, la producción total de biocombustibles (Tabla 2) creció en un 52.7%, la de etanol 31.2% y la de biodiésel en 140.2%. El porcentaje de la producción anual de Etanol en el periodo 2013-2019 osciló

**TABLA — 2**

Producción de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019

AÑO	PRODUCCIÓN DE ETANOL	CRECIMIENTO ANUAL DE ETANOL (%)	PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL	CRECIMIENTO ANUAL DE BIODIÉSEL (%)	TOTAL	PORCENTAJE DEL TOTAL
2010	85.834	—	21.125	—	106.959	—
2011	85.731	-0.12%	25.503	20.72%	111.235	4.00%
2012	84.770	-1.12%	27.083	6.20%	111.852	0.55%
2013	90.019	6.19%	30.623	13.07%	120.641	7.86%
2014	95.558	6.15%	33.927	10.79%	129.485	7.33%
2015	99.896	4.54%	32.020	-5.62%	131.916	1.88%
2016	100.404	0.51%	36.920	15.30%	137.324	4.10%
2017	102.954	2.54%	40.764	10.41%	143.718	4.66%
2018	109.677	6.53%	44.617	9.45%	154.294	7.36%
2019	112.619	2.68%	50.751	13.75%	163.371	5.88%

Fuente: adaptado de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2020)



**TABLA — 3****Consumo de biocombustibles (en miles de metros cúbicos) 2010-2019**

<b>AÑO</b>	<b>CONSUMO DE ETANOL</b>	<b>PORCENTAJE ANUAL DE ETANOL</b>	<b>CONSUMO DE BIODIÉSEL</b>	<b>PORCENTA- JE ANUAL DEL BIODIÉSEL</b>	<b>TOTAL</b>	<b>PORCENTA- JE TOTAL</b>
2010	76.722	—	21.067	—	97.789	—
2011	77.220	0.65%	23.912	13.50%	101.133	3.42%
2012	80.915	4.79%	26.556	11.06%	107.470	6.27%
2013	86.204	6.54%	29.220	10.03%	115.424	7.40%
2014	90.489	4.97%	33.146	13.44%	123.635	7.11%
2015	98.478	8.83%	31.291	-5.60%	129.768	4.96%
2016	98.520	0.04%	35.415	13.18%	133.936	3.21%
2017	98.646	0.13%	37.004	4.49%	135.650	1.28%
2018	104.886	6.33%	42.239	14.15%	147.125	8.46%
2019	115.391	10.02%	48.315	14.38%	163.705	11.27%

Fuente: adaptado de IICA (2020)

entre 6.1% y 2.6%, mientras que el de Biodiésel en el periodo 2011-2019 estuvo entre 20.7% y 13.7%, a excepción del 2015 que decreció un 5.6%. El consumo total de biocombustibles (Tabla 3) aumentó en un 67.4%, la de etanol 50.4% y la de biodiésel en 129.3%. El porcentaje del consumo anual del Etanol en este periodo (2011-2019) osciló entre 0.65% y 10.02%, mientras que el de Biodiésel estuvo entre 13.5% y 14.3%.

## EL ETANOL

El funcionamiento del mundo actual es dependiente de los combustibles fósiles, cuyo uso en la matriz energética mundial es del 81.3% para el año 2018, como se mencionó en el Marco Conceptual. Según World Resources Institute (2016) el sector energético, dominado por los combustibles fósiles, es responsable del 72% del total de emisiones GEI. La UNFCCC, responsable de la política mundial de lucha contra el cambio climático, busca como objetivo principal la reducción de emisiones de GEI y en particular las generadas por la industria mundial del petróleo e industria

mundial automotriz de vehículos de combustión interna con gasolina. El portal oficial del Estado argentino identifica las industrias usuarias del petróleo más contaminantes y posibles acciones de mitigación del cambio climático, de las cuales se destacan (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, 2021):

- *Transporte*: como acciones de mitigación se sugiere mayor utilización del transporte público, reemplazo de los combustibles líquidos por gas natural comprimido y Etanol/biodiésel, uso de bicicletas, implementación de reglas de tránsito y mejora en la tecnología de los vehículos.
- *Industria Energética*: implementación gradual de energías renovables. Mejora de la eficiencia energética.
- *Industria Agropecuaria*: como medidas de mitigación se sugiere: el reemplazo de fertilizantes químicos por fertilizantes orgánicos tanto en cultivos como en pasturas y silvopasturas; producir ganadería bajo pastoreo o en silvopasturas con altas tasas de captura de carbono; buenas prácticas de manejo de residuos por parte del productor para la producción de compost o en la construcción de biodigestores utilizando el metano producido por los residuos orgánicos para generación de energía eléctrica.

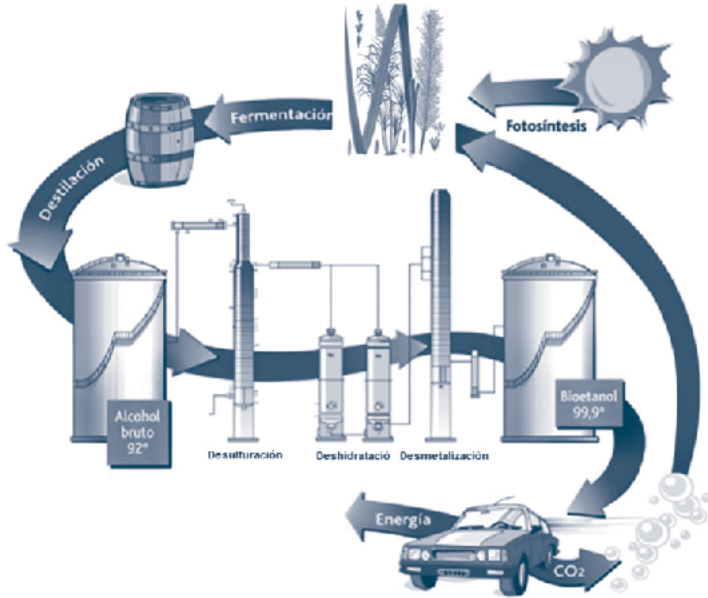
El Etanol es una alternativa para reducir las emisiones de GEI generadas por la Industria del transporte, específicamente las emitidas por vehículos de combustión interna que usan gasolina, un derivado del petróleo.

### Cadena productiva del Etanol y sus emisiones de GEI

El proceso que se realiza para la obtención del Etanol consiste en las etapas de **fermentación** de los jugos y mieles de los productos vegetales, **destilación** para separar los compuestos obteniendo la vinaza y un alcohol más puro, y finalmente, la **deshidratación** para retirar el agua del alcohol dando como resultado el *Etanol* o *alcohol anhidro*. En la única etapa de la cadena productiva del etanol en donde se emiten GEI es durante el proceso de destilación porque consume energía calórica producida por combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural). (FEDEBIOCOMBUSTIBLES, 2021a). La Figura 3 muestra la cadena productiva del Etanol.

**FIGURA — 3**

Proceso de obtención del Etanol



Fuente: tomado de FEDEBIOCOMBUSTIBLES (2021a)

### Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol -2019

La Tabla 4 presenta los valores de producción, consumo y comercio de Etanol en todo el mundo en 2019. Los principales productores son: Estados Unidos (61.552 millones de litros - mdl) cuya principal fuente de obtención de etanol es el maíz; Brasil (33.875,2 mdl) con obtención de etanol mediante la caña de azúcar; China (11.094,4 mdl) mediante la mazorca; Unión Europea (8.294,1 mdl) principalmente Francia (2.126 mdl), Alemania (788 mdl) y Reino Unido (374 mdl); e India (3.069,3 mdl). Estos cinco mayores productores son a su vez los mayores consumidores y dos de los mayores productores (Estados Unidos y Brasil) son los principales exportadores. Vale la pena resaltar que, cuatro de los mayores productores de etanol son los principales importadores (Estados Unidos, Brasil, Unión Europea e India) indicando que su producción no es suficiente para abastecer su demanda interna y abre oportunidades para mayor producción de etanol en el mundo.

**TABLA — 4**  
Países productores, consumidores e importadores/exportadores de Etanol (Millones de litros, 2019)

PRODUCCIÓN		CONSUMO		COMERCIO		
PAÍS	TOTAL	PAÍS	TOTAL	PAÍS	IMPORTACIONES	EXPORTACIONES
Estados Unidos	62.552,0	Estados Unidos	57.105,4	Japón	1.531,2	0,2
Brasil	33.875,2	Brasil	33.290,7	Brasil	1.344,8	1.929,3
China	11.049,4	China	11.130,8	Estados Unidos	1.344,8	5.791,5
Unión Europea*	8.294,1	Unión Europea*	9.063,1	Canadá	1.268,9	81,3
India	3.069,3	India	3.689,3	Unión Europea*	1.230,0	250,0
Canadá	2.113,8	Canadá	3.301,3	India	675,0	55,0
Tailandia	1.851,2	Tailandia	1.861,4	Corea del Sur	455,5	64,2
Argentina	1.206,2	Japón	1.607,9	Filipinas	447,1	1,0
Rusia	934,6	Argentina	1.194,1	Colombia	353,9	6,2
Colombia	540,6	Colombia	888,3	Perú	206,2	190,9
Pakistán	479,8	Rusia	846,7	México	179,0	2,8
Australia	365,8	Filipinas	796,1	Suiza	118,1	1,2
Filipinas	350,0	Corea del Sur	547,7	China	100,0	18,7
Sudáfrica	320,0	Australia	345,7	Turquía	97,7	0,5
Bolivia	277,8	México	319,6	Ucrania	74,2	10,1
Guatemala	220,6	Perú	230,3	Nigeria	72,1	0,0
Perú	215,0	Ucrania	219,6	Jamaica	58,8	3,4
Indonesia	189,8	Turquía	218,3	Taiwán	48,8	0,1
Corea del Sur	156,3	Indonesia	135,9	Australia	39,5	59,7
Ucrania	155,3	Bolivia	135,6	Ghana	26,5	0,9
México	143,5	Sudáfrica	123,8	Malasia	25,5	16,5

PRODUCCIÓN		CONSUMO		COMERCIO		
PAÍS	TOTAL	PAÍS	TOTAL	PAÍS	IMPORTACIONES	EXPORTACIONES
Turquía	121,1	Nigeria	120,9	Tailandia	24,9	14,7
Etiopía	115,4	Suiza	116,8	Ecuador	4,3	8,3
Ecuador	109,1	Etiopía	115,4	Sudáfrica	4,0	200,3
Costa Rica	84,3	Ecuador	105,1	El Salvador	3,8	0,1
Zimbaque	78,0	Jamaica	80,4	Argentina	3,6	15,8
Japón	76,9	Zimbaque	78,1	Egipto	0,8	0,6
Cuba	75,7	Cuba	75,7	Indonesia	0,8	54,7
Nigeria	48,7	Taiwán	68,3	Rusia	0,3	88,2
Malasia	46,1	Malasia	55,2	Costa Rica	0,3	59,7
Jamaica	25,0	El Salvador	28,4	Guatemala	0,3	206,4
El Salvador	24,6	Ghana	25,6	Zimbaque	0,1	0,0
Taiwán	19,6	Costa Rica	24,8	Etiopía	0,0	0,0
Egipto	9,9	Pakistán	19,8	Pakistán	0,0	460,0
Suiza	-	Guatemala	14,4	Cuba	0,0	-
Ghana	-	Egipto	10,1	Bolivia	0,0	142,3
Otros	3.092,2	Otros	3.493,3	Otros	606,8	311,9
<b>Total</b>	<b>131.287,3</b>	<b>Total</b>	<b>131.483,7</b>	<b>Total</b>	<b>10.347,6</b>	<b>10.046,4</b>

\*En la **Unión Europea** se destacan: **Francia** (Producción: 2.126; Consumo: 1.769; Importaciones: 495; Exportaciones: 852), **Alemania** (Producción: 788; Consumo: 1.881; Importaciones: 1.575; Exportaciones: 483) y **Reino Unido** (Producción: 374, Consumo: 1.111; Importaciones: 953; Exportaciones: 215).

Fuente: adaptado de Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2020)

## **Ventajas y desventajas del Etanol en comparación con la gasolina**

Olmedo (2021) indica las siguientes ventajas y desventajas de usar etanol:

### ***Ventajas:***

1) es más económica la producción de Etanol como combustible que la producción de gasolina; 2) muestra eficiencia en la reducción de GEI, debido a que las fuentes de Etanol son plantas, mientras que la gasolina es un derivado del petróleo; 3) genera empleo en el sector agrícola porque, dependiendo de la etapa productiva del Etanol, la mano de obra requerida no necesita ser calificada (por ejemplo el de la siembra, cosecha, recolección y transporte), mientras que en todas las etapas de producción de la industria de petróleo hasta la producción de gasolina se requiere mano de obra calificada; 4) el etanol al ser un oxigenante para las gasolinas incrementa y mejora el octanaje del motor, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, como el octanaje del etanol puro es de 113, mientras que el de gasolina corriente es de 87 y el de gasolina extra es de 92, se quema mejor en altas compresiones a comparación de la gasolina, generando mayor potencia al motor; 5) el etanol actúa como un anticongelante en los motores, lo que ayuda al arranque del motor en frío, previniendo su congelamiento; 6) la única etapa de la cadena productiva del etanol que produce GEI es el proceso de destilación porque consume energía calórica producida por combustibles fósiles (carbón, petróleo o gas natural).

### ***Desventajas:***

1) algunas de las fuentes de etanol como maíz, caña de azúcar, mazorca y sorgo compiten con la cadena alimenticia de humanos y animales; 2) el etanol se consume de 25% a 30% más rápido que la gasolina, implicando una eficiencia menor en cuanto a km/galón.

La Tabla 5 menciona los efectos del etanol en mezcla con gasolina sobre el funcionamiento del motor de vehículos de combustión interna a base de gasolina.

**TABLA — 5**  
Efectos del etanol en la mezcla con gasolina

<b>Octanaje</b>	Mejora la resistencia de detonación en la gasolina.
<b>Volatilidad</b>	Depende del contenido, puede imponer un ajuste en la gasolina base, su tendencia a evaporarse.
<b>Desempeño</b>	Mejora potencia y torque, aumenta el consumo de gasolina.
<b>Separación de fases</b>	Reduce la posibilidad de separación de agua.
<b>Compatibilidad de materiales</b>	Para contenidos más elevados que E10 requiere de alguna atención.
<b>Emisiones</b>	Disminución de emisiones CO <sub>2</sub> y CO.

Fuente: tomado de Legiscomex (2007)

## LA YUCA AMARGA PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

### Yuca dulce y yuca amarga: sus diferencias y número de variedades a nivel mundial

La yuca es un tubérculo, carbohidrato de alta capacidad nutritiva, rica en almidón que se produce en zonas tropicales pobres, ácidas, infértiles y semiáridas. Existen dos tipos de variedades de yuca. La *yuca dulce* que se usa como alimento para humanos y animales, y la *yuca amarga* para uso industrial, no apta para consumo humano por su contenido en cianuro, ácido cianhídrico y taninos que pueden ser letales. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) con sede en Cali, Colombia, conserva **6.155 variedades de yuca**, entre yuca dulce y yuca amarga en su Banco de Germoplasma, provenientes de 61 países tropicales de África, Asia y América, número que representa el 95% del total de variedades existentes en el mundo (CIAT, 2022). El Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para Trópicos Semiáridos (ICRISAT) con sede en Hyderabad, India, ha investigado la yuca en colaboración con el CIAT para

zonas tropicales, pobres y semiáridas. Sin embargo, también prospera en zonas de alta precipitación, siempre y cuando sus raíces no estén en aguas estancadas (Schwerin, 1970). La Figura 4 ilustra y menciona las diferencias entre yuca dulce y yuca amarga.

**FIGURA — 4**

Comparación entre yuca dulce y yuca amarga



Fuente: tomado de Sulbarán Lovera (2017)

## Producción de yuca a nivel mundial y en Colombia

La Tabla 6 muestra los diez países con las mayores producciones de yuca (en toneladas/año) a nivel mundial en el 2019 para consumo humano y animal, siendo países africanos y del sureste asiático los mayores productores, exceptuando a Brasil que ocupa el quinto puesto. Es importante resaltar que dichos países podrían invertir en la siembra de yuca amarga para una futura producción de Etanol debido a sus condiciones de suelo y clima aptas para el cultivo de la yuca.



En Colombia, la yuca se cultiva en todos sus departamentos, siendo las principales regiones productoras las zonas cálidas de Bolívar, Córdoba, Magdalena, Sucre, Cauca, Norte de Santander, Santander, Meta y Chocó. Es así como el cultivo de yuca dulce, para consumo humano y animal, es muy grande. Según los datos del Ministerio de Agricultura, las áreas sembradas en yuca crecieron en un 7.3% y su producción se incrementó en 34.7% entre 2015 y 2020 (Tabla 7) y se calcula que anual-

**TABLA — 6**

Los diez países mayores productores de yuca dulce (en toneladas/año) en 2019

PAÍS	PRODUCCIÓN	PORCENTAJE
Nigeria	59.193.708	19.5%
República Democrática del Congo	40.050.112	13.2%
Tailandia	31.079.966	10.2%
Ghana	22.447.635	7.4%
Brasil	17.497.115	5.8%
Indonesia	14.586.693	4.8%
Camboya	13.737.921	4.5%
Vietnam	10.105.224	3.3%
Angola	9.000.432	3.0%
República Unida de Tanzania	8.184.093	2.7%

Fuente: tomado de Bastida Cañada (2021)

**TABLA — 7**

Incremento del cultivo de yuca en Colombia 2015-2020

AÑO	ÁREA SEMBRADA (HA)	ÁREA COSECHADA (HA)	PRODUCCIÓN (T)
2015	203.677	172.978	1.842.111
2016	218.932	194.545	2.130.160
2017	214.111	190.851	2.148.094
2018	206.730	186.640	2.116.433
2019	217.725	209.321	2.443.312
2020	218.521	209.740	2.481.183

Fuente: adaptado de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura, 2021)

mente se establezcan 19.000 hectáreas de nuevos cultivos en el país. La Tabla 8 muestra el crecimiento en siembra de yuca dulce y amarga en Colombia entre 2018 y 2020, representando la yuca dulce el 95% del área sembrada y la **yuca amarga solo el 5%**.

**TABLA — 8**  
Siembra de yuca dulce y yuca amarga en Colombia 2018-2020

VARIEDAD	2018	2019	2020	PARTICIPACIÓN
Yuca dulce	197.127	207.765	207.732	95%
Yuca Amarga	9.604	9.959	10.789	5%
<b>Total</b>	<b>206.730</b>	<b>217.725</b>	<b>218.521</b>	<b>100%</b>

Fuente: adaptado de MinAgricultura (2021)

**Características y ventajas de la yuca amarga para la producción de Etanol**

Las características y ventajas de la yuca amarga para la producción de etanol son las siguientes:

- Resistente a sequías, adaptada y productiva en suelos pobres, ácidos e infértiles, con mínimos requerimientos de agua, como se dijo antes y el tubérculo puede almacenarse dentro del suelo por mucho tiempo sin que se deteriore.
- No apta para consumo humano ni animal por su contenido en cianuro, ácido cianhídrico y taninos que pueden ser letales.

**Potencial del cultivo de yuca amarga para la producción de Etanol en Colombia**

Colombia ofrece una amplia área potencialmente útil para siembra de yuca amarga en suelos pobres, ácidos e infértiles de los departamentos de clima cálido. Sin embargo, el potencial de cultivo de yuca amarga para **la producción Etanol** no se ha cuantificado. Existe un proyecto privado de 22.000 hectáreas para la producción de Etanol en el departamento del Meta denominado *Proyecto Cantaclaro* desarrollado por la empresa

internacional GPC con planes de ampliación de nuevas plantas de Etanol en Colombia. El interés del Gobierno colombiano en invertir en plantas de producción de Etanol con base en yuca amarga es fundamental porque, por un lado, generaría un incremento en el abastecimiento de Etanol para consumo local y para exportación, y por el otro, aumentaría la capacidad productiva y el empleo en poblaciones situadas en zonas pobres, ácidas e infértiles de los departamentos mencionados.

### **Proyecto Cantaclaro en Meta, Colombia: planta de producción de Etanol con yuca amarga**

El *Proyecto Cantaclaro* es una planta de carácter privado para la producción agroindustrial de Etanol utilizando yuca amarga. Está ubicada en el municipio de Puerto López, departamento del Meta, Colombia, operada desde el 2010 por la empresa internacional de servicios petroleros *Grupo Petrotesting Colombia* (GPC). Esta planta tiene una capacidad de producción de 20.000 lts de Etanol por día, con un rendimiento de 185 lts de Etanol/tonelada cosechada de yuca. Ocupa un área de 2.300 hectáreas para la siembra de yuca e instalaciones de la planta.

Este proyecto con sus características únicas ha permitido contribuir económica, social y ambientalmente a la región y al país, debido a su generación de empleo directo e indirecto en el sector agrícola e industrial, creando una construcción social en esta zona azotada por varios años por la violencia del país, apoyando a la generación de paz. El *Proyecto Cantaclaro* generó en el año 2010, 204 empleos directos que trabajaron en la siembra, cosecha y procesamiento de 30 a 45 ton/ha de yuca amarga, de tres variedades, generando una producción de 185 lts de Etanol/ton de yuca cosechada, como se mencionó anteriormente.

La empresa GPC tiene planes de ampliar su inversión en el *Proyecto Cantaclaro* con 3 plantas nuevas en la región, con un área de 60.000 hectáreas, generando 8.000 empleos directos para producir 1'125.000 lts de Etanol por día. Los beneficios del *Proyecto Cantaclaro* a la región comprenden: generación de empleo y de tejido social, aumento de la productividad en el sector agrícola, creación de polos de desarrollo regional, ofrecimiento de una alternativa viable a la siembra de cultivos ilícitos y mejoramiento de la productividad de las tierras pobres, ácidas e infértiles del Piedemonte caqueteño y Llanos Orientales de Colombia (Londoño, 2009).

## POLÍTICA INTERNACIONAL Y COLOMBIANA SOBRE LA INDUSTRIA DEL ETANOL

### Política internacional

El Protocolo de Kioto, firmado en 1997 por más del 55% de los países del mundo y más del 55% de los países industrializados, liderado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, su sigla en inglés) compromete a los países industrializados bajo penalidad económica u otras alternativas, a reducir en determinada proporción –dependiendo del periodo de cumplimiento (2008-2012 y 2013-2020)– sus emisiones de GEI. El Protocolo de Kioto, que está en vigencia, compromete a los países firmantes a lograr objetivos individuales y jurídicamente vinculantes para reducir sus emisiones de GEI.

En la última Cumbre Mundial de Cambio Climático, UNFCCC COP 26, Glasgow 2021, se confirmó por los 200 países participantes, que el uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) es la principal fuente de emisiones de GEI causantes del cambio climático. Si la comunidad internacional quiere lograr el objetivo del Acuerdo de París adoptado en 2015, de limitar el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de los 2 °C con respecto a la era preindustrial y del acuerdo de la Cumbre Climática de Madrid 2019 de limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1.5 °C con respecto a la era preindustrial, es necesario acelerar la transición del uso de combustibles fósiles a energías renovables y otras energías limpias como es el caso los biocombustibles: Etanol y Biodiésel (no se fijó un plazo). Se acordó en el *Pacto de Glasgow* que las emisiones mundiales de GEI deberán reducirse en un 45% antes del 2030.

### Política colombiana

Colombia, con la Ley 693 del 2001 hace obligatorio el uso del Etanol en mezcla con gasolina, creando estímulos para su producción, comercialización y consumo (Congreso de la República de Colombia, 2022b). Años después, con la Ley 939 de 2004 estimula la producción y comercialización de los biocombustibles, específicamente el Biodiésel. A partir de ese año, el territorio nacional empezó su producción para cubrir la demanda colombiana debido a las exigencias del gobierno y permitió, mediante el *Plan Nacional de Desarrollo Estado Comunitario: desarro-*

llo para todos 2006-2010, una estabilidad financiera y abastecimiento energético a partir de los biocombustibles. La Industria Azucarera inició la producción de Etanol utilizando caña de azúcar en el 2005 (Carvajal, 2007). La *Política de crecimiento verde*, expuesta por el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2019) en el Documento CONPES 3934 de 2018, estimula la productividad y competitividad económica del país mediante un uso sostenible del capital natural y la inclusión social.

La resolución 40111 del 2021 establece de manera obligatoria la mezcla entre un 10% y 12% de etanol con gasolina. La caña de azúcar, como insumo principal del Etanol, suple la demanda colombiana (Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MinAgricultura] et al., 2021). El MinAgricultura (2021b) lanzó el plan *Yuca país* para volver más competitivo el cultivo de la yuca a 2025, abordando específicamente la yuca amarga como materia prima para la producción de etanol.

### **Incentivos para las industrias de biocombustibles en Colombia**

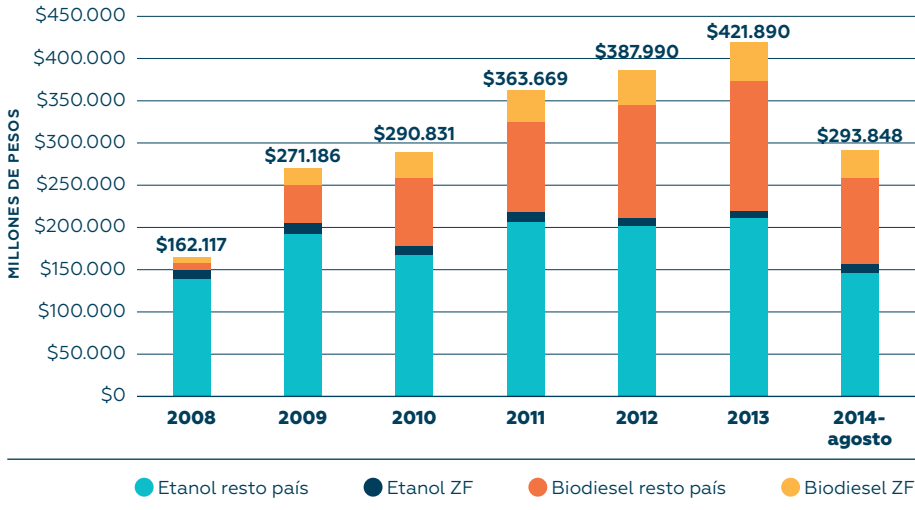
Segura Sáenz (2019) el principal incentivo tributario para el sector de biocombustibles apoyando mezclas obligatorias con gasolina y diésel es la exención del Impuesto al Valor Agregado (IVA) al Etanol y Biodiésel mediante la Ley 788 de 2002 apoyado por la Ley 1943 de 2018 (Congreso de la República de Colombia, 2022c, 2022a). La Figura 5 muestra el valor en millones de pesos de las exenciones tributarias al sector de biocombustibles, dinero que ha dejado de recaudar el Estado.

### **POSIBILIDADES DE CONSTRUCCIÓN DE PLANTAS DE ETANOL CON BASE EN YUCA AMARGA EN COLOMBIA**

Según MinAgricultura (2019) la producción de yuca se realiza en 32 departamentos, siendo los más importantes los de la Costa Atlántica, Llanos y el Cauca, contando con 209.700 hectáreas sembradas que producen 2.4 millones de toneladas de yuca al año, 95% de yuca dulce y 5% de yuca amarga. La yuca amarga puede cultivarse en estas mismas zonas. Sin embargo, se requiere de incentivos del Estado para su cultivo y aprovechamiento —ya utilizándola para sustitución de almidones procesados de maíz por almidones de yuca, o para la producción de Etanol—.

**FIGURA — 5**

Exenciones tributarias para biocombustibles



Fuente: tomado Segura Sáenz (2019, p. 14)

El MinAgricultura acompaña técnicamente el proceso de conformación de la cadena nacional de la yuca amarga con los departamentos de Sucre y Córdoba, lo que abre posibilidades de establecer plantas de producción de Etanol con base en yuca amarga en esos departamentos. Además, el plan *Yuca País* busca abordar la yuca amarga en los núcleos de obtención en la Costa Caribe, el Cauca y los Llanos Orientales, según lo plantea el MinAgricultura, otorgando validez a la expansión del producto, como también a su investigación (MinAgricultura, 2021b). Por lo anterior, se ve viable la construcción de plantas de obtención de Etanol utilizando yuca amarga en la Costa Caribe, el Cauca y los Llanos Orientales.

## CONCLUSIONES

La posibilidad de producir Etanol utilizando yuca amarga, en lugar de caña de azúcar, maíz, sorgo dulce y otras fuentes vegetales, es muy promisoría por varias razones:

1. La yuca amarga, por no ser apta para el consumo humano, no compite con la cadena de producción de alimentos ni es un riesgo para la seguridad alimentaria, como sí lo hacen otras fuentes vegetales hoy utilizadas para generar Etanol.
2. La yuca en general, y la yuca amarga en particular, es un cultivo que se adapta y es productivo en suelos pobres en nutrientes, ácidos (con un pH de 4.5 a 5), es resistente a la sequía, requiere de poca agua para su establecimiento, crecimiento y producción (al contrario que la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y otras fuentes) y sus raíces pueden almacenarse en el suelo por varias semanas sin riesgo a degradarse.
3. Según los datos de producción de Etanol con yuca amarga, del *Proyecto Agroindustrial Cantaclaro* en Puerto López, Meta, Colombia, la yuca amarga ha demostrado su capacidad de producir entre 6.000 y 9.000 litros de Etanol/ha cosechada de yuca, niveles comparables a la producción de Etanol con caña de azúcar (entre 5.625 y 9.440 litros de Etanol/ha cosechada de caña) y superior a la producción lograda utilizando maíz o sorgo dulce (de 4.000 y 2.200 litros de Etanol/ha cosechada de maíz y de sorgo dulce, respectivamente).
4. La siembra, producción y utilización de yuca amarga para producir Etanol, generaría empleo en zonas pobres, cuyos suelos se caracterizan por ser ácidos y poseer una muy baja disponibilidad de nutrientes, apoyando a crear tejido social en esas regiones.
5. Es necesario un apoyo estatal fuerte para esta agroindustria naciente.

## REFERENCIAS

- ÁLVAREZ, J. M. (2017). *EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL SECTOR DE GAS Y PETRÓLEO EN ARGENTINA: Situación y Perspectivas* [UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES]. <https://www.ceare.org/tesis/2017/tes18.pdf>
- ARENAS, J. M. (2022). *¿Qué objetos de nuestra vida diaria son derivados del petróleo?* *Geoinnova*. <https://geoinnova.org/blog-territorio/objetos-derivados-del-petroleo/>

- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO [BID].** (26 de marzo de 2019). *La matriz energética de Colombia se renueva*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>
- BASTIDA CAÑADA, O. A.** (2021). Países productores de yuca en 2019. *Blog Agricultura*. <https://blogagricultura.com/paises-productores-yuca-2019/>
- CARVAJAL, A.** (2007). *Energía: La nueva agenda del sector azucarero*. Análisis Estructural 2006 -2007 Por Asocañas. <https://www.asocana.org/Static-ContentFull.aspx?SCid=167>
- CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE Y LA SOBERANÍA ALIMENTARIA [CEDRSSA].** (2020). *La producción y el comercio de los biocombustibles en México y en el mundo*. [http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/56Producción y comercio de biocombustibles.pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/56Producción%20y%20comercio%20de%20biocombustibles.pdf)
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL [CIAT].** (2022). Conservación y uso de cultivos. *Banco de Germoplasma*. <https://ciat.cgiar.org/lo-que-hacemos/conservacion-y-uso-de-cultivos/?lang=es>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2022a). *Ley 1943 de 2018*. <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/30036049>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2022b). *Ley 693 de 2001: por la cual se dictan normas sobre el uso de alcoholes carburantes, se crean estímulos para su producción, comercialización y consumo, y se dictan otras disposiciones*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=19114>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA.** (2022c). *Ley 788 de 2002*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=7260>
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN [DNP].** (2019). *POLÍTICA DE CRECIMIENTO VERDE DOCUMENTO CONPES 3934 DE 2018*. [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Política CONPES 3934/Resumen Política de Crecimiento Verde - diagramación FINAL.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Política%20CONPES%203934/Resumen%20Política%20de%20Crecimiento%20Verde%20-%20diagramación%20FINAL.pdf)
- FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES [FEDEBIOCOMBUSTIBLES].** (2021a). *Etanol*. [https://www.fedebiocombustibles.com/main-pagina-id-4-titulo-proceso\\_de\\_los\\_biocombustibles.htm](https://www.fedebiocombustibles.com/main-pagina-id-4-titulo-proceso_de_los_biocombustibles.htm)



- FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES [FEDEBIOCOMBUSTIBLES].** (2021b). *Preguntas Frecuentes de los Biocombustibles*. <https://www.fedebiocombustibles.com/nota-web-id-923.htm>
- FORO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR ESPAÑOLA, F. N.** (2021). ¿Qué es el petróleo y qué usos tiene? <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-distintas-fuentes-de-energia/que-es-el-petroleo-y-que-usos-tiene/>
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA [IICA].** (2020). *Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020*. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/13974/BVE20128304e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- LEGISCOMEX.** (2007). *BIOCOMBUSTIBLES EN AMÉRICA LATINA*. [https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos PDF/estudio\\_biocombustiblesfinal1.pdf](https://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos%20PDF/estudio_biocombustiblesfinal1.pdf)
- LONDOÑO, J. G.** (2009). Proyecto Cantaclaro comenzará producción de 20.000 litros diarios de alcohol carburante en Puerto López (Meta). *El tiempo*. <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-4846026>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA].** (2019). *Subsector Productivo de la Yuca: dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30 Cifras Sectoriales.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf)
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA].** (2021a). *Cadena Productiva de la Yuca*. [https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31 Cifras Sectoriales yuca.pdf](https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2021-03-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf)
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA].** (2021b). *Minagricultura lanzó 'Yuca País', un plan que contempla 5 puntos para volver más competitivo el cultivo de la yuca a 2025*. [https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-lanzó-Yuca-País',-un-plan-que-contempla-5-puntos-para-volver-más-competitivo-el-cultivo-de-la-yuca-a-2025.aspx#:~:text=19%2F08%2F2021-,Minaagricultura lanzó 'Yuca País'%2C un plan que cont](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Minagricultura-lanzó-Yuca-País,-un-plan-que-contempla-5-puntos-para-volver-más-competitivo-el-cultivo-de-la-yuca-a-2025.aspx#:~:text=19%2F08%2F2021-,Minaagricultura%20lanzó%20Yuca%20País,%20un%20plan%20que%20cont)

**MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA], MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE] & MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA.** (2021). *Resolución 40421 de 29 de diciembre de 2021*. [https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol\\_e6e2a-0d84d6745d4b98b9af36cac0ef6/coleccion-de-legislacion-colombiana/resolucion-40421-de-diciembre-29-de-2021](https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_e6e2a-0d84d6745d4b98b9af36cac0ef6/coleccion-de-legislacion-colombiana/resolucion-40421-de-diciembre-29-de-2021)

**MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE DE ARGENTINA.** (2021). *Mitigación o reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Cambio Climático, Desarrollo Sostenible e Innovación. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/mitigacion>

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA] & MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE].** (2021). *Resolución 40111 del 2021*. <https://medioambiente.ueexternado.edu.co/wp-content/uploads/sites/19/2021/07/PDF-Resolucion-40111-de-2021.pdf>

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [MINAMBIENTE] & MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL [MINAGRICULTURA].** (2021). *Resolución 40261 de agosto de 2021*. <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/49026-40261.pdf>

**OLMEDO, F.** (2021). *¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de usar etanol en lugar de gasolina? Biocombustibles, bioetanol*. Biodisol. <https://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-etanol-en-lugar-de-gasolina-o-nafta-biocombustibles-bioetanol/>

**PETROPERÚ, S. A.** (2022). *Usos del Petróleo*. Museo Del Petróleo. <https://museo.petroperu.com.pe/usos-del-petroleo/>

**PORTAFOLIO.** (2022). *Debate por norma que busca ajustar mezcla de etanol y biodiésel al 10%*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/norma-ajusta-mezcla-de-etanol-y-biodiesel-al-10-por-ciento-en-el-pais-643126>

- RUNRUN ENERGÉTICO.** (2020). *LA ERA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES CONTINUARÁ POR VARIAS DÉCADAS*. <https://www.runrunenergetico.com/la-era-de-los-combustibles-fosiles-continuar-por-varias-decadas/>
- SÁNCHEZ, C.** (2021). *MATRIZ-ENERGETICA-MUNDIAL-2020-ALIMENTOS-Y-PODER-CLARA-SANCHEZ.PNG*. <https://misionverdad.com/file/2515>
- SCHWERIN, K.** (1970). *Apuntes sobre la Yuca y sus Orígenes*. Universidad de Nuevo México. [https://www.academia.edu/17002083/Apuntes\\_sobre\\_la\\_Yuca\\_y\\_sus\\_Origenes](https://www.academia.edu/17002083/Apuntes_sobre_la_Yuca_y_sus_Origenes)
- SEGURA SÁENZ, H.** (2019). *Incentivos a actividades económicas consolidadas en Colombia: El caso de los biocombustibles como el Etanol y el Biodiésel* [Universidad Católica de Colombia]. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23787/1/Artículo Bios \(2\).pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23787/1/Artículo%20Bios%20(2).pdf)
- SULBARÁN LOVERA, P.** (2017). *Qué es la yuca amarga que vinculan con varias muertes en Venezuela y por qué es tan peligrosa*. *BBC Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-39213495>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow*. <https://ukcop26.org/>



## CAPÍTULO 17

# Políticas de control de COVID-19: un respiro para la tierra

ESTEBAN ROBLES  
DIANA GABRIELA CRUZ  
DANIELA IVONNE COLLAZOS  
JUAN JOSÉ SANTAMARÍA  
JUAN MANUEL FRANCO  
MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA

### OBJETIVO

Este capítulo expone el incremento en emisiones de GEI desde 1750, inicio de la era industrial, hasta 2019, año antes de la pandemia de COVID-19, presenta cuáles fueron las emisiones de GEI antes y durante las políticas de control del COVID-19.



## INTRODUCCIÓN

Con la aparición de la enfermedad viral COVID-19 causada por el virus *Síndrome Respiratorio Agudo Severo* (SRAS-CoV-2), los gobiernos de la mayoría de los países del mundo decretaron medidas de control de la enfermedad para proteger la salud pública frente a la propagación del nuevo virus. Se dispuso el confinamiento y aislamiento social, solicitando a las personas permanecer en sus domicilios pudiendo desplazarse tan solo para aprovisionarse de artículos de limpieza, medicamentos y alimentos; se limitó en gran medida el transporte terrestre, aéreo y marítimo; se ordenó el cierre de empresas y comercios, restaurantes, bares, hoteles, espectáculos públicos y cualquier actividad que implicara conglomerados sociales. Como efecto de estas medidas –que produjeron una reducción en la producción y desarrollo económico en todos los países– se observó que los niveles de contaminación del aire disminuyeron en las ciudades y hubo un *renacer de la naturaleza* –retornaron animales a las áreas verdes de las ciudades, los ríos que eran turbios recuperaron su transparencia, sin smog el cielo se volvió a ver azul– (Oyague et al., 2020; Soto, 2021). Los científicos coinciden en que esta crisis sanitaria puede generar oportunidades para cambios culturales acelerados que permitan detener el deterioro, por acción antrópica, de los recursos naturales del planeta.

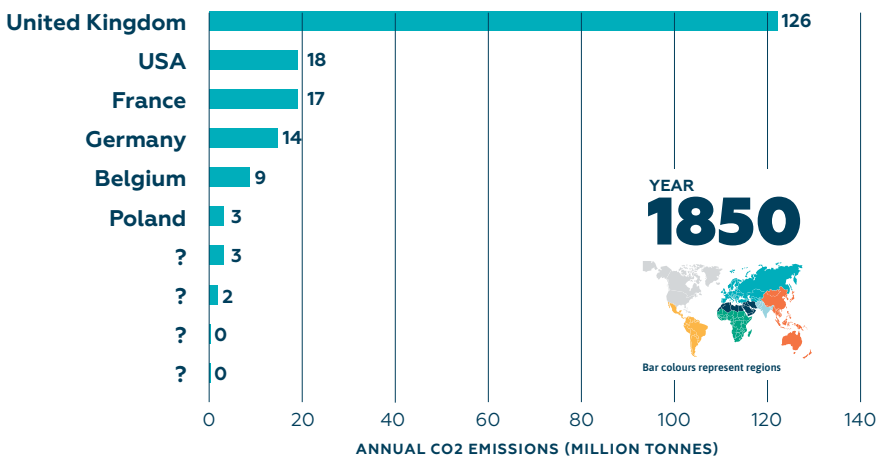
Los países deben presentar en la próxima Cumbre Climática de 2022, estrategias más ambiciosas que las hasta ahora propuestas para cumplir con el *Pacto de Glasgow 2021*: reducir en 20% las emisiones de GEI al 2030 y llegar a cero emisiones netas al 2050, evitando que el incremento promedio de la temperatura del planeta con respecto a la era preindustrial supere 1.5°C (United Nations Framework Convention for Climate Change [UNFCCC], 2021). La pregunta que plantea el presente capítulo es: ¿durante el período de adopción de medidas de control de COVID-19, se redujo, o no, el nivel de emisiones de GEI en la atmósfera, contribuyendo así a mitigar los efectos del Cambio Climático?

INCREMENTO EN EMISIONES DE GEI DESDE 1750, INICIO DE LA ERA INDUSTRIAL, HASTA 2019, AÑOS ANTES DE LA PANDEMIA DE COVID-19

Las concentraciones de los principales GEI mostraron incrementos altísimos desde 1750 hasta el 2016. El CO<sub>2</sub> aumentó en 145%, el CH<sub>4</sub> en 257%, y el N<sub>2</sub>O en 122% (Tabla 1 del capítulo 5). Estos incrementos incidieron en aumentos/decrementos de temperatura, precipitación y otros efectos ambientales –drásticos y contrastantes entre regiones–, generando que el efecto del Cambio Climático fuera más agudo y los fenómenos meteorológicos extremos se multipliquen (Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2019).

Las Figuras 1 a 4 muestran el incremento en emisiones de GEI como efecto de la industrialización, por periodos. En 1850, después de 100 años de industrialización (Figura 1), Inglaterra era el mayor emisor de CO<sub>2</sub> a la atmósfera con **116 Mt** seguida de lejos por Estados Unidos, Francia y Alemania, con 18, 17 y 14 Mt respectivamente.

FIGURA — 1  
Países con mayores emisiones de CO<sub>2</sub> en 1850  
(100 años después de la industrialización)



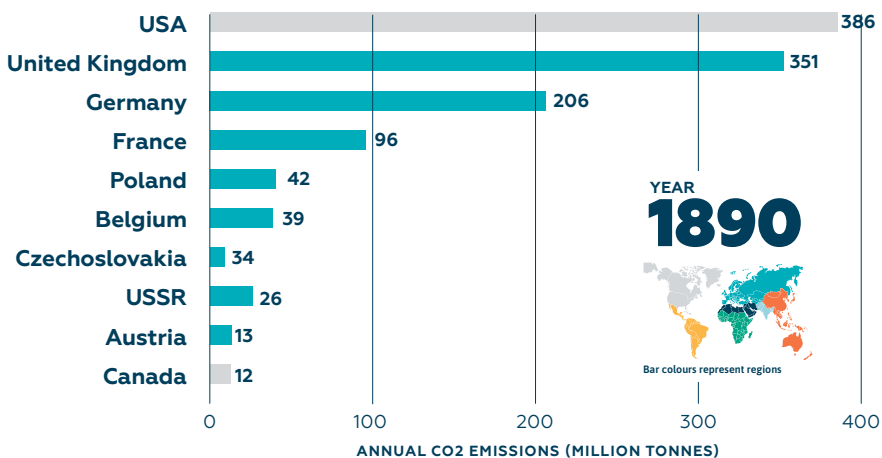
Fuente: tomado de Météo Bretagne (2019)



En 1890, después de 140 años de industrialización (Figura 2), Estados Unidos superó a Inglaterra convirtiéndose en el mayor emisor de CO<sub>2</sub> a la atmósfera con **386 Mt**, seguido por Inglaterra, Alemania y Francia, con 351, 206 y 96 Mt respectivamente.

**FIGURA — 2**

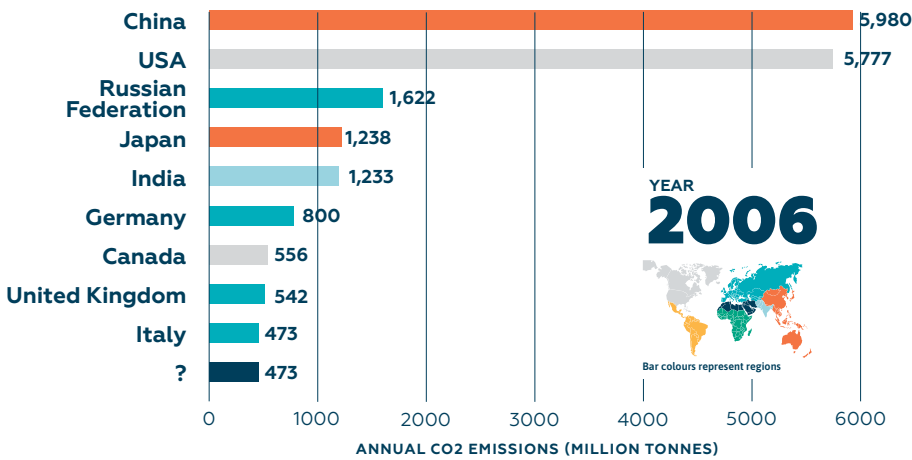
En 1890, Estados Unidos superó a Inglaterra y se convirtió en el mayor emisor mundial de CO<sub>2</sub>



Fuente: tomado de Météo Bretagne (2019)

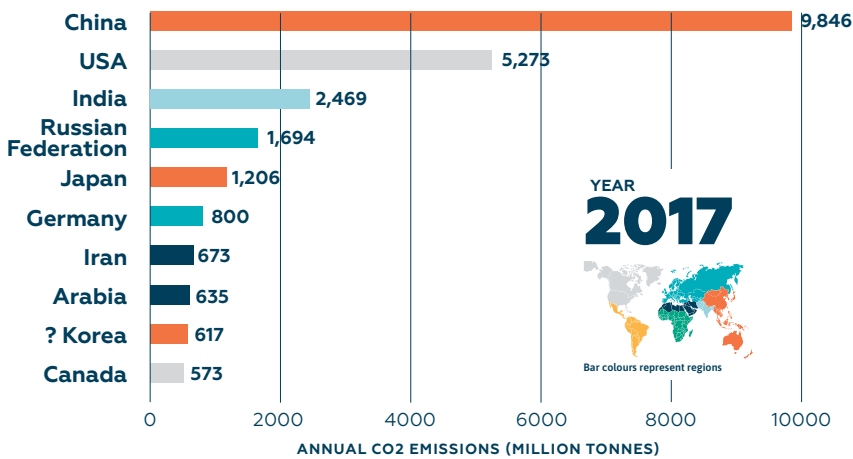
En 2006 China superó a Estados Unidos convirtiéndose en el mayor emisor mundial de CO<sub>2</sub> (Figura 3) posición que ha mantenido hasta el presente. Entre 2006 y 2017 (Figuras 3 y 4), 11 años sin la pandemia de COVID-19, China y Estados Unidos fueron el primer y segundo mayores emisores de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Sin embargo, mientras China aumentó sus emisiones en 64.6% en los 11 años, pasando de 5.980 Mt en 2006 a **9.846 Mt en 2017** con un incremento anual de 5.9%, Estados Unidos redujo sus emisiones en 8.7% en los 11 años, pasando de 5.777 Mt (2006) a 5.273 Mt (2017) con un decrecimiento anual de 0.8%.

**FIGURA — 3**  
En 2006, China superó Estados Unidos convirtiéndose en el mayor emisor mundial de CO<sub>2</sub>



Fuente: tomado de Météo Bretagne (2019)

**FIGURA — 4**  
Países con mayores emisiones de CO<sub>2</sub> (Mt) en 2017



Fuente: tomado de Météo Bretagne (2019)

Entre 2017 y 2019 (Figura 4 y Figura 1 del capítulo de apertura), 2 años inmediatamente anteriores a la pandemia de COVID-19, China y Estados Unidos seguían siendo los mayores emisores mundiales de CO<sub>2</sub>, incrementando China sus emisiones en un 6.5% pasando de 9.846 Mt en 2017 a **10.490 Mt** en 2019, y Estado Unidos decreciéndolas en un 0.3% pasando de 5.273 a 5.256 Mt en esos dos años.

## EMISIONES DE GEI ANTES Y DURANTE LAS POLÍTICAS DE CONTROL DE COVID-19

### Mundo antes de la Pandemia

Del análisis anterior (Figuras 1-4 y Figura 1 del capítulo de apertura) se concluye que, a partir de la era industrial, los niveles máximos de CO<sub>2</sub> emitidos por un país a la atmósfera se incrementaron de **116 Mt** (emisiones de Inglaterra en 1850) a **10.490 Mt** (emisiones de China en 2019). Global Carbon Project (2020, citado en Serrano, 2020) presenta el incremento en las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>/año entre 1900 y 2020 (Figura 5). Muestra que el aumento es mayor desde el fin de la Segunda Guerra Mundial en 1945, continuando hasta el 2019, antes del brote de COVID-19 y pronostica un decremento para el 2020 debido a las políticas de control de la pandemia.

### Mundo durante la Pandemia

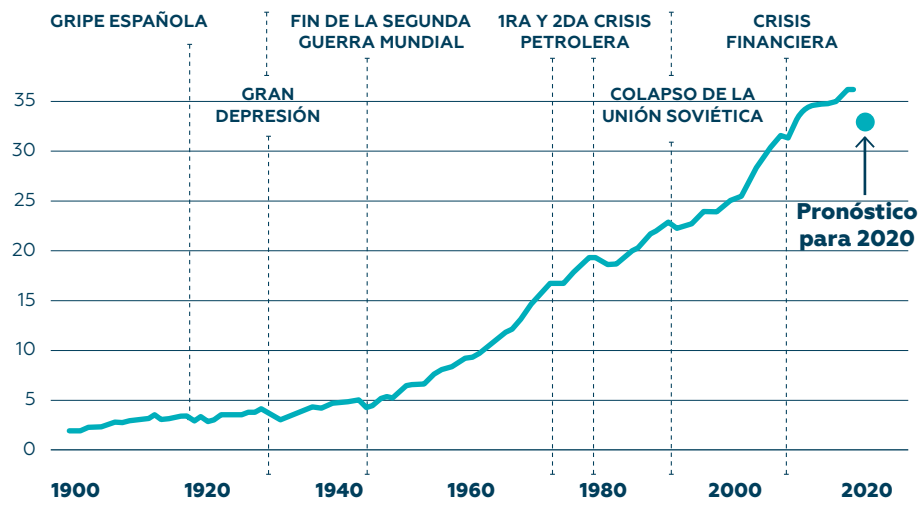
Le Quéré et al. (2020) pronosticaron que las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuirían entre 4 y 7% en 2020 y 2021 dependiendo de la política de restricciones frente al COVID-19 y que disminuirían más si se adoptan nuevas restricciones por aumento de las tasas de incidencia.

A continuación, se analizan los 3 países más contaminantes del mundo en 2019 (China, Estados Unidos e India) y 2 en América Latina: México, el mayor emisor de la región, y Colombia, con muy bajas emisiones.

### *China antes y durante las políticas de control del COVID-19*

China fue en 2019 responsable de cerca del 30% de las emisiones globales. Como se mencionó anteriormente, durante los 13 años inmediatamente anteriores a la aparición de COVID-19 (2006-2019) aumentó en 62% sus emisiones con un incremento de 4.8%/año. **Durante las políticas**

FIGURA — 5

Emisiones globales de CO<sub>2</sub>/año: 1900-2020En miles de millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año

Fuente: tomado de Serrano (2020)

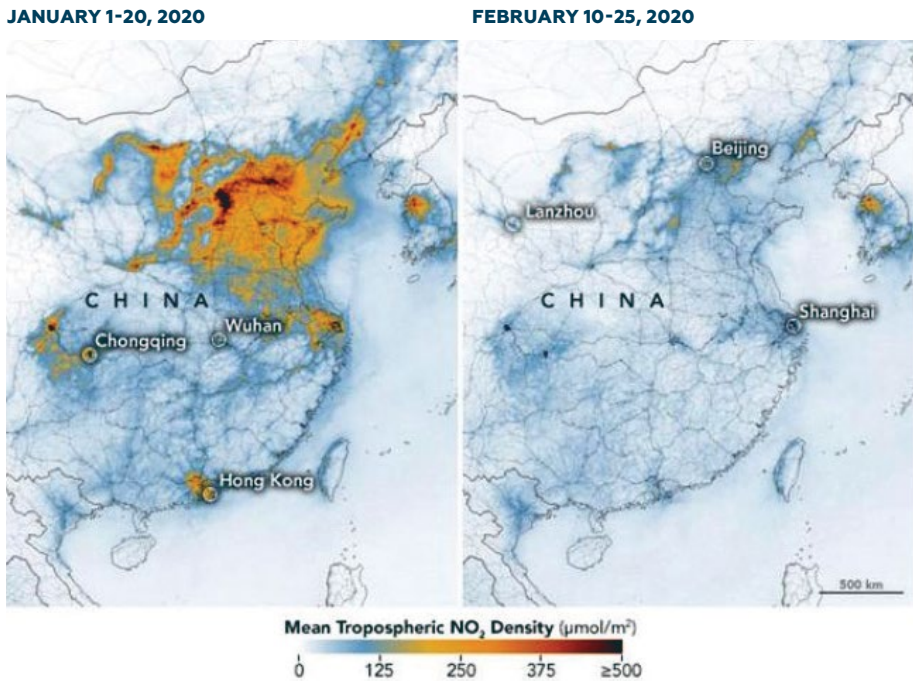
**de control**, hubo una reducción del 25% en las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Banco de Desarrollo de América Latina [CAF], 2020; Carbon Brief, 2020a). También, NASA (2020) confirmó una reducción en sus emisiones visible desde el espacio. Los satélites de la agencia europea *Copernicus* han registrado una caída inusual en los niveles de NO<sub>2</sub> (Figura 6).

### *Estados Unidos antes y durante las políticas de control del COVID-19*

En 2017 sus emisiones de GEI fueron: 82% de CO<sub>2</sub>, 10% de CH<sub>4</sub>, 5% de N<sub>2</sub>O y 3% de gases fluorados (Figura 7); crecieron en 3.4 % durante 2018 y se redujeron en 2% en 2019, gracias a la transición de carbón a gas natural como fuente de energía (Frabes, 2019). **Durante las políticas de control**, Le Quéré et al. (2020) informaron que sus emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020 decrecieron en 31.6% debido a la desaceleración de la economía y restricciones de actividades empresariales y viajes para reducir la propagación de COVID-19 y previó para 2021 una reducción de 7,5% por el menor uso de combustibles fósiles.

**FIGURA — 6**

Imagen satelital de China: densidad de  $\text{NO}_2$  en la atmósfera en enero 2020 y a finales de febrero 2020



Hasta principios de enero las emisiones seguían siendo importantes. Desde la segunda semana de febrero, se volatilizaron (NASA Earth Observatory / Joshua Stevens / Copernicus Sentinel)

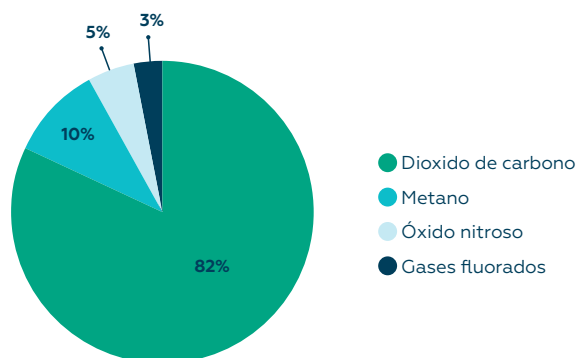
Fuente: tomado de NASA (2020)

### *India antes y durante las políticas de control del COVID-19*

En 2019, India fue el tercer país más emisor del mundo, registrando 2.626 Mt de  $\text{CO}_2$  (Figura 1 del capítulo de apertura), 41% de sus emisiones generadas por la industria de electricidad y calor (Carbon Brief, 2020b).

**Durante las políticas de control**, India tuvo una reducción de 25.7% en las emisiones de  $\text{CO}_2$ , ubicándose en el puesto 37 de los países con mayor reducción de este gas (Carbon Brief, 2020b).

**FIGURA — 7**  
Emisiones de GEI en Estados Unidos en 2017



Fuente: tomado de Environmental Protection Agency (EPA, 2022)

### ***México antes y durante las políticas de control del COVID-19***

Las emisiones de GEI de México aumentaron en un 70% entre 1990 y 2016 y se pronosticó que continuarían aumentando hasta el 2030 (Climate Transparency, 2020). Pero esto no fue así. **Durante las políticas de control**, México, cuyo sector energético es uno de los principales emisores de GEI, tuvo una reducción de 20.1% en las emisiones de CO<sub>2</sub> durante la pandemia, ubicándose en el puesto 51 de los países con mayor reducción de este gas y en el 6 en América Latina (Statista, 2022a).

### ***Colombia antes y durante las políticas de control del COVID-19***

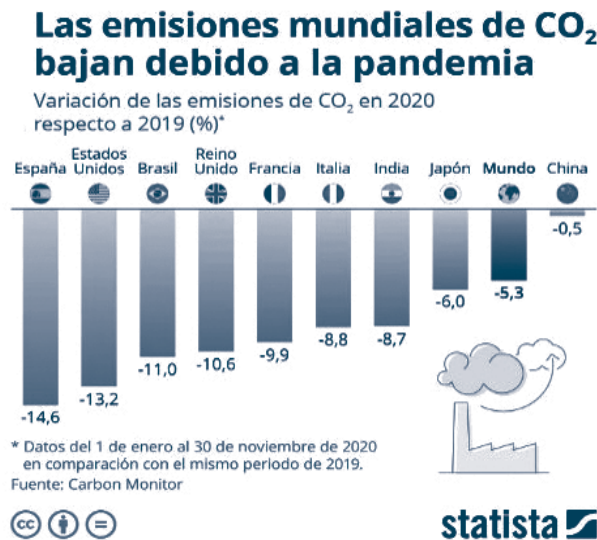
Colombia no es un país emisor. En 2018 fue responsable del 0.57% de las emisiones mundiales (Statista, 2022b). Entre 2016 y 2019 disminuyó en 2.9% su nivel de emisiones pasando de 95.398 a 92.623 Mt de CO<sub>2</sub> (Monterrosa, 2018). **Durante las políticas de control**, en 2020 sus emisiones, de 90.252 Mt de CO<sub>2</sub>, se redujeron en 2.6% con respecto a 2019 (Monterrosa, 2018). De acuerdo con Le Quéré et al. (2020) Colombia se ubicó en el tercer puesto de América Latina con mayor reducción de este gas.

Otro análisis, realizado en un periodo más largo –entre enero 1 y noviembre 30 de 2020– por Carbon Monitor (2020, citado en Statista, 2020) muestra que el porcentaje de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>

en 2020 respecto al mismo periodo en 2019 debido a las medidas de control del COVID-19 para algunos países, varía entre 0.5% en China y 14.6% en España (Figura 8). Sorprendentemente China, siendo el mayor emisor mundial de GEI en 2019 y donde brotó el virus, mostró la menor reducción en 2020.

**FIGURA — 8**

Reducción porcentual de emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020 respecto a 2019 debido a las medidas de control de COVID-19



Fuente: tomado de Statista (2020) a partir de Carbon Monitor (2020)

## CONCLUSIONES: ¿QUÉ HA APRENDIDO EL MUNDO?

La presente investigación permite concluir que durante el apogeo de las medidas de confinamiento a principios 2020 hubo una reducción de emisiones de GEI del 17% a nivel mundial y de hasta 30% en algunos países (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2020a, 2020b). Sin embargo, esta caída en las emisiones fue un efecto temporal debido a un *evento externo* y no como producto de cambios estructurales en las diferentes industrias generadoras de GEI. La crisis sanitaria producida por el COVID-19 y sus variantes, ha abierto al mundo una oportunidad de

reflexión sobre la necesidad de considerar cambios en el estilo de vida de gran parte de la sociedad actual cuando la economía y la actividad humana vuelva a reactivarse en su plenitud, para cumplir su compromiso de mitigar el Cambio Climático.

La política mundial de lucha contra el Cambio Climático enfrenta un gran desafío: reducir las emisiones de GEI a nivel global en 50% para el 2030, descarbonizar la economía mundial a través de una transición justa, reduciendo con descensos sostenidos las emisiones para llegar a cero emisiones netas al 2050 y así limitar el incremento promedio de temperatura respecto a la era preindustrial, a 1.5 °C.

El esfuerzo mundial por enfrentar la pandemia ha demostrado que es posible coordinar, en tiempo récord, acciones a nivel internacional para alcanzar un fin en común, en este caso de protección de la salud pública. Demostró además que invertir en acciones de prevención es más costo-efectivo que absorber el valor total del desastre. Esta crisis vivida es una enseñanza para el mundo que puede aplicarse para la lucha contra el Cambio Climático.

## REFERENCIAS

- BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA [CAF].** (2020). *COVID-19: ¿Riesgo u oportunidad en la lucha contra el cambio climático?* <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2020/05/covid19-riesgo-u-oporunidad-en-la-lucha-contra-el-cambio-climatico/>
- CARBON BRIEF.** (2020a, February 19). *Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter.* <https://www.carbonbrief.org/analysis-coronavirus-has-temporarily-reduced-chinas-co2-emissions-by-a-quarter>
- CARBON BRIEF.** (2020b, May 12). *Analysis: India's CO2 emissions fall for first time in four decades amid coronavirus.* <https://www.carbonbrief.org/analysis-indias-co2-emissions-fall-for-first-time-in-four-decades-amid-coronavirus>
- CLIMATE TRANSPARENCY.** (2020). *CLIMATE TRANSPARENCY REPORT: COMPARING G20 CLIMATE ACTION AND RESPONSES TO THE COVID-19 CRISIS.* <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2020/11/Climate-Transparency-Report-2020.pdf>



- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY [EPA].** (2022). *Emisiones de gases fluorados en EE.UU. en 2017, según el origen [Fotografía]*. [https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2019-05/flourinated\\_-\\_pie\\_chart.png](https://espanol.epa.gov/sites/default/files/2019-05/flourinated_-_pie_chart.png)
- FRABES, S.** (9 de enero de 2019). *Estados Unidos registró el mayor aumento de emisiones de Co2 en 2018*. <https://avispa.org/estado-unidos-registro-el-mayor-aumento-de-emisiones-de-co2-en-2018/#:~:text=Estados Unidos registró el mayor aumento de emisiones de Co2 en 2018,-Por Sare Frabes&text=Las emisiones de dióxido de,de Estados Unidos para 2018>".
- LE QUÉRÉ, C.,** Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F. & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10(7), 647-653. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>
- MARTÍN, F.** (19 de Agosto de 2020). Los planes de recuperación del COVID-19 y el cambio climático. *Meteored*. <https://www.tiempo.com/ram/los-planes-de-recuperacion-del-covid-19-y-el-cambio-climatico.html>
- MÉTÉO BRETAGNE.** (2019, March 26). "Bar Chart Race" of the countries with the largest CO2 emissions in the world [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=kCmwKbVFbWg>
- MONTERROSA, H.** (18 de diciembre de 2018). Emisiones del país de gases de efecto invernadero aumentaron 9.44%. *La República*. <https://www.larepublica.co/economia/emisiones-del-pais-de-gases-de-efecto-invernadero-aumentaron-9-44-2807476#:~:text=El Ministerio de Ambiente y, millones de toneladas de dióxido>
- NASA.** (3 de marzo de 2020). NASA revela una caída de la contaminación en China por el coronavirus. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/nasa-revela-una-caida-de-la-contaminacion-en-china-por-el-coronavirus-468586>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU].** (2020a). *El cambio climático avanza implacablemente a pesar de la pandemia COVID-19, advierten los científicos*. <https://news.un.org/es/story/2020/09/1480142>

- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS [ONU].** (2020b). *Ni el confinamiento por COVID-19 da tregua al cambio climático: los gases que calientan la Tierra llegan a niveles récord.* <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484462>
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL [OMM].** (2019). *El clima mundial: entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático.* <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-climatico>
- OYAGUE, E., Yaja, A. & Franco, P.** (2020). Efectos ambientales del confinamiento debido a la pandemia de COVID-19: evaluación conceptual y análisis de datos empíricos en Tacna, marzo–abril 2020. *Ciencia y Desarrollo*, 26, 2-19.
- SERRANO, C.** (2020). Coronavirus y cambio climático: por qué la pandemia no es realmente tan buena para el medio ambiente. *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-52596472>
- SOTO, I.** (2021). Medioambiente y COVID-19: los beneficios menos pensados de la pandemia. *Anuario En Relaciones Internacionales Del IRI*, 2021.
- STATISTA.** (2020). ¿Cuánto han disminuido las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2020? <https://es.statista.com/grafico/23231/variacion-de-las-emisiones-de-co2-en-2020-respecto-a-2019/>
- STATISTA.** (2022a). *Fossil CO<sub>2</sub> emissions in Mexico between 1990 and 2020.* <https://www.statista.com/statistics/486048/co2-emissions-mexico-fossil-fuel-and-industrial-purposes/>
- STATISTA.** (2022b). *Fossil CO<sub>2</sub> emissions per capita in Colombia between 2015 and 2020.* <https://www.statista.com/statistics/1068738/carbon-dioxide-emissions-per-capita-colombia/>
- UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION FOR CLIMATE CHANGE [UNFCCC].** (2021). *Climate Change Conference COP 26 Glasgow.* <https://ukcop26.org/>

## EPÍLOGO

El creciente incremento en la frecuencia, magnitud y duración de desastres ambientales que están ocurriendo en diferentes regiones del planeta, confirman que el mundo está enfrentando uno de los mayores desafíos de su historia reciente. El IPCC, órgano científico asesor de la UNFCCC, y el mundo científico, confirman que estos cambios están asociados a las crecientes emisiones a la atmósfera de los llamados *Gases de Efecto Invernadero* (GEI) generados por las actividades antrópicas.

Esta publicación cobra especial relevancia considerando que la lucha contra el Cambio Climático es uno de los principales objetivos de la *Agenda Global de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas* (2015-2030). Por lo tanto, la comprensión de sus causas, sus múltiples efectos sobre la vida de la humanidad y las opciones que la ciencia está encontrando para su mitigación, son aspectos muy importantes que se discuten en este libro.

A través de sus diferentes capítulos, el libro aborda con datos científicos y excelentes fuentes bibliográficas tres grandes temas: 1) las principales fuentes de emisión de *Gases de Efecto Invernadero*, 2) los efectos del cambio climático sobre ecosistemas vitales del planeta y 3) las estrategias de mitigación disponibles. El capítulo final ilustra la reducción sin precedentes en el nivel de emisiones de *Gases de Efecto Invernadero* ocurrida durante el cumplimiento de las políticas de control para evitar el COVID-19, entregando una enseñanza vital para la humanidad.

Colombia en las últimas tres décadas ha sufrido los impactos del Cambio Climático, que además han intensificado los efectos de eventos naturales periódicos como El Niño con sequías fuertes y la Niña con lluvias intensas e inundaciones, o la llegada de huracanes en el Caribe. Ante el Cambio Climático se debe actuar en la mitigación de sus impactos y en cómo reducir su intensidad. Es por esto que este libro se convierte ahora en una herramienta para el futuro. Su lectura y entendimiento es clave para las acciones que podemos –y debemos– tomar desde nuestro papel como ciudadanos “de a pie”, hasta su uso en el diseño de estrategias de manejo ambiental de ecosistemas estratégicos para la nación y aplicación en políticas públicas frente a la emisión de *Gases de Efecto Invernadero* en las ciudades o industrias.

La opinión de uno de los revisores científicos externos del presente libro resume su valiosa contribución para comprender la complejidad

del fenómeno ambiental *Cambio Climático Global* sustentada por información científica sólida:

*Este libro presenta un valioso aporte investigativo sobre el cambio climático y los factores asociados a su incremento en la última centuria. El/la/los autor/a/es han realizado una juiciosa revisión de las fuentes, lo que posibilita la presentación de información veraz, actualizada y coherente que fortalece el contenido de los diversos capítulos. Se aprecia el gran entusiasmo puesto por el autor en la labor investigativa y en concatenar bien los temas principales, buscar la bibliografía más pertinente y actualizada y finalmente ilustrar la situación asociada a cada una de las fuentes generadoras de gases de efecto invernadero.*

Felicitamos a la Universidad Icesi de Cali, Colombia y al director de su Editorial, Sr. Adolfo Abadía, por su apoyo a esta publicación. Resaltamos el liderazgo científico de la Dra. María Cristina Amézquita, PhD, Ciencias Ambientales, en la dirección, preparación y revisión detallada de cada uno de los capítulos del libro, y a su equipo de apoyo, Sr. Daniel Gómez Silva, profesional en Ciencia de la Información y Bibliotecología, en la edición y revisión de fuentes bibliográficas, y a los asistentes Srs. Sebastián Correa y Gabriel Salazar.

Es de especial relevancia que los capítulos cuenten con la participación en la autoría de jóvenes profesionales de diferentes áreas de pensamiento. Esto muestra el liderazgo que las nuevas generaciones están tomando frente a temas ambientales y tranquiliza de cara a los retos que afrontaremos como humanidad. Hay una lección que aprender al respecto, ya que los jóvenes de hoy seguramente en su adultez no cometerán los errores que nosotros cometimos y promoverán un cambio positivo hacia un mejor mañana.

Esperamos que este libro contribuya a entender que aún es posible revertir los efectos adversos del Cambio Climático para lograr el bienestar social, económico, ambiental y mejorar la calidad de vida de la humanidad si todos conocemos y actuamos con base en información científica.

**MIGUEL ÁNGEL AYARZA MORENO**

Centro Internacional e Agricultura Tropical CIAT(r)

**LEONARDO HERRERA OROZCO**

Universidad Icesi

## **SOBRE LOS AUTORES**

### **MARÍA CRISTINA AMÉZQUITA**

Matemática de la Universidad de los Andes, Bogotá; Master en Estadística Matemática y Bioestadística de la Universidad de Cambridge, Inglaterra; y Doctorado en Ciencias Ambientales-Ecología de la Producción y Conservación de Recursos- en la Universidad de Wageningen, Holanda. Se desempeñó como jefe de la Unidad de Biometría e Investigadora Científica del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Cali y directora Científica de un proyecto internacional, multi-institucional y multi-ecosistémico financiado por la Cooperación Holandesa titulado “Captura de Carbono en sistemas de Pasturas, Silvopasturas y Bosques en Ecosistemas de América Tropical vulnerables al Cambio Climático” con sede en CIAT. Adicionalmente, fue directora del Programa Nacional de Ciencias del Medio Ambiente y del Hábitat en COLCIENCIAS, Bogotá. Ha sido docente universitaria en instituciones de educación superior colombianas tales como las Universidades de Los Andes, Javeriana y Santo Tomás, en Bogotá; Universidad de la Amazonía, Universidad de Córdoba, Universidad de Cartagena; y en Cali con la Universidad del Valle, Universidad de San Buenaventura, Universidad Católica Lumen Gentium y, actualmente, en la Universidad Icesi. Además de autora de capítulos, en este libro participa como compiladora y editora académica. Correo electrónico: mariacrisamezquita@hotmail.com

### **ERIKA MARCELA MUÑOZ**

Bióloga de la Universidad Icesi.

### **KATHERINE DAYANN RODRÍGUEZ**

Bióloga con énfasis en Biología Molecular. Estudiante de Maestría en el Centro Europeo de Másteres y Posgrados (España, Madrid).

### **MARIANA AYALA PACINI**

Bióloga con énfasis en Biotecnología y Biología Molecular. Máster en Biotecnología de la Universidad Católica de Ávila (España).

**MARIA ALEJANDRA VÁSQUEZ MEDINA**

Bióloga, Docente.

**JULIETH MARCELA BUENAÑOS**

Bióloga, Docente Colegio Las Mercedes, Cali.

**BEATRIZ ESCOBAR CASAÑAS**

Bióloga, Treasury Assistant, Canadian Post, Canada.

**VALENTINA CORREA**

Bióloga. Asistente administrativa procesos de migración, Immigration Law Office, Bogotá.

**VALENTINA HINOGOSA MURILLO**

Bióloga. Investigadora Asistente, Asociación para el Estudio y Conservación de las Aves Acuáticas en Colombia (CALIDRIS).

**XIMENA GOMÉZ**

Bióloga. Investigadora Asociada, Fundación Calima, Cali.

**DANIELA QUIÑONS LOZANO**

Bióloga. Master en Ciencias Biológicas, Universidad del Valle. Asistente de docencia Universidad del Valle.

**MARIA ISABEL CIFUENTES**

Bióloga. Profesional de campo - Consultora independiente, Cali.

**JORGE LOBOA**

Biólogo, Consultor independiente.

**HUBER ALEJANDRO LASSO GONZALEZ**

Biólogo. Outdoors Activities Leader, Asesor independiente, Cali.

**LEONARDO HERRERA OROZCO**

Biólogo con énfasis en Biología marina y Doctor en Ciencias-Biología de la Universidad del Valle. En la actualidad es profesor hora cátedra del Departamento de Ciencias Biológicas, Bioprocesos y Biotecnología. Presidió el Comité Institucional de Ética, Bioética y Bioseguridad en las investigaciones con organismos vivos, incluidos los organismos vivos modificados (CEBio), de la misma universidad. Sus estudios se enfocan en los Servicios ecosistémicos de los Humedales y los aspectos sociales, económicos y culturales de estos ecosistemas; sobre la ética, ha promovido su enseñanza en el programa de Biología al implementarla como competencia de formación profesional y en el desarrollo de cursos que fortalecen su aprendizaje.

Correo electrónico: leonardo.herrera@u.icesi.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9851-8606>

**MARÍA ALEJANDRA HOYOS, JHON STEVEN RODRÍGUEZ, DANIEL PAZ, ALEJANDRA SALDARRIAGA, KAREN MARABIA LOZADA, MANUELA ROJAS LÓPEZ, SANTIAGO RUEDA, NATHALIA TRUJILLO, MARIA ALEJANDRA BETANCURT, CARLOS EDUARDO VARGAS, ESTEBAN ROBLES, DANIELA IVONNE COLLAZOS, DIANA GABRIELA CRUZ, JUAN JOSÉ SANTAMARIA, JUAN MANUEL FRANCO, ISABELA BORJA, VALENTINA MERA, FRANCISCO OLAYA, MICHAEL URBANO, SANTIAGO RESTREPO, JULIETH CAMILA GIRALDO, VALENTINA MORALES, ASHLEY DASYANY NOSSA, ISABELLA HERNANDEZ, BORIS SEBASTIÁN AGUIRRE CAREIS, KAREN GISSELLE HERNÁNDEZ, ANA MARÍA IBARRA Y ISABELLA AGUIRRE**

Economía y Negocios Internacionales de la Universidad Icesi.

**GINA MARCELA CANO JIMÉNEZ, STEPHANY ANDREA MONTOYA, DANIELA BOTERO Y MARIA CAMILA SARMIENTO**

Administradores de Empresas de la Universidad Icesi.

**LAURA MARCELA QUINTERO, LINA MARCELA CORREA, JUAN PABLO GARCÍA AGREDO Y CARLOS MORALES RAMIREZ**

Ciencia política con énfasis en Relaciones Internacionales de la Universidad Icesi.

**MELANY YULIETH VILLA MELLIZO**

Ciencia política con énfasis en Relaciones Internacionales. Analista de Incidencia, Geo Reciclables, Cali.

**IARA SOFÍA PATIÑO**

Ciencia Política con Especialización en Gestión y Dirección Deportiva, Escuela Nacional del Deporte. Coordinadora y estrategia política de Alexander Velázquez (Cambio Radical, Cali).

**YULIANA CARVAJAL**

Economía de la Universidad Icesi.

**VALENTINA ZAMBRANO**

Economía y Negocios Internacionales. Asistente de Marketing en Empresa Charles Tyrwhitt.

**JUAN FELIPE RAMÍREZ**

Economía y Políticas Públicas de la Universidad Icesi.

**LEONARDO FABIO PEDROZA ZULUAGA**

Economista y Negociador Internacional. Director y ejecutivo comercial de TRENDS.

**PABLO DELGADO**

Economista y Negociador Internacional. Analista de Business Intelligence en The Business Partner (Hall empresarial de Chipichape, Cali).

**JUAN SEBASTIÁN CORREA**

Economía y Negocios Internacionales, Analista de Mercado para empresas multinacionales del sector consumo masivo: Póker, Águila, Club Colombia, Corona, Pony Malta. Entre otras.

**CAMILO ANDRES GÓMEZ CANO**

Economía y Negocios Internacionales, Gestión de Exoneraciones, Banco de Occidente (Cali).



**GABRIEL ANTONIO SALAZAR REDONDO**

Economía y Negocios Internacionales, Paid Media Trainer, ABCW Global (Compañía Mexico-Estadounidense. Modalidad Virtual).

**GERALDINE CALDERÓN LÓPEZ**

Economía y Negocios Internacionales, Ejecutiva de cuenta Jr. de Exportaciones, Rio Paula Castilla S.A (Cali).

**MARÍA MERCEDES POSADA**

Economista. Analista de Comercio Exterior, SIDECOMEX, Cali.

**CHRISTIAN ALBERTO CONTRERAS LARGO**

Economista. Business Analyst, Tata Consulting Services, sede Bogotá.

**JUAN PABLO MUÑOZ**

Ingeniero de Sistemas. Software Developer, Amaris Consulting, Bogotá.



## OTROS TÍTULOS DE LA COLECCIÓN

- **Experiencias significativas en educación matemática**  
**HENDEL YAKER, DAVID BENITEZ Y HENRY TAQUEZ (EDITORES)**  
DOI: <https://doi.org/10.18046/EUI/disc.4.2023>
- **Caso por caso: clínica y lazo social**  
**XIMENA CASTRO-SARDI (EDITORA ACADÉMICA)**  
DOI: <https://doi.org/10.18046/EUI/disc.3.2020>
- **Fundamentos para la evaluación y manejo de la vía aérea**  
**IVÁN FERNANDO QUINTERO CIFUENTES**  
DOI: <https://doi.org/10.18046/EUI/disc.2.2020>
- **Herramientas financieras y valoración de activos y pasivos financieros bajo NIIF**  
**LUIS BERNARDO TELLO R.**  
DOI: <https://doi.org/10.18046/EUI/disc.1.2019>



Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en Febrero de 2024 en los talleres de Carvajal Soluciones de Comunicación (cotizaciones@carvajal.com), en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia. En su preparación, realizada desde la Editorial Universidad Icesi, se emplearon tipos Asap en 10/14. La edición consta de 200 ejemplares y estuvo al cuidado de Adolfo A. Abadía.



---

---

El libro *Cambio Climático Global: un gran desafío para el mundo de hoy* aborda de manera integral estos temas haciendo una revisión exhaustiva con soporte científico de la información disponible en términos de acciones y políticas en diferentes componentes de la industria, sus efectos sobre los biomas más importantes y las posibles alternativas de mitigación. Este debe ser un documento de consulta obligatoria para educadores de niños y adolescentes, para la comunidad universitaria de habla hispana, para organizaciones públicas y privadas que consideren importante permear en su grupo humano la comprensión de este fenómeno ambiental que afecta todos los ámbitos de la vida de nuestras sociedades y, en general, para todos aquellos interesados en el tema.

**MIGUEL ÁNGEL AYARZA MORENO**