



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.36
Junio-Diciembre de 2021
Reia36016 pp. 1-21

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Romero Pereira, M. C.; Higinio Pulido, A. M. (2021). Energías renovables no convencionales para satisfacer la demanda energética: análisis de tendencias entre 1990 y 2018. Revista EIA, 18(36), Reia36016. pp. 1-21.
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1513>

✉ *Autor de correspondencia:*

Romero Pereira, M. C. (María Carolina): Profesora asistente de tiempo completo, Centro de Estudios Ambientales. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Correo electrónico: maria.romerop@escuelaing.edu.co

Recibido: 12-03-2020

Aceptado: 15-05-2021

Disponible online: 01-06-2021

Energías renovables no convencionales para satisfacer la demanda energética: análisis de tendencias entre 1990 y 2018.

✉ **MARÍA CAROLINA ROMERO PEREIRA¹**
ANA MARÍA HIGINIO PULIDO¹

1. Escuela colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá. Colombia.

Resumen

Con el propósito de analizar el resultado de casi tres décadas de esfuerzos por migrar a un suministro energético basado en energías renovables (ERs), específicamente en ERs no convencionales (ERNCs), se analizaron datos sobre producción y consumo energético en las regiones definidas por la Agencia Internacional de Energía (IEA), entre 1990 y 2018. Se encontró que aunque la producción global de ERs casi se duplicó en las últimas tres décadas, las fuentes de energía producida no han cambiado sustancialmente, ya que el porcentaje de energía producida con combustibles fósiles (CFs) se mantiene en el 81%. Al revisar el consumo energético final, se encuentra un avance de 0,5 puntos porcentuales, entre 1990 y 2018, con una demanda global abastecida con ERs que pasó del 15,4% a 15,9%. Para las ERNCs, este valor pasó del 0,1% al 1,9%.

En 2018, Islandia era la economía con mayor porcentaje del consumo energético final proveniente de ERNCs, en donde cerca del 42% provenía de energía geotérmica. Las ERNCs en ninguna otra economía tuvieron este alcance, siendo Dinamarca el país que ocupó el segundo lugar, con un 10%.

En general, las economías con matrices energéticas de menor escala logran un mayor porcentaje de participación de ERNCs en el consumo energético final. Las ERs generadas con biomasa y energía hidráulica históricamente han tenido un mayor alcance en las matrices energéticas de mayor escala, aunque el alto impacto ambiental asociado a estas formas de generación de energía debe ser considerado, si el propósito es lograr un menor costo ambiental asociado al desarrollo económico y poblacional.

Palabras Claves: *Producción Energética, Balance Energético, Matriz Energética, Energías Renovables, Energías Limpias, Energías Renovables no Convencionales, Consumo Energético Final, Energía Primaria, Consumo Energético Final, Demanda Energética, Desarrollo Sostenible.*

Non conventional renewable energies to fullfill energy demands: analysis of 1990 to 2018 trends.

Abstract

The purpose of this article is to analyse the progress after 3 decades of efforts to migrate to renewable energies, specifically non-conventional renewables. Data on final energy production and consumption were analyzed by regions, as defined by the International Energy Agency (IEA), and a timeframe between 1990 and 2018.

Although the production of renewables in the last three decades almost doubled, the share of different types of energy sources did not change substantially: the percentage of energy produced with fossil fuels in 2018 accounted for 81% of the total, just as in 1990. Total energy consumption from renewables went from 15,4% in 1990 to 15,9% in 2018. Non conventional renewables went from 0,1% to 1,9% in the same period of time.

In 2018, Iceland was the economy with the highest percentage of final energy consumption coming from non-conventional renewables, with roughly 42% from geothermal energy. Denmark ranked second, with 10% of the final demand supplied with non-conventional renewables.

It was found that smaller-scale economies allow higher participation of non conventional renewable energies, while renewables generated with biomass and hydropower have a greater scope for larger-scale energy matrices. However, environmental impacts related to conventional and non-conventional renewables must be considered, if the environmental cost of development is intended to be reduced.

Key Words: *Energy Production, Energy Balance, Energy Matrix, Renewable Energies, Clean Energies, Non-conventional Renewable Energies, Final Energy Consumption, Primary Energy, Energy Demand, Sustainable Development.*

Introducción

Desde hace décadas, las ERs son reconocidas como pilar del desarrollo sostenible (DS), con la premisa de alcanzar el bienestar poblacional para todos, al menor costo ambiental posible, Dincer. (2000). Una de las principales preocupaciones ambientales a nivel global se centra en la posibilidad de que el calentamiento global genere efectos catastróficos, si mantenemos los patrones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) estima que el uso de CFs representa más de la mitad del total de emisiones de GEI a nivel global y que la provisión de servicios energéticos constituye la mayor fuente de generación de GEI. En el Informe especial del IPCC sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático, Moomaw, et al. (2011) estiman que las emisiones de CO₂ asociadas a diferentes formas de ERs son del orden del 1 al 10% de las típicamente asociadas a los CFs. La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) considera que lograr la descarbonización del sistema energético global es una de las principales estrategias para mitigar los riesgos asociados al cambio climático, IRENA. (2017).

WB, IFC y MIGA. (2016) consideran además que el uso de ERNCs y la eficiencia energética son claves para lograr el DS, no sólo por el potencial de reducción de GEI a partir de su implementación, sino también por el potencial de extender el servicio energético a zonas no interconectadas, en donde millones de personas permanecen sin acceso al suministro de energía.

Dada la reconocida importancia del asunto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), estableció dentro de la agenda internacional para lograr el desarrollo sostenible, el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) No. 7, que consiste en lograr Energía asequible y no contaminante, resaltando la necesidad de invertir en fuentes de energía tales como la solar, la eólica y la termal. PNUD. (2015) coincide con las demás entidades mencionadas en que la economía actual depende en gran medida de CFs, lo que está generando importantes cambios en el clima.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) plantea la implementación de ERs como centro de las estrategias para lograr el DS en la región, resaltando que la matriz energética de América Latina es altamente dependiente de CFs, CEPAL. (2014).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) por su parte, desde hace décadas ha advertido acerca de la necesidad de migrar hacia una matriz energética basada en ERs, no sólo para mitigar las dinámicas que ocasionan el cambio climático, WWF. (2017). sino también para mitigar sus efectos sobre la salud humana, ya que que el uso de CFs y la combustión de biomasa como fuentes de energía implican la liberación de grandes cantidades de contaminantes atmosféricos, ocasionando daños en la salud humana. El Consejo Ejecutivo de la OMS. (1991) advertía ya hace unos 30 años, acerca de la necesidad de dedicar más recursos a la investigación, desarrollo e implementación de ERs como una de las estrategias necesarias para reducir las implicaciones adversas del medio ambiente en la salud pública.

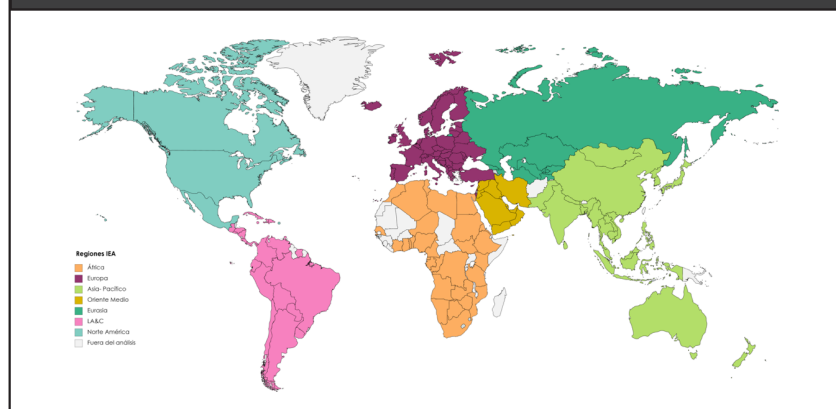
Metodología

Se analizaron las matrices energéticas de siete regiones definidas por la IEA. (2020), conformadas por 141 economías que representan el 96% de la población mundial, según cálculos obtenidos con cifras de población total en Banco Mundial. (2020). Se utilizó como ventana de tiempo el periodo comprendido entre 1990 y 2018, con el fin de conocer cuál ha sido el alcance de los resultados de casi tres décadas de esfuerzos por migrar a formas de energía menos contaminantes, haciendo énfasis en ERNCs. El análisis se centra en cifras de producción y de consumo energético total por fuente de energía en las regiones IEA.

Para el análisis, las diferentes fuentes de energía fueron clasificadas siguiendo lo establecido por la IEA en el Manual de Estadísticas Energéticas, IEA, OCDE , EUROS-TAT. (2005) : i) CFs, que incluyen hidrocarburos –petróleo y sus productos, gas– y carbón; ii) ERs, que a su vez se subdividen en hidráulica, biomasa y ERNCs; y c) energía nuclear.

Se implementó también la división regional de la IEA, siendo la página oficial de esta entidad la principal fuente de información del estudio. Así, el análisis por regiones se realizó para: 1) Europa; 2) Norte América; 3) América Central y del Sur – en adelante Latinoamérica y el Caribe (LA&C); 4) Asia-Pacífico; 5) África; 6) Oriente Medio; y 7) Comunidad de Estados Independientes (CIS) o Eurasia. En la Figura 1 se presentan las economías incluidas en las diferentes regiones IEA y las que no hacen parte de estas regiones y por lo tanto, de este análisis.

Figura 1. Países reportados por regiones IEA. (2020).
Creado utilizando la herramienta mapchart.net. (2021)



La IEA utiliza factores de conversión para expresar diferentes tipos de combustibles y formas de energía –tales como energía primaria, electricidad y calor– en unidades de energía conmensurables, que pueden ser equivalencias en joules o en unidades de masa, de carbón o de petróleo. Esto permite realizar comparaciones y operaciones algebraicas para obtener un panorama de los balances energéticos de una economía. A lo largo de este documento se emplean unidades equivalentes de petróleo expresadas por sus siglas en inglés (e.gr. toe, ktoe, Mtoe o Gtoe de petróleo), de acuerdo con el Manual de Estadísticas Energéticas de la IEA, OCDE, EUROSTAT. (2005). Es importante anotar que estas son unidades de energía y no deben ser confundidas con unidades de masa.

El análisis de matrices energéticas se concentró en dos elementos fundamentales: el suministro energético y el consumo energético de un territorio. Se analizó el panorama por regiones y se incorporó el análisis de algunas economías de interés, destacadas por su producción y/o consumo de ERs y de ERNCs.

Suministro energético

El suministro energético o *Total Energy Supply* (TES) es el total de energía que abastece un territorio y se calcula como la suma de la energía primaria producida e importada, más o menos reservas de combustible, menos las exportaciones, OCDE. (2020).

Recientemente la IEA añadió a esta contabilidad el total de electricidad que abastece la matriz energética de un territorio (e.gr. almacenamiento o importaciones de electricidad), por lo que el TES corresponde al indicador tradicionalmente conocido como *Total Primary Energy Supply* (TPES), incorporando valores de energía secundaria en su contabilidad.

Consumo final de energía

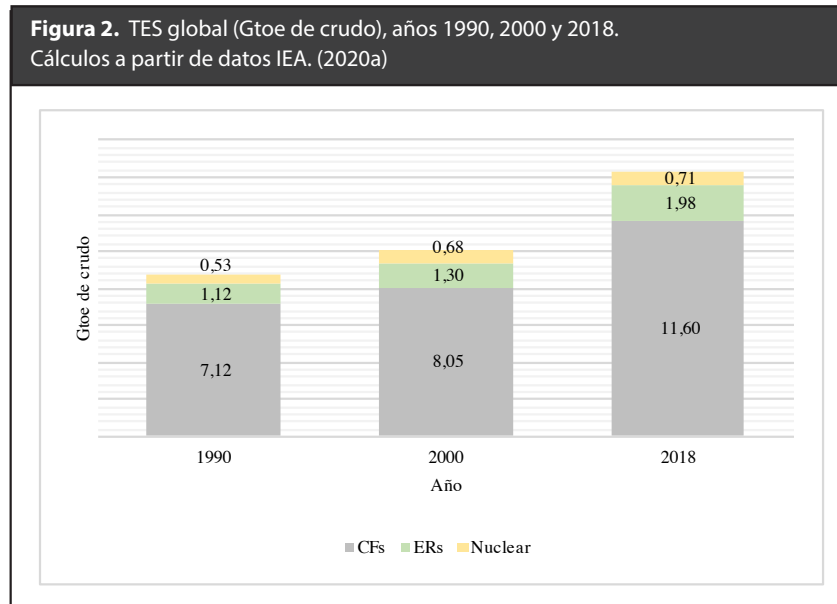
El consumo final total de energía o *Total Energy Supply* (TFC) permite estimar la energía que demandan las actividades de una economía dentro de su territorio. El TFC incluye la energía primaria que ha sido transformada en formas de energía utilizables (como electricidad, combustibles o calor) y la energía primaria directamente utilizada.

Por último y considerando la naturaleza de las temáticas implicadas en el análisis, se incorporó una breve revisión del impacto ambiental implicado en la generación de diferentes formas de ERNCs, más allá de la generación directa de GEI.

Resultados

TES global

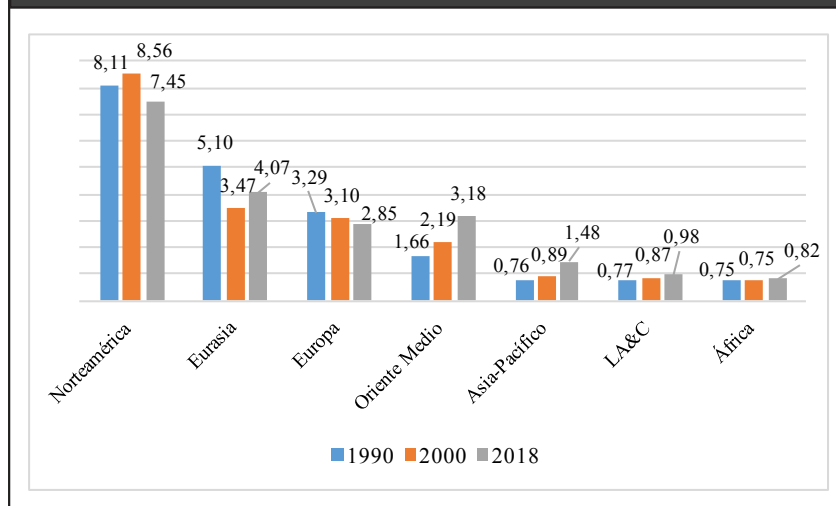
Al revisar el TES global por tipo de energía (Figura 2), se encuentra que en 2018, al igual que en 1990, los CFs representaron el 81,2% de este indicador; las ERs en el TES pasaron del 12,8% al 13,8%, y la energía nuclear pasó del 6% al 4,9%.



TES por regiones IEA

Al revisar el TES por región IEA, se encuentra que la región Asia-Pacífico pasó de representar el 26% del global en 1990 a un 43% en 2018, aún cuando su población se mantuvo en el 57% del total. De esta forma, el TES per cápita de Asia-Pacífico se duplicó en las últimas 3 décadas. No obstante, Norteamérica se mantiene como la región IEA con mayor TES per cápita, seguido por Eurasia y Europa, en donde el TES per cápita es hasta 5 veces el de Asia o hasta 9 veces el de África (Figura 3).

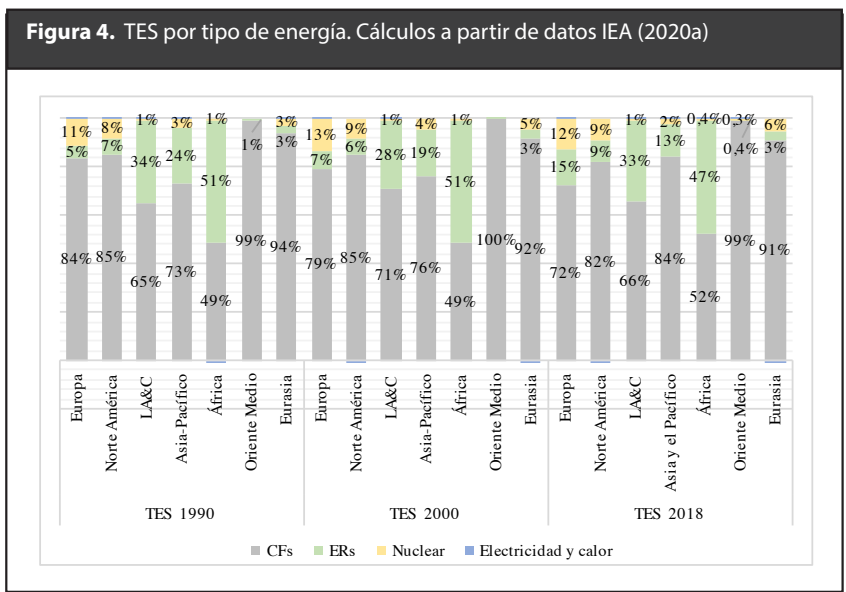
Figura 3. TES per cápita, por región (toe anuales), años 1990, 2000 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)



Es importante notar que en el período analizado, las regiones Oriente Medio y Asia-Pacífico casi duplicaron su TES per cápita, mientras que Eurasia, Europa y Norteamérica tuvieron una reducción del 20%, 13% y 8% respectivamente.

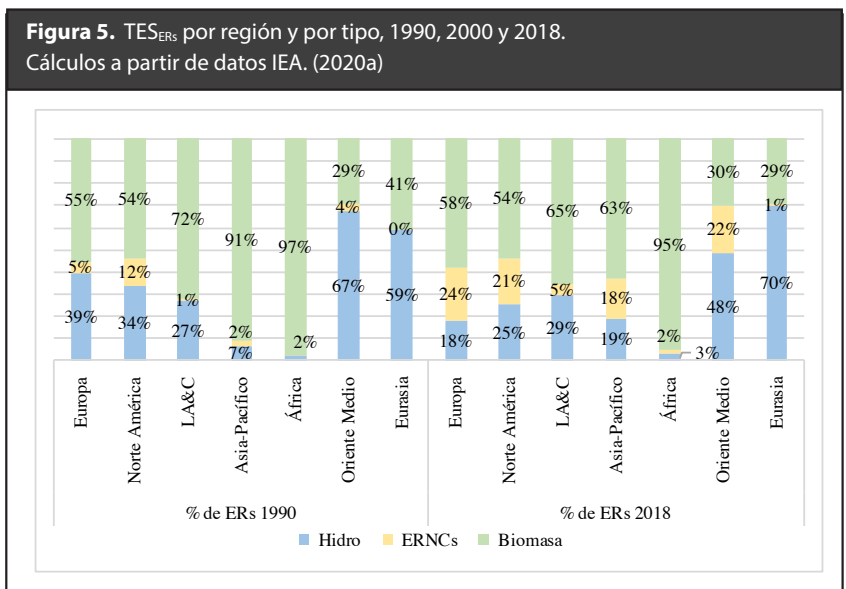
TES por regiones IEA y por tipo de energía

Desde hace décadas, el TES proveniente de ERs (TES_{ERS}) en África se ha mantenido por encima del 50% (Figura 4); esto se debe a que la producción de energía a partir de biomasa en la región es tradicional, Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo y Banco Mundial. (2020). En LA&C este valor se mantuvo relativamente constante durante el período analizado, con un valor cercano al 33%. El mayor avance se presenta en Europa, en donde el TES_{ERS} pasó del 5% al 15% y en Norteamérica, en donde pasó del 7% al 9%. En Eurasia, se encuentra un TES_{ERS} del 3% y en las economías de la región Oriente Medio este valor es prácticamente nulo. La región de Asia-Pacífico redujo su TES_{ERS} casi a la mitad, pasando de 24% en 1990 a 13% en 2018. En esta última región, el TES de CFs aumentó.



ERs en el TES, por tipo de ER

La energía hidráulica predomina en Oriente Medio y en Eurasia, en donde representa el 55% y 70% del TES_{ERs} , respectivamente (Figura 5).



La energía generada con biomasa predomina en las demás regiones: en Norteamérica el 54% del TES_{ERs} se genera con esta forma de energía y en África el 95%. En cuanto a las ERNCs, se encuentra que éstas han tomado fuerza en los territorios de Europa y Asia-Pacífico, pasando del 5% al 24% y del 2% al 18% del TES_{ERs} proveniente de ERNCs. En este período, las ERNCs también tomaron fuerza en las regiones Norte América y Oriente Medio, pasando del 12% al 21% y del 4% al 22% del TES_{ERs} proveniente de ERNCs.

ERNCs en el TES (TES_{ERNCs})

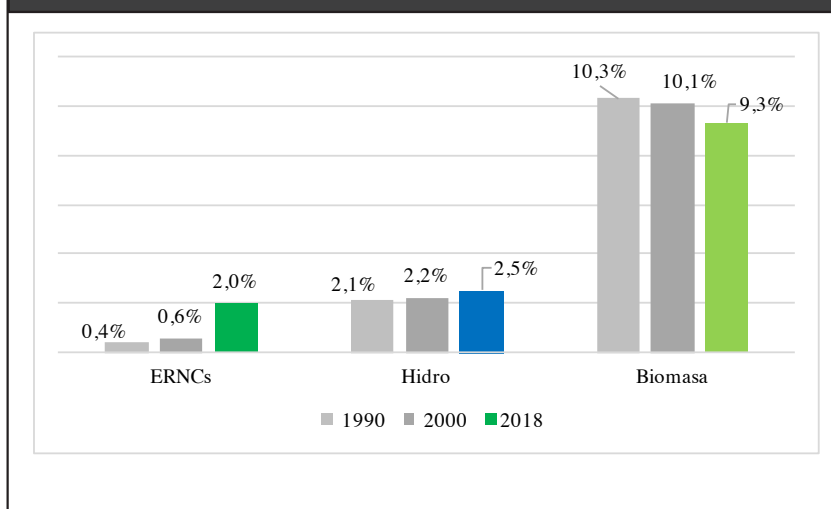
En términos absolutos, la región con mayor TES_{ERNCs} en 2018 fue Asia-Pacífico, con 143,7 Mtoe en 2018, seguido por Europa (72 Mtoe) y Norteamérica (51,4 Mtoe). No obstante, ese año el mayor TES_{ERNCs} (Tabla 1) se registró en Europa, con un valor del 3,6%. En las demás regiones este valor alcanzó un máximo de 2,4%.

A nivel global (Figura 6), esto significa que el TES_{ERNCs} pasó del 0,4% en 1990, al 2% en 2018.

Tabla 1. ERNCs en el TES. Cálculos a partir de datos IEA (2020a).

Región IEA	1990	2018
Europa	0,3%	3,6%
Norte América	0,8%	1,9%
LA&C	0,2%	1,8%
Asia-Pacífico	0,5%	2,4%
África	0,1%	0,8%
Oriente Medio	0,0%	0,1%
CIS (Eurasia)	0,0%	0,0%

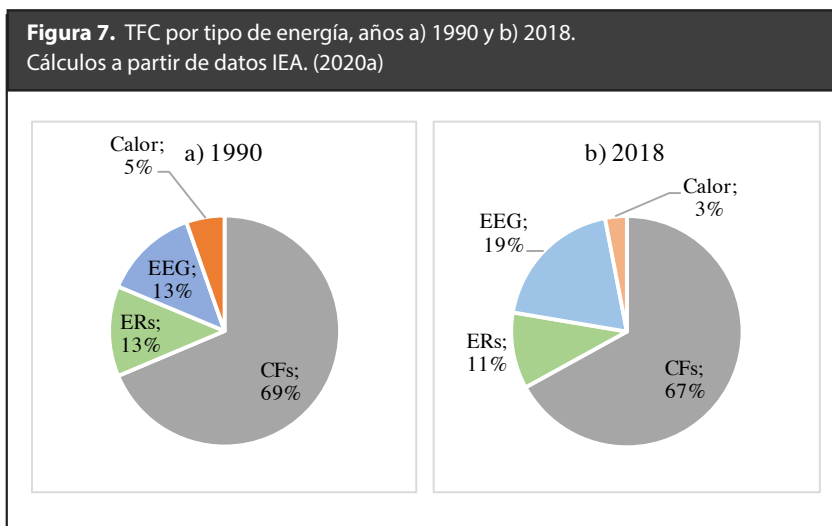
Figura 6. TES_{ERs} global, años 1990, 2000 y 2018. Cálculos a partir de datos IEA. (2020a)



TFC global

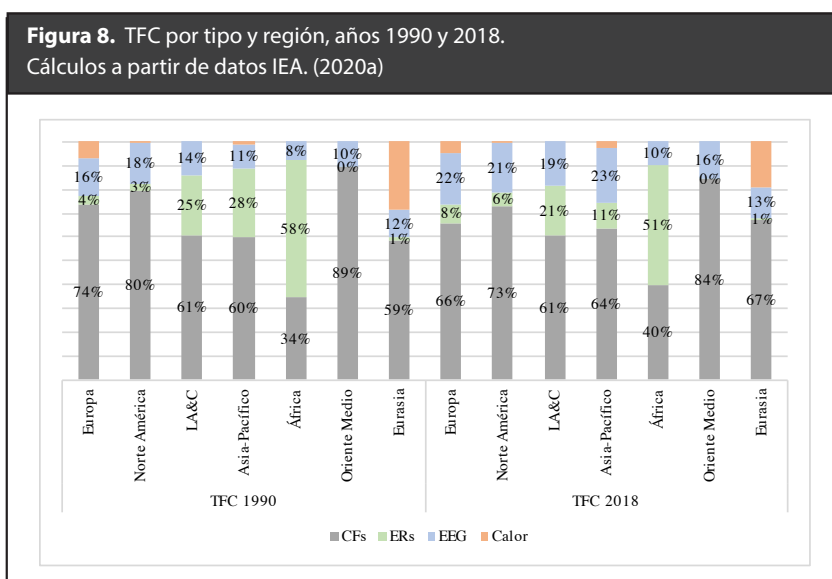
Entre 1990 y 2018, el TFC por tipo de energía no cambió sustancialmente: casi el 70% del TFC se abasteció con CFs y el uso directo de ERs en el TFC (TFC_{ERD}) pasó del 13%

al 11%. Por su parte, la energía eléctrica generada (EEG) para abastecer el TFC tuvo un incremento del 13% al 19%.



TFC por regiones y por tipo de energía

El uso de CFs para abastecer el TFC (TFC_{CFs}) predomina en todas las regiones analizadas (Figura 8), exceptuando África, en donde el TFC_{ERD} ya en 1990 alcanzaba más del 50%, en su mayoría proveniente de biomasa (Tabla 2).



En 1990, las regiones con mayor TFC_{ERD} después de África eran Asia-Pacífico y LA&C, con 28% y 25%, respectivamente. No obstante, para 2018 estos porcentajes se redujeron, principalmente en Asia-Pacífico, alcanzando un TFC_{ERD} de menos del 10%.8.

Tabla 2. TFC_{ERD}. Cálculos a partir de datos: IEA. (2020a)

Región IEA	1990		2018	
	Biomasa	ERNC	Biomasa	ERNC
Europa	3,5%	0,1%	7,5%	0,5%
Norte América	2,7%	0,0%	5,4%	0,2%
LA&C	25,3%	0,0%	20,5%	0,2%
Asia-Pacífico	28,3%	0,1%	9,8%	0,9%
África	57,9%	0,0%	50,7%	0,0%
Oriente Medio	0,2%	0,0%	0,2%	0,1%
CIS (Eurasia)	1,1%	0,0%	0,7%	0,0%
Global	12,6%	0,1%	10,2%	0,5%

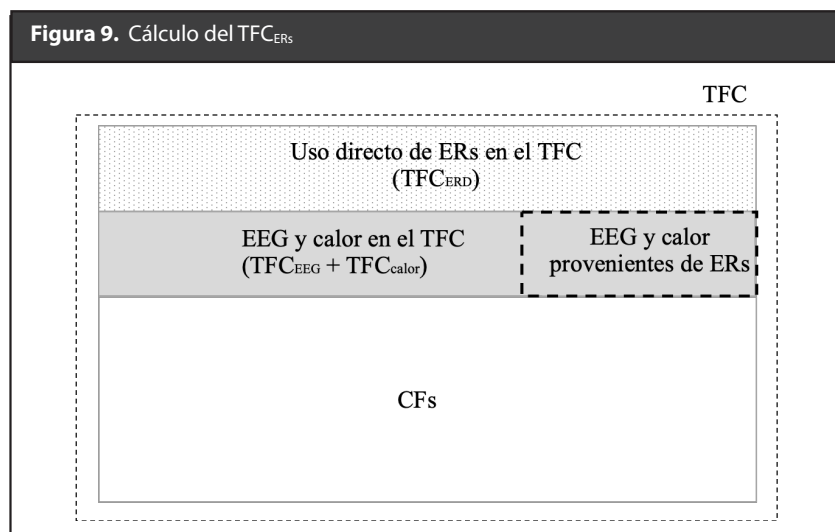
En promedio, el 20% restante del TFC corresponde a energía eléctrica generada (TFC_{EEG}) y calor (TFC_{calor}), con un máximo de 33,2% en Eurasia y un mínimo de 9,6% en África:

Tabla 3. TFC_{EEG} y TFC_{calor} año 2018. Cálculos a partir de datos IEA (2020a)

Región	TFC _{EEG}	TFC _{calor}	TFC _{EEG} + TFC _{calor}
Europa	21,6%	4,6%	26,2%
Norte América	21%	0,4%	21,4%
LA&C	18,6%	0%	18,6%
Asia -Pacífico	22,8%	2,9%	25,7%
África	9,6%	0%	9,6%
Oriente Medio	15,6%	0%	15,6%
Eurasia	13,3%	18,8%	33,2%

ERs en el TFC

Para conocer qué porcentaje del TFC proviene de cada grupo de ERs (TFC_{ERs}), es necesario calcular los porcentajes del TFC_{EEG} y del TFC_{calor} que provienen de estas fuentes de energía. Una representación gráfica de este cálculo es la siguiente:



El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$TFC_{ERS} = TFC_{ERD} + (EEG_{ERS} \times TFC_{EEG}) + (Calor_{ERS} \times TFC_{calor}) \quad (1)$$

En donde (valores en porcentaje):

TFC_{ERS} : TFC proveniente de ERs.

TFC_{ERD} : TFC proveniente del uso directo de ERs.

TFC_{EEG} : TFC abastecido con energía eléctrica.

EEG_{ERS} : EE generada a partir de ERs

TFC_{calor} : TFC abastecido con calor.

$Calor_{ERS}$: calor generado a partir de ERs.

Con los valores TFC_{ERD} de la Tabla 2 para 2018, el TFC_{ERS} a partir de la Ecuación 1 es:

Tabla 4. TFC proveniente de ERs, año 2018. Cálculos a partir de datos: IEA (2020a)

Región IEA	EEG _{ERs} + Calor _{ERs}			TFC _{ERs} por tipo			Total TFC _{ERs}
	Biomasa	Hidro	ERNC	Biomasa	Hidro	ERNC	
Europa	2,3%	3,5%	3,0%	9,8%	3,5%	3,4%	16,8%
Norte América	0,4%	2,8%	1,7%	5,8%	2,8%	1,9%	10,6%
LA&C	1,0%	10,2%	1,2%	21,6%	10,2%	1,4%	33,2%
Asia-Pacífico	0,5%	3,3%	1,5%	10,3%	3,3%	2,4%	16,0%
África	0,0%	1,5%	0,3%	50,7%	1,5%	0,3%	52,6%
Oriente Medio	0,0%	0,3%	0,1%	0,2%	0,3%	0,1%	0,5%
CIS (Eurasia)	0,4%	2,4%	0,0%	1,1%	2,4%	0,0%	3,6%
Global	0,7%	3,1%	1,4%	10,9%	3,1%	1,9%	15,9%

De esta forma, las regiones con mayor TFC_{ERs} en 2018 fueron África y LA&C, con 52,6% y 33,2% respectivamente, en su mayoría provenientes de biomasa. El valor máximo de TFC_{ERNCS} se registró en Europa, con un 3,4% y la media global para estas fuentes de energías es de 1,9%.

Análisis por economías: TFC_{ERs}

En 2018, 30 economías pertenecientes a las regiones IEA registraron un TFC_{ERs} de 50% o más. En su mayoría, esta energía es obtenida a partir de biomasa, a excepción de Noruega e Islandia, en donde la mayoría de TFC_{ERs} es generada con energía hidráulica y/o geotérmica (Figura 10). Gabón, Etiopía y República Democrática del Congo son las economías en donde el TFC_{ERs} supera el 90%, en su mayoría provenientes del uso tradicional de biomasa.

Islandia es la única economía en donde el TFC_{ERNCS} en 2018 superó el 10% en el año de referencia (Figura 11), con más del 40% del TFC generado con energía geotérmica, una forma de ER tradicional en ese territorio. Este porcentaje, sumado a un 34% del TFC obtenido con energía hidráulica permite a Islandia un TFC_{ERs} del 76%.

Figura 10. Economías con mayor TFC_{ERs} en 2018.
Elaborado a partir de cálculos con datos IEA. (2020a)

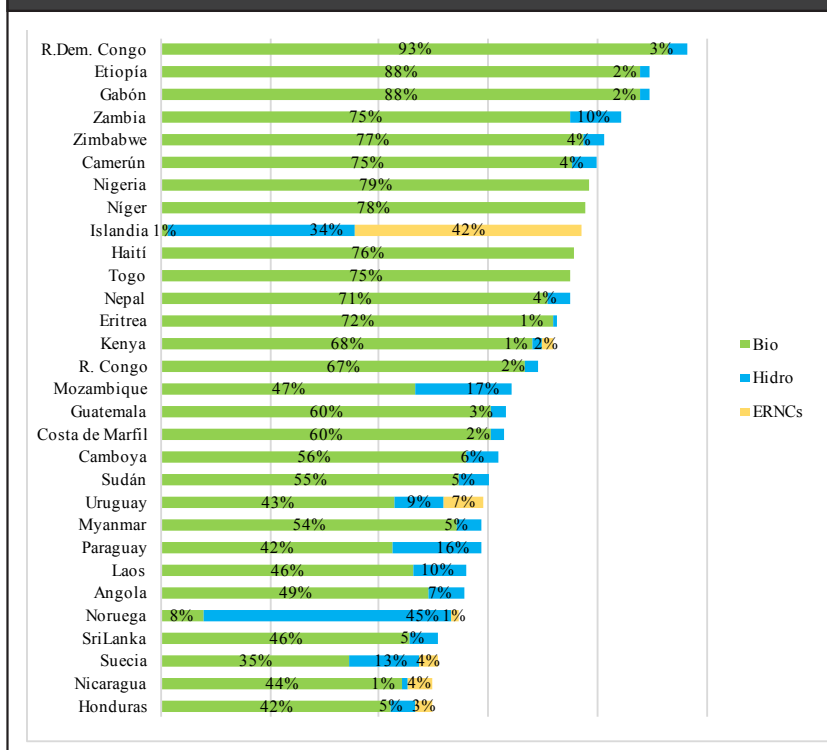
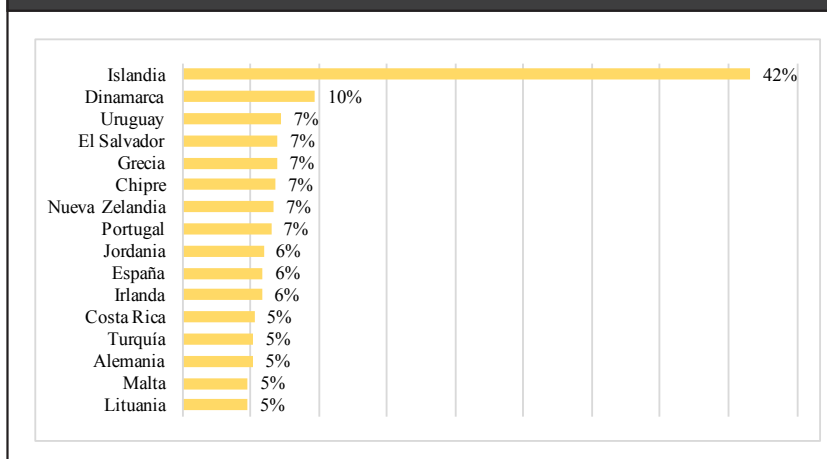


Figura 11. Economías con mayor TFC_{ERNCS} en 2018.
Cálculos a partir de datos IEA (2020a)



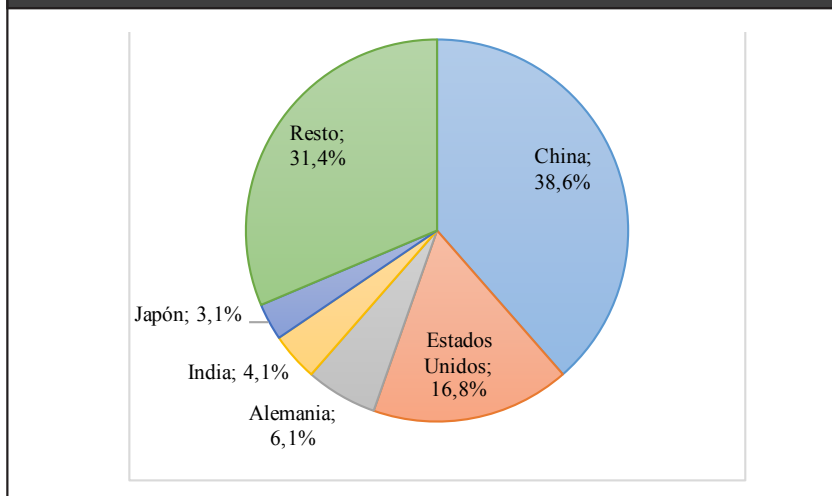
Economías con mayor generación y uso de ERNCs.

El TFC_{ERNCS} de cada economía se calculó con datos IEA para el año 2018, reemplazando el parámetro ERs por ERNCs en la Ecuación 1. En términos absolutos, en 2018 las economías con mayor cantidad TFC_{ERNCS} fueron China, EEUU, Alemania, India y Japón. Estas 5 economías suman el 70% del total de ERNCs generada y utilizadas en el TFC

a nivel global. Sólo entre China y EEUU tienen 106 Mtoe de ERNCs en el TFC, equivalente al 55% del TFC_{ERNCs} global. Otras economías como Reino Unido, Turquía, España, Japón e Italia, obtuvieron un TFC_{ERNCs} del orden de 4,5 a 5 Mtoe en 2018.

Las economías que más generan ERNCs a nivel global logran un porcentaje máximo del 6% del TFC proveniente de ERNCs. España es la que alcanza el mayor porcentaje de TFC_{ERNCs} , con un 5,9%, seguido por Alemania y Turquía, con 5,2% cada uno.

Figura 12. Porcentaje del total de ERNCs en el TFC global, por economía. Cálculos a partir de datos IEA. (2020a)



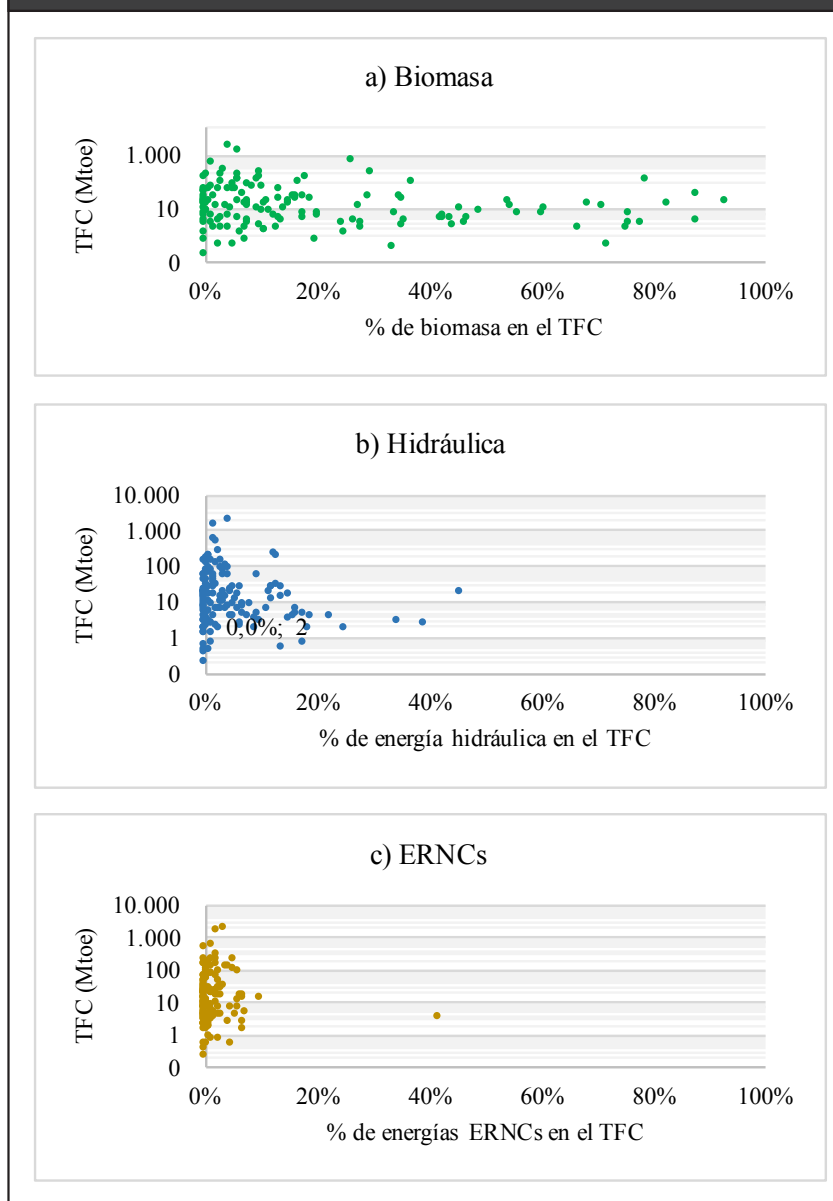
TFC_{ERNCs} Vs. TFC total

El total de ERs en el TFC (en ktoe anuales), versus el porcentaje que los diferentes tipos de ERs representan en el TFC, para 143 economías de las bases de datos IEA, con información disponible, permite conocer si existe una relación entre la magnitud del TFC y el potencial de abastecer la demanda con diferentes tipos de ERs.

Como resultado, se encuentra que, en general, las economías logran un mayor TFC_{ERs} a menor escala. El TFC de Islandia (que es la economía que cuenta con el mayor TFC_{ERNCs}) es de 3 Mtoe para 2018, un TFC significativamente inferior al de las demás economías.

Las ERs de biomasa e hidráulica permiten mayores TFC_{ERs} a mayores escalas. Ejemplos de esto son India, que tiene un 26% proveniente de biomasa, con un TFC de 607 Mtoe; y Brasil, con un 13% proveniente de energía hidráulica, para un TFC de 225 Mtoe. Los resultados de este ejercicio se presentan en la Figura 13 a), b) y c).

Figura 13. TFC por tipo de ER Vs. TFC total, para el año 2018 en 143 economías IEA. a) Biomasa. b) Hidráulica y c) ERNCs. Elaborado con cálculos a partir de: IEA. (2020a).



Impacto ambiental de las ERs

El impacto ambiental derivado del uso masivo de diferentes formas de ERs y ERNCs debe ser considerado, para lo cual es necesario tener en cuenta, además de las emisiones directas de GEI (comúnmente asociadas a la quema de CFs) un enfoque que permita incorporar el análisis objetivo de impactos ambientales, a través de herramientas como la evaluación de impactos ambientales (EIA) y/o el análisis de ciclo de vida (ACV).

El uso de biomasa en países no pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) proviene principalmente de usos tradi-

cionales de biomasa y no de bioenergía moderna. Esto significa que proviene del aprovechamiento local de biocombustibles, utilizando madera, cenizas y residuos industriales. El uso tradicional de biomasa se asocia a bajas eficiencias en los procesos de conversión y a impactos ambientales significativos en términos de deforestación y daños en la salud humana por contaminación en interiores, por lo que se espera que la cuota del TFC proveniente de estas formas de generación de energía se reduzca a futuro. Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo y Banco Mundial. (2020).

En los países de África Subsahariana el uso tradicional de biomasa ha enfrentado numerosos obstáculos, que incluyen la falta de exigencia y de rigurosidad en los estudios de impacto ambiental que viabilizan los proyectos basados en estas tecnologías, altas tasas de deforestación y pérdida de fertilidad en suelos. Esto, sumado a la falta de agua para cultivos, agrava los riesgos relacionados con la seguridad alimentaria en la región, según Glantz y Wolde-Georgis. (2010).

Los impactos ambientales asociados a la generación de energía hidráulica varían significativamente dependiendo de la escala y del tipo de proyecto. La IEA expidió 5 informes bajo el Acuerdo de Implementación de Tecnologías Hidroeléctricas (1996-2006), que son considerados referentes internacionales en materia de impacto ambiental de estos tipos de proyectos. Como resultado una década de estudios basados en más de 200 proyectos de generación de energía hidroeléctrica, se determinó que los impactos ambientales más significativos incluyen cambios en el régimen de estiaje, acumulación de sedimentos y deterioro de la calidad del agua en las fuentes hídricas, transformación de ecosistemas terrestres por la creación de embalses y pérdida de biodiversidad. Los impactos significativos sobre el medio socioeconómico incluyen desplazamientos poblacionales involuntarios, afectaciones adversas a poblaciones vulnerables y daños en la salud pública. Kumar, et al. (2011)

Diversos estudios han analizado las emisiones de GEI asociadas a los proyectos hidroeléctricos, específicamente aquellos que implican la construcción de embalses. Al igual que los cuerpos lénticos de agua naturales, los embalses generan grandes cantidades de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) y gas metano (CH_4 , cuyo potencial de calentamiento global es 24 veces el del CO_2), por cuenta de la descomposición de materia orgánica en condiciones aerobias y anaerobias, Yang, et al. (2014). No obstante, las dinámicas ecosistémicas generadas en estos cuerpos de agua artificiales también implican grandes absorciones de GEI, que pueden incluso resultar en emisiones netas negativas; es decir, en donde las absorciones pueden llegar a ser mayores que las emisiones. Kumar, et al. (2011).

Las emisiones de GEI asociadas con energía hidráulica varían significativamente dependiendo del tipo de proyecto, el clima y la edad del reservorio, Yang, et al. (2014). Las emisiones asociadas a los embalses tienden a asemejarse a las de los cuerpos de agua naturales, dependiendo del tiempo de existencia del embalse. Un embalse de 10 años en áreas boreales y regiones semi-áridas pueden alcanzar los niveles de emisiones de un cuerpo léntico natural, mientras que en regiones tropicales pueden tomar más tiempo. Las emisiones de GEI asociadas a producción de energía hidroeléctrica pueden ser hasta 8% inferiores, comparadas con las asociadas a cualquier tipo de producción de energía térmica convencional, Tremblay, et al. (2004).

Para el caso de la energía solar fotovoltaica (PV) ha de considerarse el efecto acumulativo que ocasionará el auge de este tipo de proyectos, que requieren grandes extensiones de área para su emplazamiento. España, siendo la economía con el mayor $\text{TFC}_{\text{ERNCS}}$ en 2018, tenía un TFC_{ERs} del 17%, y tiene como objetivo lograr que este valor alcance el 42% para 2030.

De acuerdo con el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020), en 2018 la capacidad instalada de energía solar PV en España era de 4,7 GW (potencia AC). Se proyecta para el año 2030 la capacidad instalada de energía solar PV sea de 39,2GW, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a), es decir más de 8 veces la capacidad instalada en 2018.

Tomando como referencia la relación capacidad instalada-área requerida y número de paneles de energía solar PV instalados en algunos mega-proyectos existentes en ese país (Ver Tabla 5), esto significa que sólo en España (cuyo TFC representa menos del 1% global) entre 2018 y 2030 se habrán instalado 34,4GW adicionales de energía solar PV. Esto podría demandar unas 69 mil hectáreas y nuevos paneles solares instalados del orden de 98 billones de unidades, tomando como referencia los 1,43 millones de paneles de la Planta Solar Núñez Balboa, Iberdrola. (2021).

Tabla 5. TFC proveniente de ERs, año 2018. Cálculos a partir de: IEA. (2020a) .

Proyecto	Capacidad instalada (MW)	Área total (ha)
Planta solar PV Núñez Balboa (Iberdrola, 2021)	500	1.000
Planta solar PV Francisco Pizarro, en construcción. Iberdrola (2021a)	590	1.300
Complejo solar PV Escatrón Grupocobra (2021)	350	1.060

Si bien parte de estas instalaciones se desarrollan en entornos modificados (i.e. en entornos urbanos y/o sobre techos de edificaciones), la implantación de parques de energía solar PV extensivos en las regiones con mayor potencial instalada en España es marcada, considerando el bajo precio de las tierras y los altos rendimientos comparados con las actividades agrícolas, Espejo-Marín y Aparicio Guerrero. (2020). De acuerdo con Serrano, et al. (2020) la cantidad de hábitats y especies que podrían verse afectadas en ese país son invaluable. Es de considerar además los efectos ambientales relacionados con la extracción de materiales y disposición de residuos sólidos, asociados a estas tecnologías.

Discusión

Entre los años 1990 y 2018, la composición del TES global no cambió sustancialmente, ya que más del 80% del TFC proviene de CFs y las ERs pasaron de representar el 13% al 14% de este parámetro. En materia de TFC, las ERs representan casi el 16%, siendo la biomasa y la hidráulica los tipos de ER predominantes.

Tomando como base 117 de las 141 economías con información disponible en las bases de datos IEA, que según cifras de población total en Banco Mundial (2020) representan el 93% de la población, el PIB total de estas economías tuvo un incremento del 117%, calculado con cifras de PIB ajustado por paridad de poder adquisitivo en USD constantes 2010, Banco Mundial (2020). De esta forma, en términos de productividad, las economías de las regiones IEA pasaron de producir 8.4 a 13.3 miles de USD

por toe del TFC, lo cual podría ser traducido en un incremento en la productividad del TFC del 58%.

El efecto del crecimiento poblacional y del desarrollo económico sobre la demanda energética es sinérgico, por lo que los esfuerzos deben ser direccionados no sólo hacia una migración a formas de ERs, sino también hacia una mayor eficiencia energética, si el objetivo es alcanzar un alto porcentaje del TES y TFC provenientes de ERs, de acuerdo con IRENA (2017). y Banco Mundial, WB, IFC y MIGA. (2016).

El crecimiento poblacional de las economías analizadas fue del 43%, que resultó en un incremento del TFC per cápita del 9% en las tres últimas décadas. El mayor incremento se presenta en la región Asia-Pacífico, en donde la población creció un 40%, el TES 171% y el TFC 143%, por lo que crecimiento económico ha tenido un importante efecto en el crecimiento de la demanda energética de la región.

En 1990, algunas regiones como África mostraban ya una importante composición del TFC_{ERs} . África pasó de tener el 58% de su TFC_{ERs} en 1990, al 51% en 2018 y contrario a la tendencia esperada con el desarrollo, los CFs ganaron terreno en esta región.

LA&C y Asia-Pacífico son otras regiones en donde las ERs pasaron de representar casi una tercera parte de su TFC, al 21% y 11%, respectivamente. En estas regiones los CFs también ganaron terreno en el TFC, contrario a lo esperado en el avance hacia un desarrollo sostenible.

En todas las regiones con un porcentaje alto de TFC_{ERs} , predominan las ERs generadas con biomasa y energía hidráulica. Las ERNCs representan un 2% del TFC a nivel global y muestran un bajo porcentaje de representación tanto en las economías con mayor generación de ERs, como en las economías con mayor porcentaje de TFC_{ERs} . Sólo en Islandia predominan las ERNCs en el TFC, en donde tradicionalmente se ha generado energía a partir de fuentes geotérmicas. En algunas economías de escala relativamente pequeñas (e.g. Dinamarca y Uruguay, entre otros), las ERNCs alcanzan un 10% del TFC. En general, el alcance del TFC_{ERNCs} es bajo, aún en las economías con mayor generación de este tipo de energías.

Es importante notar que ERs no son sinónimo de ausencia de impactos ambientales, por lo que el impulso de diferentes formas de ERNCs debe considerar las implicaciones ambientales derivadas de las diferentes formas de generación de energía a través de un enfoque de EIA y ACV.

De otra parte, la relación TFC/TES se mantuvo relativamente estable en 70% en el período de estudio. La diferencia entre estos valores corresponde a las pérdidas generadas en los procesos de transformación, diferencias estadísticas y requerimientos del sistema. Una relación TFC/TES de 70% indica que por cada unidad del TFC se requiere producir 1,4 unidades de TES. Como consecuencia, el TES tuvo un incremento del 62% en el período analizado y el TFC un incremento del 59%, por lo que la eficiencia energética tiene un rol fundamental en la búsqueda de un menor costo ambiental del desarrollo y en el logro de una mayor participación de las ERs en las matrices energéticas, como lo plantean Montecinos y Carvajal. (2018).

Conclusiones

- La producción global de ERs casi se duplicó en las últimas tres décadas, pero la composición del TES global no cambió sustancialmente: en 2018, al igual que en 1990, más del 80% del TES global provenía de CFs.

- A nivel mundial, la proporción del TFC_{ERs} se mantuvo relativamente estable entre 1990 y 2018, con un incremento de 0,5 puntos porcentuales, alcanzando un 15,9%.
- Las ERNCs a nivel global pasaron de representar el 0,1% del TFC en 1990, al 1,9% en 2018.
- Con un crecimiento poblacional del 43%, un crecimiento económico del 117%, un incremento del 58% en la productividad del TFC y un aumento del 9% en el TFC per cápita, el crecimiento poblacional y económico tienen un efecto sinérgico en el incremento del TFC y por lo tanto, del TES.
- Un número importante de economías, principalmente en la región IEA África tienen un TFC_{ERs} superior al 70%, proveniente en su mayoría de biomasa y/o energía hidráulica.
- La única economía con un TFC_{ERNCs} superior al 10% es Islandia, alcanzando un valor del 42%. En este país, la producción de energía geotérmica es tradicional.
- Algunas economías de pequeña escala han logrado un TFC_{ERNCs} cercano al 10% incluyendo Dinamarca, Uruguay, El Salvador, Chipre, Grecia, Nueva Zelandia y Portugal.
- En general, las economías con matrices energéticas de menor escala, logran un mayor porcentaje de participación del TFC_{ERNCs} .
- Las ERs generadas a partir de biomasa y energía hidráulica tienen un mayor alcance en el TFC para matrices energéticas de mayor escala, en comparación con las ERNCs.
- Experiencias como la implementación de energía de biomasa en África, demuestran que las ERs conllevan retos ambientales y sociales que no se limitan a emisiones directas de CO_2 , por lo que su implementación debe ser planificada de forma estratégica.
- Más allá del objetivo de reducir emisiones de CO_2 y por lo tanto, de descarbonizar una economía, los impactos ambientales de las ERs asociados a la ocupación del suelo, cambios en los usos del suelo, alteraciones paisajísticas, pérdida de biodiversidad, extracción de materiales y generación de residuos sólidos, entre otros, deben ser seriamente considerados a través de enfoques de EIA y de ACV.
- La relación TFC/TES es del 70%, por lo que resulta indispensable que la migración hacia una matriz energética basada en ERs se realice buscando también incrementar la eficiencia energética de los sistemas.

Referencias

- Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo, Banco Mundial. (2020). Tracking SDG 7. The energy progress report 2020. [En línea]. Disponible en: <https://trackingsdg7.esmap.org/downloads>.
- Banco Mundial. (2020). Base de datos del Banco Mundial. Obtenido de Base de datos del Banco Mundial. [En línea]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2014). Pactos para la igualdad: hacia un futuro sostenible, Lima, CEPAL.

- Dincer, I. (2000). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Science Direct*, 4(2), pp. 157-175. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(99)00011-8).
- Espejo-Marín, C.; Aparicio-Guerrero, A. E. (2020). La Producción de Electricidad con Energía Solar Fotovoltaica en España en el S. XXI. *Revista de Estudios Andaluces*, 39, pp. 81-83. <https://dx.doi.org/10.12795/rea.2020.i39.04>
- Glantz, M.; Wolde-Georgis, T. (2010). Biofuels in Africa: A pathway to development. *International Research Center for Energy and Economic Development*, 43. <http://ssrn.com/abstract=1589101>
- Grupocobra. (2021). Complejo Fotovoltaico Escatron. [En línea]. Disponible en: <https://www.grupocobra.com/proyecto/complejo-fotovoltaico-de-escatron/>.
- Iberdrola. (2021). Planta Fotovoltaica Núñez Balboa. [En línea]. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/nunez-balboa-operativa-iberdrola-pone-marcha-mayor-planta-fotovoltaica-europa>.
- Iberdrola. (2021a). Planta Fotovoltaica de Francisco Pizarro. Disponible en: <https://www.iberdrola.com/conocenos/lineas-negocio/proyectos-emblematicos/planta-fotovoltaica-francisco-pizarro>.
- International Energy Agency (IEA). (2020). IEA Countries and regions. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/countries>.
- IEA. (2020a). Data and statistics. Data tables. Year: 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/world>.
- IEA.; OCDE.; EUROSTAT. (2005). Energy Statistics Manual. pp. 6. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/energy-statistics-manual>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2017). Synergies between renewable energy and energy efficiency, a working paper based on Remap., Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency (IRENA), pp- 11.
- Kumar, A.; Schei, A.; Ahenkorah, R.; Caceres-Rodriguez, J. M.; Devernay, M.; Freitas, D.; Hall, A.; Killingtveit, Z.; Liu. (2011). Hydropower. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Chapter 5. Hydropower [Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Seyboth, K.; Matschoss, P.; Kadner, S.; Zwickel, T.; Eickemeier, P.; Hansen, G.; Schlömer, S.; von Stechow, C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp 562 a 468
- MapChart.net. (2021). Herramienta para la creación de mapas temáticos. [En línea]. Disponible en: <https://mapchart.net>.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). Informe estadístico de energías renovables. Potencia eléctrica acumulada a 2018 (kW). Disponible en: <http://informeestadistico.idae.es/t6.htm>.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020a). Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.
- Montecinos, S.; Carvajal, D. (2018). Energías renovables: escenario actual y perspectivas futuras. La Serena, Chile., pp. 13, 14, Editorial Universidad de la Serena.
- Moomaw, W.; Yamba, F.; Kamimoto, M.; Maurice, L.; Nyboer, J.; Urama, K. T.; Weir, T. (2011). Introduction. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Chapter 1. Renewable Energy and Climate Change. [Edenhofer, O.; Pichs-Madruga, R.; Sokona, Y.; Seyboth, K.; Matschoss, P.; Kadner, S.; Zwickel, T.; Eickemeier, P.; Hansen, G.; Schlömer, S.; von Stechow, C. (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pp. 164, 170
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1991). Consejo Ejecutivo, 89ª reunión, Ginebra, 4 de diciembre de 1991. Comisión de salud y medio ambiente de la OMS. Informe del director general. EB89/23, OMS, pp. 5-6.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2020). OECD data. Primary Energy Supply. [En línea]. Disponible en: <https://data.oecd.org/energy/primary-energy-supply.htm>.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 7: Energía asequible y no contaminante. [En línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Serrano, M.; Margalida, A.; Pérez-García J. M.; Juste, J.; Traba, J.; Valera, F.; Carrete, M.; Aihartza, J.; Real, J.; Mañosa, S.; Flaquer, C.; Garin, I.; Morales, M. B.; Alcalde, J. T.; Arroyo, B.; Sánchez-Zapata J. A.; Blanco, G.; Negro, J. J.; Tella J. L.; Ibañez, J.; Tellería, J. L.; Hiraldo, F.; Donázar, J. A. (2020). Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science*, 370(6522), pp. 1282-1283. DOI: 10.1126/science.abf6509
- Tremblay, A.; Varfalvy, L.; Roehm, Ch.; Garneau, M. (2004). The issue of greenhouse gases from hydroelectric reservoirs: from boreal to tropical regions. *Hydro-Québec Prod. Environ.* 1.
- World Bank (WB); International Finance Corporation (IFC), Multilateral Investment Guarantee Agency (MIGA). (2016). World Bank Group Climate Change Action Plan 2016–2020. World Bank, Washington DC, License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, pp. 33.
- World Wildlife Fund (WWF). (2017). Las energías renovables: motor del desarrollo sostenible. [En línea] [consultado el 21 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.wwf.org.co/?298831/Propuesta-energias-renovables-2030>
- Yang, L.; Lu, F.; Zhou, X.; Wang, X.; Duan, X.; Sun, B. (2014). Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs. *Acta Ecológica Sinica*, 34(4), pp. 204-212. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2013.05.011>