

# **TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO SOSTENIBLE: UN ANÁLISIS INTERSECTORIAL Y DE FACTORES DETERMINANTES**

---

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS  
ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

**Doctorando:**  
**Lucas da Silva Almeida**

**Directores:**  
**José Antonio Camacho Ballesta**  
**Mercedes Rodríguez Molina**

---

**Granada, 2022**



**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**



# UNIVERSIDAD DE GRANADA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS ECONÓMICAS Y  
EMPRESARIALES

Tesis Doctoral

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO SOSTENIBLE: UN ANÁLISIS  
INTERSECTORIAL Y DE FACTORES DETERMINANTES

Doctorando:

Lucas da Silva Almeida

Directores:

José Antonio Camacho Ballesta

Mercedes Rodríguez Molina

Granada, 2022

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Lucas da Silva Almeida  
ISBN: 978-84-1117-280-6  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/74586>

TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y DESARROLLO SOSTENIBLE: UN ANALISIS  
INTERSECTORIAL Y DE FACTORES DETERMINANTES

Tesis doctoral que presenta el doctorando Lucas da Silva Almeida para la obtención del  
grado de Doctor por la Universidad de Granada

Enero, 2022

EL DOCTORANDO

**Lucas da Silva Almeida**

Licenciado en Administración

Máster en Planificación Territorial y Desarrollo Social, por la Universidad Católica do  
Salvador (Brasil).

\*\*\*

LOS DIRECTORES DE LA TESIS

**Prof. Dr. José Antonio Camacho Ballesta**

Profesor Titular del Departamento de Economía Internacional y de España.

Universidad de Granada.

**Profa. Dra. Mercedes Rodríguez Molina**

Profesora Titular del Departamento de Economía Internacional y de España.

Universidad de Granada.



## **AGRADECIMIENTOS**

Desde niño siempre tuve la intención de ayudar al prójimo. En eso le debo mucho a la educación de mis padres. A partir de ese deseo mi formación se ha ido delineando, lo empecé a vislumbrar mejor en el grado, cuando di mis primeros pasos en el mundo académico, con enseñanzas a los compañeros de grado en asignaturas con las que tenían dificultad, además de involucrarme en un proyecto de iniciación científica, que fue donde pude adentrarme en el mundo de la investigación.

Ese camino en el grado conllevó a mi ingreso en el Máster en Planificación Territorial y Desarrollo Social, y pasado unos años, el ingreso en el Doctorado en Ciencias Económicas y Empresariales. En este trayecto del mundo académico me encontré, como individuo y como persona, capaz aportar a la sociedad una contribución real, siendo la gran motivación para desarrollar la tesis y los trabajos asociados a ella.

Sin embargo, la elección por el tema de la tesis no ha sido tarea tan sencilla. La intención de investigar sobre el Desarrollo Sostenible siempre estuvo presente, pero como es sabido, el tema es bastante amplio y complejo y hemos constatado que todavía está en formación. Entonces, decidirme centrarse en la transición energética, digo en la segunda persona del plural, obviamente, porque una tesis no se construye sólo, es donde surge el profesor José Antonio Camacho Ballesta en ese proceso, que siempre ha clarificado mis ideas y dado el norte para el desarrollo del trabajo, e incluso, muchas veces, me ha abierto la puerta de su casa para dar soporte durante este trayecto, gracias por el gran apoyo profesor. Además de la profesora Mercedes Rodríguez Molina, que se ha agregado a este apoyo, haciendo mucho más sencillo el desarrollo de este trabajo por mi parte.

Salir de mi país (Brasil), dejando toda la familia allí, y venir a España para el desarrollo del doctorado fue un gran desafío para mí, pero ha sido también lo que más me ha aportado fuerza para seguir y hacerme recordar siempre el propósito del desarrollo del trabajo doctoral. Por eso, agradezco a todos mis familiares el apoyo y comprensión de mi ausencia durante ese período, en especial a mis padres Lília y Weliton, mi hermana Aline y mi hijo Pietro. Además, no podría dejar de mencionar el apoyo de mis abuelos, tíos y tías, primos y primas, sin citar nombres, porque la familia es inmensa, aunque la cercanía es general.

Agradezco a todos mis amigos de Brasil, compañeros del Centro Universitario Maria Milza, que siempre estuvieron cobrando por la finalización del doctorado para que yo pudiera volver, ese cariño y esa energía es para mí muy importante. Pero el tiempo ha sido largo aquí en España, casi cuatro años, y me posibilitaron construir grandes amistades. Agradezco a los amigos de la Residencia Emperador Carlos V, por la convivencia en más de dos años, a la familia IDR (Instituto de Desarrollo Regional de la UGR), llamo familia porque con ellos me siento realmente en familia, donde pasé la mayor parte de mi tiempo en España, y que he compartido experiencias maravillosas, profesionales y de vida, muchas gracias a los amigos Álvaro, Bárbara, Bladimir, a los Javi, Jesús, Laura, Marina Checa, Soraya, también a las profesoras Marina y Yolanda y a Alberto. Mención especial a mi compañera Bárbara, por todo su apoyo, sobre todo, en la fase final de la tesis.

Para no incurrir en el error de faltar con alguien, mis más sinceros agradecimientos a todos los que contribuyeron directa e indirectamente con la realización de este trabajo. Gratitud a todos por haberme ayudado a disfrutar, crecer y aprender en este trayecto. Por último, pero no menos importante, agradezco a DIOS, que siempre me ha iluminado, direccionándome en el camino del bien.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>SIGLAS O ABREVIATURAS EMPLEADAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTADO DE TABLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>15</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>19</b>
DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS.....	22
METODOLOGÍAS EMPLEADAS.....	22
PRINCIPALES APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN .....	26
ESTRUCTURA DE LA TESIS DOCTORAL .....	28
<b>PARTE I. MARCOS CONCEPTUAL, NORMATIVO Y METODOLÓGICO EN TORNO AL DESARROLLO SOSTENIBLE Y LA ENERGÍA .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 1. DESARROLLO SOSTENIBLE Y EL PAPEL DE LA ENERGÍA</b>	<b>31</b>
1.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO.....	31
1.2. ECOSOCIOECONOMÍA Y ECODESARROLLO.....	33
1.3. DESARROLLO SOSTENIBLE .....	35
1.4. FORMACIÓN HISTÓRICA Y CONCEPTUAL EN TORNO A LA ENERGÍA .....	41
1.4.1. Eficiencia e intensidad energética: diferencias y similitudes.....	44
1.4.2. Dependencia, seguridad y pobreza energética .....	49
1.4.3. Fuentes Energéticas.....	51
<b>CAPÍTULO 2. MARCO NORMATIVO DEL SISTEMA ENERGÉTICO EN LA UNIÓN EUROPEA Y BRASIL .....</b>	<b>57</b>
2.1. EL SISTEMA ENERGÉTICO DE LA UNIÓN EUROPEA Y SUS NORMATIVAS.....	61
2.2. EL SISTEMA ENERGÉTICO DE BRASIL Y SUS NORMATIVAS .....	67
2.2.1. Revisión de estudios sobre energía en Brasil.....	69
2.2.2. Estructuración y marco regulatorio institucional del sistema energético brasileño .....	70
2.2.3. Programas y reglamentación del sistema energético brasileño.....	74
2.2.4. El sistema eléctrico brasileño.....	75
2.2.5. Revisión de los avances para la electricidad en Brasil.....	76
<b>CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>79</b>
3.1. EL MARCO INPUT-OUTPUT: ORÍGENES Y APLICACIONES RECIENTES .....	79



3.2. INPUT-OUTPUT Y ENERGÍA: DE LA CONTABILIDAD ENERGÉTICA A LOS MODELOS MULTIREGIONALES .....	83
<b>PARTE II. EVIDENCIAS Y ANÁLISIS EMPÍRICOS .....</b>	<b>91</b>
<b>CAPÍTULO 4. DOMESTIC VERSUS FOREIGN ENERGY USE: AN ANALYSIS FOR FOUR EUROPEAN COUNTRIES .....</b>	<b>93</b>
4.1. INTRODUCTION .....	94
4.2. ENERGY USE AND ENERGY ACCOUNTING: AN OVERVIEW .....	95
4.3. DATA AND METHODOLOGY .....	100
4.3.1. Data .....	100
4.3.2. Methodology .....	101
4.4. RESULTS AND DISCUSSION .....	106
4.4.1. Direct use, indirect use and total energy intensity .....	106
4.4.2. Direct energy use and its domestic and foreign components .....	108
4.4.3. Total energy use and its domestic and foreign components .....	111
4.5. CONCLUSIONS .....	114
<b>CAPÍTULO 5. DOMESTIC VERSUS FOREIGN ORIGIN OF TOTAL ENERGY USE: AN ANALYSIS FOR BRAZIL .....</b>	<b>119</b>
5.1. INTRODUCTION .....	120
5.2. ENERGY USE IN BRAZIL: A REVIEW OF THE LITERATURE .....	124
5.3. DATA AND METHODOLOGY .....	128
5.3.1. Data .....	128
5.3.2. Methodology .....	129
5.4. RESULTS AND DISCUSSION .....	133
5.5. CONCLUSIONS .....	138
APPENDIX A .....	140
<b>CAPÍTULO 6. DETERMINANTES DEL CONSUMO DE ENERGÍA RENOVABLES EN LA UNIÓN EUROPEA: UN ANÁLISIS ENTRE UE-15 Y LOS 13 NUEVOS PAÍSES .....</b>	<b>141</b>
6.1. INTRODUCCIÓN .....	142
6.2. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE ANALIZAN LOS DETERMINANTES DEL CONSUMO DE ENERGÍA RENOVABLE .....	145
6.3. DATOS Y METODOLOGÍA .....	150
6.3.1. Datos .....	150
6.3.2. Metodología .....	154
6.4. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	156
6.5. CONCLUSIONES .....	162
<b>CAPÍTULO 7. CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>165</b>

7.1. CONTRIBUCIONES DE LA TESIS .....	167
7.2. LIMITACIONES DE LA TESIS.....	172
7.3. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	173
REFERENCIAS.....	175

## **SIGLAS O ABREVIATURAS EMPLEADAS**

AC – Apertura comercial

ACER – Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía

ACP – Análisis de Componente Principales

CH<sub>4</sub> – Metano

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

EERR – Energías renovables

ENA - *Ecological Network Analysis*

FGLS – Mínimos Generalizados Factibles (en español)

GEI – Gases del efecto invernadero

GNL – Gas natural licuado

IDH – Índice de desarrollo humano

IE – Índice de educación

IEA – *International Energy Agency*

IED – Inversión extranjera directa

IEV – Índice de esperanza de vida

IG – Índice de gobernanza

IO – *Input-output*

IOA – *Input-output analysis*

IRENA – *International Renewable Energy Agency*

LCA – *Life cycle assessment*

LGN – Líquidos de gas natural

MME – Ministerio de Minas y Energía

MRIO – Multirregional *Input-Output*

NDC – *Nationally Determined Contributions*

OCDE – Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

ODM – Objetivos de Desarrollo del Milenio

ODS – Objetivos de Desarrollo Sostenible

ONU – Organización de las Naciones Unidas

OLS – Mínimos cuadrados ordinarios (en español)

PCSE – Panel con Errores Estándar Corregidos (en español)

PIB – Producto interior bruto

TJ – Terajulios

UE – Unión Europea

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 – Estructura de investigación de la tesis .....	26
Figura 1.1 – Eje temático de la formación del concepto del Desarrollo Sostenible.....	36
Figura 2.1 – Evolución de la producción de energía (TJ) en el mundo por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018.....	58
Figura 2.2 – Evolución de la producción de energía (TJ) en la Unión Europea (UE-28) por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018.....	62
Figura 2.3 – Evolución de la producción de energía (TJ) en Brasil por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018.....	68
Figura 2.4 – Estructura organizacional del sector energético brasileño .....	71
Figura 4.1 – Direct and indirect energy use and total energy intensity in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015.....	107
Figura 4.2 – Direct energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015 .....	110
Figura 4.3 – Total energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015 .....	112
Figura 5.1 – Evolution of production, exports and imports of energy in Brazil, 1995-2019 .....	134
Figura 5.2 – Evolution of total energy use in Brazil, 1995-2019 .....	134
Figura 5.3 – Evolution of domestic and foreign energy use in Brazil, 1995-2015 .....	136
Figura 5.4 – Evolution of domestic and foreign energy use by industry in Brazil, 1995-2015 .....	136
Figura 6.1 – Países de la Unión Europea identificados entre el grupo UE-15 y los 13 últimos países miembros incorporados – 2018.....	151
Figura 6.2 – Evolución de la participación del consumo de energía renovable en la Unión Europea – 1995-2018 .....	156
Figura 6.3 – Relación entre la participación del consumo de energía renovable y el índice de desarrollo humano en los países de la Unión Europea – 2018 .....	157

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1 – Marcos históricos mundiales para el Desarrollo Sostenible.....	38
Tabla 1.2 – Órganos internacionales relacionados al Desarrollo Sostenible.....	41
Tabla 2.1 – Paquete del proceso legislativo de la Comisión Europea hacia la energía limpia en los países de la Unión Europea.....	66
Tabla 3.1 – Principales bases de datos MRIO.....	82
Tabla 3.2 – Estructura de la tabla MRIO de uso energético.....	86
Tabla 3.3 – Cuadro esquemático de la metodología desarrollada.....	90
Tabla 4.1 – Empirical studies on energy accounting.....	98
Tabla 4.2 – Main MRIO databases.....	101
Tabla 4.3 – Structure of the energy use MRIO table.....	103
Tabla 4.4 – Main changes in total energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain, 1995-2015.....	114
Tabla 5.1 – Overview of measures proposed to reduce energy-related emissions in Brazil.....	123
Tabla 5.2 – Studies on energy use in Brazil.....	126
Tabla 5.3 – Structure of the energy use MRIO table.....	130
Tabla 5.4 – Schematic table of the methodology.....	133
Tabla 6.1 – Resumen de la literatura sobre los determinantes del consumo de energía renovable.....	146
Tabla 6.2 – Estadísticas descriptivas.....	158
Tabla 6.3 – Matriz de correlación.....	159
Tabla 6.4 – Análisis de regresión para la variable dependiente REC%.....	160



## RESUMEN

El desarrollo sostenible es un tema cada vez más discutido en el mundo. La preocupación ambiental traducida en el cambio climático es uno de los motivos por los cuales dicha cuestión está adquiriendo cada vez mayor relevancia. Delante de esa preocupación, la transición energética surge como la principal responsable para solucionar, o al menos frenar esa situación, considerando que el sector energético es el mayor responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

De esta manera, considerando la relación entre medio ambiente, economía y sociedad, la propuesta del desarrollo sostenible parece ser más que necesaria para lograr una relación de equilibrio entre estos principales agentes, satisfaciendo las necesidades actuales sin comprometer a la de las generaciones futuras. En esta línea, los principales órganos mundiales han implementado medidas que convergen hacia esta búsqueda, y aunque se haya notado un avance, el mundo está muy lejos de alcanzar la situación ideal.

En el que respecta a la energía y la transición energética, el acuerdo de París es el principal acuerdo a nivel global legalmente vinculante sobre el cambio climático, en el que los países se comprometen a reducir sus emisiones de GEI, basándose principalmente en estimular el uso responsable y de fuentes renovables de energía. Pero ese proceso de transición hacia las energías limpias ha resultado ser difícil, igual que la cantidad de energía utilizada, que sigue creciendo cada vez más.

Es por todo esto, que en esta tesis se pretende analizar el uso energético total y los factores económicos y sociales que lo explican. Primero, estimando el uso total de energía en los sistemas productivos a través de la aplicación de un modelo input-output; y segundo, evaluando los factores determinantes del consumo de energía renovable considerando aspectos económicos y sociales, por medio de la aplicación de un modelo de panel de datos.

Para llevar a cabo el objetivo antes mencionado, esta tesis se divide en dos partes. La primera parte titulada “*Marcos conceptual, normativo y metodológico en torno al desarrollo sostenible y la energía*” está formada por tres capítulos de contenido teórico-conceptual y la propuesta metodológica central.



En el Capítulo 1 “*Desarrollo sostenible y el papel de la energía*” se presenta la evolución sobre la formación del concepto de desarrollo sostenible, desde la diferenciación entre crecimiento económico y desarrollo, pasando por conceptos intermedios anteriores al mismo, como ecosocioeconomía y codesarrollo hasta llegar a su definición, expuesto por primera vez en el Informe de Brundtland (1987). Además, se explican varios conceptos asociados a la energía a lo largo de la historia.

En el Capítulo 2 “*Marco normativo del sistema energético en la Unión Europea y Brasil*” se presenta una contextualización del sistema energético mundial y su regulación, para entonces, presentar la posición de la Unión Europea y Brasil, los territorios utilizados como objeto de estudio en los trabajos de la tesis.

El Capítulo 3 “*Marco metodológico*”, como el propio título indica, presenta la propuesta metodológica central de la tesis, que está basada en el modelo *input-output* de demanda propuesto por Leontief (1936). Por ello, se presentan la formación del método y sus antecedentes, hasta llegar a los avances del modelo multirregional *input-output* (MRIO), aplicado en los trabajos de la tesis.

La segunda parte “*Evidencias y análisis empíricos*”, reúne los tres trabajos desarrollados para lograr los objetivos propuestos en tres capítulos diferentes.

El Capítulo 4 “*Domestic versus foreign energy use: An analysis for four European countries*”, es un estudio que analiza y compara el uso energético total de cuatro países europeos (España, Hungría, Italia y República Checa), que poseen contextualización y estructuración distintas del sector energético. Para ello, se considera la estructura productiva de estos países y las relaciones intersectoriales por medio del modelo MRIO, que permite distinguir el uso de energía doméstica y extranjera en los cuatro países estudiados, analizar sus modelos de uso energético y también su intensidad energética.

El Capítulo 5 “*Domestic versus foreign origin of total energy use: An analysis for Brazil*”, por su parte, recoge un estudio de caso sobre Brasil, donde se analiza el patrón de uso energético del país considerando el entorno mundial a través del modelo MRIO. Así, se presentan tanto el origen y usos, directo e indirecto, de energía doméstica y extranjera, como los sectores más intensivos en energía en el país.

El Capítulo 6 “*Determinantes del consumo de energía renovables en la Unión Europea: Un análisis entre UE-15 y los 13 nuevos países*”, para complementar los estudios anteriores, hace un análisis de los factores determinantes del consumo de energía

renovable, considerando factores económicos y sociales, para verificar cuales son los principales contribuyentes (o no) de la transición energética dentro de los países de la Unión Europea.

Finalmente, la tesis expone las principales conclusiones obtenidas mediante los distintos análisis realizados, a modo de responder las preguntas planteadas y alcanzar los objetivos propuestos.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, una de las principales preocupaciones del mundo es el cambio climático, siendo las emisiones de los gases del efecto invernadero (GEI) provenientes de las acciones humanas, las grandes responsables de dicho fenómeno (United Nations, 2021a; WCED, 1987). En este contexto, el modo de producción y consumo de energía es lo que más aporta al aumento de esas emisiones, representando a un 76% en 2018 (Climate Watch, 2021; Ge et al., 2020).

Antes de adentrarnos específicamente en el tema del cambio climático y el de uso energético en el mundo, es necesario comprender el porqué de esa situación y el comportamiento que llevó a la misma. El crecimiento mundial en términos poblacionales se ha incrementado mucho a lo largo de la historia. En el año 10.000 a.C. la población mundial era de apenas 2,43 millones de personas. Fueron necesarios más de 11.800 años, para que, entre los años de 1.800 y 1.850 d.C. el mundo alcanzara la cifra de 1.000 millones de personas (PBL, 2020; Roser et al., 2019). Pasado este período, sólo en los últimos 200 años, la población mundial alcanzó en 2021 más de 7.800 millones de personas (PRB, 2021).

Asociado a todo ese crecimiento poblacional que el mundo ha experimentado, especialmente en los últimos 200 años, surgen una serie de necesidades, que antes siquiera habían sido experimentadas, en ámbitos sociales y económicos, cambiando drásticamente el modo de vida de la sociedad, y que han implementado la sobrecarga del medio ambiente. Ese período ha estado marcado por las revoluciones industriales, que aportaron significativos avances tecnológicos en sus períodos y consecuentes transformaciones socioeconómicas. La primera revolución industrial estaba caracterizada por el cambio en el proceso de manufactura, con la transición de la producción artesanal a las máquinas, y tuvo lugar entre finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, siendo efectivamente percibida entre las décadas de los años de 1830 y 1840 (Hobsbawm, 2010; Inikori, 2002). La segunda revolución industrial comenzó en la segunda mitad del siglo XIX extendiéndose hasta la segunda guerra mundial. Algunos historiadores la consideran como una fase de mejora y perfeccionamiento en relación a la primera revolución, no habiendo una clara ruptura en términos socio tecnológicos entre las dos (Anstis, 1997; Hobsbawm, 1999).

La tercera revolución industrial, considerada desde el período posterior a la segunda guerra hasta los años 90, es también conocida como la revolución digital, estuvo marcada por el desarrollo de los semiconductores y de las computadoras, culminando con la creación de internet, hechos responsables de transformar la sociedad, entre otros factores, en una economía global. Ahora se habla de la cuarta revolución industrial, caracterizada por una fusión de tecnologías que está difuminando las líneas entre las esferas física, digital y biológica, diferenciándose de la revolución anterior por la velocidad de los avances, y el alcance e impacto de los sistemas (Schwab, 2017).

En todas las revoluciones antes mencionadas, el aporte energético ha sido esencial. La primera revolución estuvo marcada por la utilización de la energía del agua, con los molinos, y el vapor para mecanizar la producción, con el uso masivo del carbón. La segunda fue por el petróleo y la energía eléctrica para crear la producción en masa. En la tercera se implementó la energía nuclear y el gas natural. Ahora, la cuarta revolución se experimenta la transición a la energía verde, con fuentes de energía renovables (Prisecaru, 2016). En ese proceso histórico atravesado por las revoluciones industriales, se pasa a entender mejor como se fueron diferenciando las ideas de crecimiento y desarrollo, hasta constituirse el concepto de desarrollo sostenible, ligado la preocupación por el cambio climático y ocasionado, sobre todo, por el uso energético, donde actualmente se busca una sociedad más cohesionada y energéticamente eficiente que frene el aumento del consumo energético mundial (Creutzig et al., 2015; Weisz & Steinberger, 2010).

Hablar sobre desarrollo sostenible en el período actual se hace extremadamente importante y necesario, pero no es tarea fácil, por el contrario, además del hecho de haber una distorsión sobre el concepto del tema, la condición *sine qua non* para su enfoque, es porque el mundo clama por formas de vida más sostenibles y, debido a eso, hay en esta cuestión una responsabilidad social y ambiental muy grande, lo que se permitiría, a las generaciones futuras, a través de esta nueva forma de convivencia, disfrutar de lo que la naturaleza ofrece, y como consecuencia, garantizar la calidad de vida (J. D. Sachs, 2015; Veiga, 2006, 2015; WCED, 1987).

El término desarrollo sostenible se puede decir que es un término reciente para la ciencia, ya que surge precisamente en la década de los 80 (IUCN et al., 1980). Antes de eso, entre finales de la década de los 60 y principios de la década de 1970, en el siglo XX, aparece el concepto de ecodesarrollo que se consolidó en la reunión de las Naciones

Unidas en Estocolmo (Suecia) en 1972, conocida como Conferencia de Estocolmo (United Nations, 1972).

Más adelante, precisamente en 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMDA), entonces presidida por la Primera Ministra de Noruega, Gro Harlem Brundtland, adopta el concepto de desarrollo sostenible en su informe “Nuestro Futuro Común” (*Our Common Future*), también conocido como Informe Brundtland (WCED, 1987). El concepto fue definitivamente incorporado como un principio durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo, la Cumbre de la Tierra, de 1992 (Eco-92), que tuvo lugar en Río de Janeiro, Brasil, generando como uno de los principales resultados la Agenda 21, conocido programa de acción para lograr el desarrollo sostenible en el siglo XXI (United Nations, 1992).

En 2000, se establecen en la Conferencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (United Nations, 2000). La última en 2015, reunió a más de 150 jefes de estado y de gobierno en Nueva York, en la conocida Cumbre del Desarrollo Sostenible. Allí se aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, y se establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), alineados a los ODM, y que se esperan alcanzar en 2030 (United Nations, 2015b). Este mismo año, se celebró la Conferencia de París sobre el Cambio Climático, conocida también como COP21, donde se firmó el Acuerdo de París, estableciendo que los países deberían comunicar sus contribuciones a nivel nacional (NDC<sup>1</sup>) para frenar el cambio climático (UNFCCC, 2015).

Dentro de esta perspectiva de preocupación y establecimiento de objetivos, uno de los factores indispensables para alcanzar los ODS es la forma de generación y uso de energía en el mundo. Dado que la energía es, con diferencia, el principal contribuyente al cambio climático y responsable de la mayor parte de las emisiones globales de GEI (UNDP, 2021; United Nations, 2021b). Por lo tanto, si no cambia la forma en que se produce energía en el mundo las consecuencias serán negativas, y aunque haya habido alguna mejora en los últimos años, están lejos de ser suficientes para cambiar la realidad actual. Además ha habido un freno en los avances en el año de 2020, ocasionado por la pandemia mundial del COVID-19, y que incluso ha revertido parte del progreso que se

---

<sup>1</sup> *Nationally Determined Contributions.*

había logrado (World Bank, 2021). Pese a que hubo una reducción temporal en las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), debido a la desaceleración económica en la pandemia (Cazcarro et al., 2022), éstas volvieron a subir en los primeros meses de 2021 a niveles de 2019 (WMO et al., 2021).

Las constataciones anteriores son compartidas por las principales organizaciones mundiales que tratan sobre el tema, con la publicación del informe *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*, que reúne al Banco Mundial, la Agencia Internacional de Energía (IEA<sup>2</sup>), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA<sup>3</sup>), la ONU y la Organización Mundial de la Salud (WHO<sup>4</sup>) (IEA et al., 2021).

De acuerdo con lo anterior, existen una serie de estudios publicados en las últimas dos décadas relacionados con el proceso de transición energética y la búsqueda de una forma de generación de energía más limpia que consideran diferentes escalas de análisis, (Akizu-Gardoki et al., 2021; Ćetković & Buzogány, 2016; Chilvers & Longhurst, 2016; Fan et al., 2021; Gómez-Calvet & Martínez-Duart, 2019; Han et al., 2017; Herrera & Wilkinson, 2021; Leach, 1992; Lilliestam et al., 2019; Murshed et al., 2021; Pellerin-carlin et al., 2017; Schaeffer et al., 2019). Además, de examinarlos impactos de este proceso en los aspectos sociales, culturales, ambientales, políticas y económicos (Akizu-Gardoki et al., 2018; Bouzarovski et al., 2017; Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017; Bridge et al., 2013; Chandrashekeran, 2016; Cherp et al., 2018; Frolova et al., 2019; Geels et al., 2018; Isoaho & Karhunmaa, 2019; C. A. Miller et al., 2013; Verbong & Geels, 2007).

La elección del tema para la presente tesis se debe al interés en estudiar formas de desarrollo sostenible para sistema productivo en ámbito de la energía en diferentes territorios, como forma de contribuir a otros estudios, además de fomentar la construcción de nuevos conocimientos, presentar propuestas para un sistema productivo energético más sostenible y que son unidos por las cadenas globales de valor, y así, aportar sugerencias de relaciones de beneficio recíproco.

---

<sup>2</sup> *International Energy Agency.*

<sup>3</sup> *International Renewable Energy Agency.*

<sup>4</sup> *World Health Organization.*

## DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

A partir de la contextualización anterior, en esta tesis se investigó el siguiente problema de cuestión: ¿Qué aspectos determinan el uso energético en diferentes grupos de países?

Para lo anterior, el objetivo general de esta investigación fue analizar el uso energético total y los factores económicos y sociales que lo explican. Derivado de ese objetivo general, para orientar su alcance, se establecieron dos cuestiones orientadoras y sus respectivas respuestas como objetivos específicos:

- Cuestión orientadora 1 - ¿Cuál es el uso total de energía en los sistemas productivos estudiados, teniendo en cuenta la procedencia de los inputs energéticos?
- Objetivo específico 1 - Estimar el uso total de energía en los sistemas productivos diferenciando entre el origen y el destino doméstico-exterior.
- Cuestión orientadora 2 - ¿Cuáles son los factores determinantes del consumo de energía renovable?
- Objetivo específico 2 - Evaluar los factores determinantes y la existencia de diferencias en el consumo de energía renovable.

## METODOLOGÍAS EMPLEADAS

El período de estudio comprendió una escala de tiempo de aproximadamente 20 años, iniciando a partir del año de 1995 hasta el período actual<sup>5</sup>. La elección de esta escala temporal permitió analizar desde una perspectiva histórica, donde se ha podido evaluar la curva de experiencia del uso de energía en los sistemas productivos de los países en estudio y, al mismo tiempo, poder trazar perspectivas futuras identificando la estructura intersectorial y relación entre las variables en los países estudiados.

El principal método que se utiliza para el desarrollo de esta investigación parte del deductivo, esto es, considera casos en general (ley general), y parte para conclusiones

---

<sup>5</sup> Los últimos datos disponibles en las bases de datos utilizadas y descritas a lo largo de ese trabajo fueron del año 2015 para los estudios que utilizaron la metodología input-output, y del año 2018 para el estudio que empleó la metodología de panel de datos.



particulares, o sea, en este trabajo se consideraron los sistemas productivos a nivel global y se buscó las especificidades de los sistemas en cada país (un país latinoamericano (Brasil) y varios europeos), para entonces ser posible proponer acciones de sostenibilidad considerando la realidad de cada uno.

En cuanto a los objetivos, esta investigación se caracteriza como explicativa, en este sentido, el diseño que dirigió el desarrollo de esta investigación fue el modo de estudio *ex post facto*, teniendo en cuenta variables inherentes a los sistemas de producción en estudio, que permitieron explicar su influencia en el desarrollo sostenible en los países donde se encuentran insertados.

En cuanto a la naturaleza, se utilizó análisis de informaciones cuantitativas por medio de herramientas metodológicas de análisis, el enfoque cuantitativo en esta investigación giró en torno a los datos numéricos y estadísticos a respecto de los objetos de estudio y las temáticas propuestas, permitió así, su tabulación y construcción gráfica de imágenes, lo que permitió hacer una lectura más precisa de estos datos, pasando entonces a configurarse como información.

Como parte del recorrido metodológico se destacaron las fuentes electrónicas e impresas, a ejemplo de bibliografía, como libros, tesis y disertaciones, artículos científicos, revistas, informes, entre otros, fomentando así la consulta bibliográfica y el estado del arte de gran relevancia para el desarrollo del trabajo. Sobre todo, las bases de datos electrónicas para la búsqueda específica de revisión de artículos, disertaciones y tesis, que tienen una relación directa con el estudio, considerando las publicaciones periódicas más impactantes y los estudios más actuales.

Como fuentes se emplearon datos oficiales de órganos como, el Banco Mundial, la IEA, la IRENA, la Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT), los institutos de estadística oficiales de los países en estudio, los Ministerios de cada país responsables de la energía, y sobre todo de la base de datos multirregional Input-Output “EORA” llevada a cabo por una empresa australiana con sede en Sídney llamada *KGM & Associates*, y formada por economistas de investigación especializados en análisis de la cadena de suministro global.

Entre los instrumentos de investigación utilizados para dar cuenta de los objetivos propuestos, uno de ellos, fue el Modelo Multirregional Input Output (MRIO), donde fue posible realizar el levantamiento de datos de las entradas y salidas de los usos energéticos

en los países en estudio, por medio de la aplicación de un vector energético. Además, se utilizó de modelos econométricos de datos en panel, a partir de variables económicas y sociales, que influyen sobre el consumo de energías renovables, con uso de tres modelos distintos robustos. El modelo más sencillo utilizado fue el de Mínimos Cuadrados Ordinarios, empleando la técnica por efectos fijos, después de realización de la prueba de Hausman (Hausman, 1978). Los otros dos fueron modelos robustos para corregir problemas de autocorrelación, heterocedasticidad y correlación contemporánea, siendo ellos los modelos de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles y Errores Estándar Corregidos para Panel (Beck, 2001; Beck & Katz, 1995). La estimación de los tres modelos permitió un comparativo para la construcción de un análisis más precisa y completa.

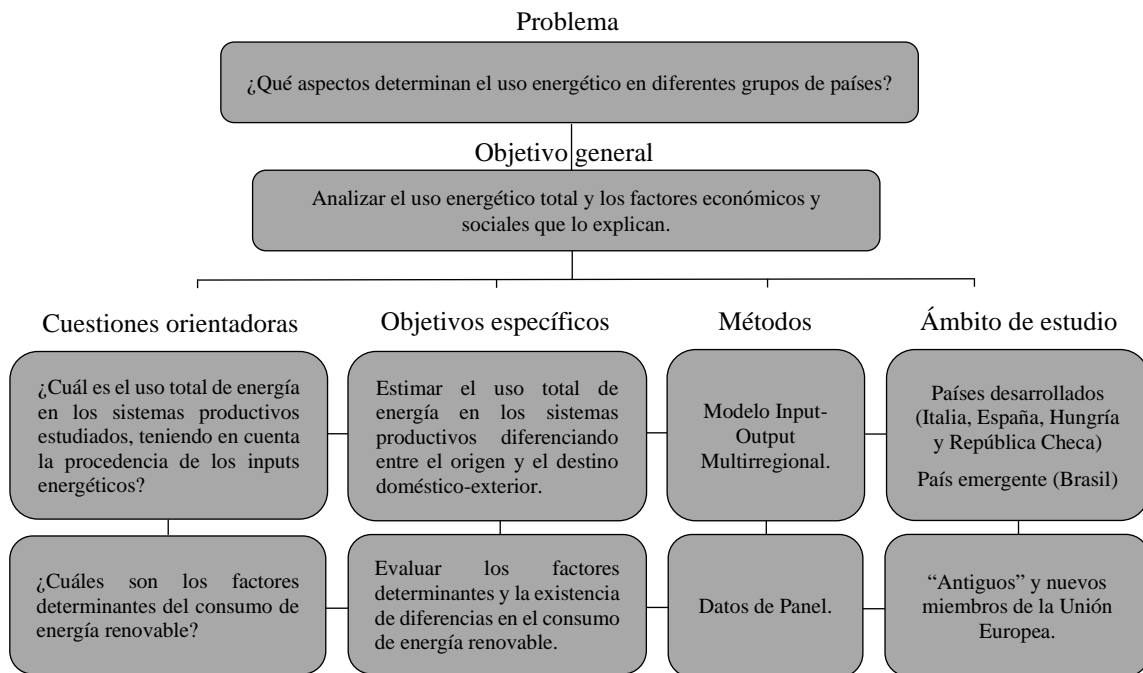
Con respecto al universo de investigación, se estudió específicamente un país latinoamericano (Brasil) y varios países europeos<sup>6</sup>, estos últimos analizados en su conjunto y en dos grupos distintos. Más concretamente se estudió las relaciones intersectoriales del uso energético en los países objeto de estudio, distinguiendo entre ellos y resto del mundo, además del estudio de factores determinantes para el consumo de fuentes de energía renovables para los países de la Unión Europea (UE) en un comparativo del grupo de países completo y la división de dos subgrupos dentro del bloque. En general, las investigaciones consideraron fuentes de datos de organismos oficiales internacionales y de los países, permitiendo así una comprensión general de los sistemas de producción del uso energético y del camino para un sistema energético más limpio hacia al desarrollo sostenible.

La Figura 1 resume la estructura de investigación de la tesis, planteada inicialmente por el problema de la investigación, sus cuestiones orientadoras, objetivos, y métodos empleados para su desarrollo.

---

<sup>6</sup> Los 28 países que componían la Unión Europea en los años estudiados.

Figura 1 – Estructura de investigación de la tesis



Fuente: Elaboración propia.

## PRINCIPALES APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

En las tres publicaciones reunidas como resultado de ese trabajo de investigación que forman la tesis, son aportadas contribuciones novedosas, desde a la literatura de las áreas de estudio, hasta contribuciones en el campo social y para los representantes políticos de los territorios estudiados. En resumen, las publicaciones hacen dos grandes aportaciones, la primera es a respecto de la aplicación metodológica con el modelo MRIO, que considera el entorno global para identificar el uso total de energía y el su patrón de uso. La segunda es a respecto de la utilización de variables económicas y sociales para evaluar los factores determinantes del consumo de energía renovable en un modelo de panel de datos.

El primer de los estudios, "*Domestic versus foreign energy use: an analysis for four European countries*", parte de la idea de que para evaluar adecuadamente las políticas energéticas y establecer objetivos claros, un paso preliminar clave es conocer los patrones reales de uso de energía. En esta línea, el objetivo del estudio fue estimar la evolución del uso total de energía durante el período 1995-2015 en cuatro países de la UE: República Checa, Hungría, Italia y España a través de la estimación de un modelo

MRIO. La contribución del trabajo es doble. En primer lugar, se estima el uso total de energía distinguiendo entre uso doméstico y uso extranjero. A diferencia de estudios previos, se diferencia si la energía total utilizada se produce en el país o en el extranjero. En segundo lugar, el estudio se centra en cuatro países representativos de dos patrones energéticos diferentes que apenas han sido analizados (Frolova et al., 2019). Así, por una parte, se consideran dos países del sur de Europa, Italia y España, caracterizados por ser importadores netos de energía en comparación con sus homólogos del norte de Europa (Frolova et al., 2015a; Gales et al., 2007), y, por otra parte, dos países poscomunistas de Europa del Este, la República Checa y Hungría, caracterizados por ser usuarios intensivos de energía que tenían una gran dependencia del suministro de energía de Rusia (Bouzarovski, 2009; Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017; Cornillie & Fankhauser, 2004).

El segundo estudio, “*Domestic versus foreign origin of total energy use: an analysis for Brazil*”, estima el uso total de energía a nivel de industrias diferenciando entre el origen nacional y extranjero de la energía utilizada en Brasil. Los resultados del análisis muestran la existencia de diferentes patrones de uso de energía entre las industrias brasileñas. Por una parte, hay industrias de alto consumo energético que dependen principalmente de la energía producida en el país. Por otra parte, hay algunas industrias que dependen cada vez más de la energía producida en el extranjero. Estos resultados pueden ser útiles para la formulación de políticas energéticas nacionales. Pueden servir de base para la regulación del uso doméstico de la energía y para los ajustes en la estructura del comercio internacional. Dada la estrecha relación entre el uso de energía y las emisiones de GEI, estos resultados también pueden ayudar a diseñar mejor las medidas destinadas a reducir las emisiones relacionadas con la energía.

Finalmente, el estudio “*Determinantes del consumo de energías renovables en la unión europea: un análisis entre UE-15 y los 13 nuevos países*” examina los principales factores impulsores de la participación del consumo de energía renovable en la UE durante el período 1995-2018, mediante la estimación de un modelo de Panel de Errores Estándar Corregidos. La contribución del estudio a la literatura existente ocurre de dos formas principales. En primer lugar, se examina el impacto de los factores económicos y sociales. Una gran parte de la literatura sobre los factores impulsores del consumo de energía renovable incluyen variables económicas. Sin embargo, hay una falta de evidencia sobre el impacto de los factores sociales, especialmente en los países de altos

ingresos. Entre los factores que afectan la adopción de las energías renovables podemos destacar las condiciones políticas y la gobernanza, ya que afectan directamente al apoyo público a las energías renovables. Por esta razón, dentro del grupo de factores sociales, además de los índices sobre esperanza de vida y educación, el estudio incluye un índice de gobernanza, construido mediante de la combinación de seis indicadores diferentes. En segundo lugar, el estudio llevó a cabo el análisis a nivel de la UE, y considerando la división de dos subgrupos dentro del bloque, con el fin de identificar la existencia de características diferenciales en la UE. Muchos de los factores impulsores del despliegue de la energía renovable dependen de los contextos nacionales. En particular, la demografía y las características socioeconómicas dan forma al ritmo y la naturaleza del consumo de energía renovable. Por lo tanto, se puede esperar que un mismo factor tenga un efecto diferente dependiendo de la región o país examinado.

## ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis está estructurada con base en la configuración del compendio de publicaciones, se estructura en cuatro bloques principales, la introducción, dos grandes partes divididas en seis capítulos, y las consideraciones finales. En la introducción se presenta la contextualización del tema de la tesis, su justificación, el problema de investigación, objetivos planteados, resumen de las metodologías utilizadas y resumen de la estructura de la tesis. La parte I contempla los marcos conceptuales, históricos, normativos y metodológicos a respecto de los temas trabajados en la tesis. La parte II contempla el planteamiento de los métodos empíricos y resultados alcanzados a partir de la aplicación de ellos. Finalmente se presentan las consideraciones finales, con las implicaciones, contribuciones y limitaciones del trabajo.

---

***PARTE I. MARCOS  
CONCEPTUAL, NORMATIVO Y  
METOLÒGICO EN TORNO AL  
DESARROLLO SOSTENIBLE Y  
LA ENERGIA***

---



## **CAPÍTULO 1. DESARROLLO SOSTENIBLE Y EL PAPEL DE LA ENERGÍA**

Este capítulo presenta la evolución sobre la formación del concepto de desarrollo sostenible, desde la diferenciación entre crecimiento económico y desarrollo, y conceptos intermedios previos al de desarrollo sostenible, como ecosocioeconomía y ecodesarrollo. Además, como la tesis se enfoca en el uso de la energía, ante la gran responsabilidad del sector energético, sobre todo, en los aspectos medioambientales para lograr el desarrollo sostenible, el capítulo presenta también la evolución conceptual e histórica en torno a la energía.

### **1.1. CRECIMIENTO Y DESARROLLO**

La concepción del crecimiento y el desarrollo no es una tarea fácil, ya que presenta una polisemia de significados, dependiendo de la perspectiva adoptada. Se destaca que el concepto de crecimiento y desarrollo ha pasado y pasa por diferentes enfoques, pero siempre considerando la linealidad de progreso y evolución relacionados al modelo económico occidental, que se basa en la centralidad urbano-industrial como responsable del crecimiento y desarrollo económico de un país (Liberato, 2008).

El concepto de desarrollo surge de la necesidad de un crecimiento ordenado y que pueda garantizar una vida más equilibrada para la sociedad, y donde, con este crecimiento, se garantice la mejoría de la calidad de vida de las personas. Rodrigues (1993, p. 20), define que "el crecimiento económico carece de sentido, si no logra promover, en última instancia, el desarrollo humano [y social], entendido como la realización (o satisfacción) personal de los individuos de un país/región". Hace, por lo tanto, evidente que se debe pensar en el crecimiento económico que promueve el desarrollo, siendo factores distintos, pero complementarios.

Según Kindleberger (1977), para que haya desarrollo es necesario que haya crecimiento. Veiga (2006) termina de acuerdo con esta idea, pero con una matización, en el que se dice que sólo hay desarrollo cuando los beneficios del crecimiento sirven a la ampliación de las capacidades humanas, es decir, para que haya desarrollo tiene que haber



crecimiento, pero sólo cuando este último contribuye a la mejora de las capacidades humanas. Luego este último autor hace una advertencia al aclarar que el desarrollo no limitase al crecimiento distributivo (Veiga, 2015).

Para comprender mejor esa diferenciación, en la década de los años de 1950 Simon Kuznets realiza una contribución significativa con sus estudios empíricos sobre el crecimiento económico, donde demostró, que la desigualdad en la renta tendía a aumentar en la fase inicial de la industrialización de un país, ocurriendo lo inverso en la fase posterior, una vez que su economía hubiera crecido lo suficiente para alcanzar la madurez. En lo que quedó conocido como la “Curva de Kuznets”, que es formada por una “U” invertida entre la relación del crecimiento y la distribución de la renta. Aunque, el propio autor reconoce de forma prudente el peligro en suponer que todos los países seguirían el mismo camino de desarrollo, sobre todo, dada la limitación de datos analizados, referidos a países industrializados (Kuznets, 1955).

Según Souza (1993) hay dos corrientes del pensamiento económico sobre el crecimiento económico y el desarrollo. Una de esas corrientes es representada por los modelos de crecimiento de la tradición clásica y neoclásica, como los de Harrod y Domar<sup>7</sup>, que consideran el crecimiento como sinónimo de desarrollo. Mientras que la otra corriente, formada por los economistas de orientación crítica en la tradición marxista o “cepaliana”<sup>8</sup>, considera que el crecimiento es condición indispensable para el desarrollo, pero no suficiente, definiendo el crecimiento como una variación cuantitativa del producto, y el desarrollo caracterizado por cambios cualitativos en el modo de vida de las personas, instituciones y estructura productivas.

En esta última línea de pensamiento, Agostino (1997) afirma que el crecimiento económico se basa en aspectos meramente cuantitativos y niega aspectos cualitativos, en lo que se refiere a la distribución del crecimiento económico. Otra concepción de desarrollo abordada por esta autora es la de desarrollo endógeno, entendido como riqueza, sea ella natural o humana, existente en una misma base territorial. También sobre desarrollo, la mencionada autora trae otra concepción de desarrollo, articulando los tres pilares, económico, social y ambiental.

---

<sup>7</sup> El modelo de Harrod-Domar abarca tres variables básicas para explicar el crecimiento, la tasa de inversión, la tasa de ahorro y la relación producto/capital (Domar, 1946; Harrod, 1939).

<sup>8</sup> Refiriéndose a los economistas que siguen el pensamiento de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

En el entendimiento de Franco (2000), la evolución del significado del desarrollo viene a partir de un contexto únicamente económico para diversas dimensiones, como social, cultural, ambiental y físico-territorial, político-institucional y científico-tecnológico. Para Stern (2002) el concepto de desarrollo, a partir de las corrientes influenciadas por el keynesianismo, era visto como crecimiento con cambio estructural y, sobre todo, cambio de los valores y de instituciones.

Según I. Sachs (2004, p. 13) el desarrollo es algo más profundo que el crecimiento:

*“[...] los objetivos del desarrollo van más allá de la mera multiplicación de la riqueza material. El crecimiento es una condición necesaria, pero de ninguna manera suficiente (mucho menos es un objetivo en sí mismo), para alcanzar la meta de una vida mejor, más feliz y más completa para todos.”*

En esta línea Amartya Sen defiende que sólo hay desarrollo cuando los beneficios del crecimiento sirven a la ampliación de las capacidades humanas, entendidas como el conjunto de las cosas que las personas pueden ser, o hacer, en la vida (A. Sen, 2010). Por lo tanto, dentro de lo que preconiza el principio del desarrollo, por la búsqueda de una acción equilibrada en las distintas esferas que comprende la sociedad y el planeta, asociado a la gran preocupación de las acciones humanas que van en camino contrario a ese equilibrio en detrimento de la esfera del medio ambiental, emergen conceptos derivados del desarrollo, como los de ecosocioeconomía y codesarrollo.

## 1.2. ECOSOCIOECONOMÍA Y ECODESARROLLO

El término ecosocioeconomía surge del trabajo del economista ecológico Karl William Kapp, en su publicación *The Social Costs of Private Enterprise*, publicado en el año de 1950, que después pasó por una reedición en 1963 al nombre *The Social Costs of Business Enterprise* (Kapp, 1978). El primer prefijo "Eco" (Oikos = Casa) se refiere a la ecología y refuerza lo que el segundo prefijo "eco" ya debería hacer. Sin embargo, esto se ha popularizado a lo largo de la historia al referir su significado a lo que Aristóteles ya denunció como crematista.

La ecosocioeconomía está involucrada en la discusión sobre el desarrollo ecológico, entendido como un antecedente del desarrollo sostenible. Esa discusión en torno al concepto ha sido señalado como un paradigma sistémico, que comprende principios de ecología profunda, que propone repensar los estilos de vida actuales, la economía social, que reflexiona sobre las consecuencias sociales en la acción económica, la economía ecológica, que reflexiona sobre los costos ambientales en la acción económica, la ecología humana, que está basada en la inseparabilidad de los sistemas sociales y ecológicos, y la planificación participativa (Sampaio et al., 2008).

Mientras que el desarrollo ecológico favorece el enfoque epistemológico-teórico, la economía del ecosistema enfatiza el enfoque metodológico-empírico. La ecosocioeconomía ocurre en el mundo de la vida, en las comunidades, en las aldeas, en las organizaciones, donde ocurren problemas y soluciones, y raras veces están debidamente calificados (Sampaio et al., 2008). Es una teoría pensada, basada en experimentos y la complejidad de la vida cotidiana (I. Sachs, 1986a, 1986b).

Como resultado de pensar en las organizaciones, surge el término ecosocioeconomía de las organizaciones, lo que permite pensar en la viabilidad interorganizacional de dicha propuesta y la efectividad extra organizacional del territorio, además de resaltar la llamada extra racionalidad en los procesos de toma de decisiones para grupos organizados o casi organizados que promueven el ecodesarrollo.

La ecosocioeconomía de las organizaciones favorece los estudios que permiten la viabilidad macro (interorganizacional) y microeconómica (organizacional) de grupos organizados o casi organizados articulados, llamados de emprendimiento compartido. Además, la ecosocioeconomía de las organizaciones sugiere la eminencia de la acción extra organizacional, es decir, el agente organizacional que destaca los impactos de su acción en el entorno territorial (Sampaio & Dallabrida, 2009). En el sentido de los acuerdos institucionales, considerados como acuerdos sociopolíticos y socio productivos basados en la comunidad, para que generen capital social, se sugiere identificar a los representantes de las organizaciones que compondrán los acuerdos, reúnan y estimularán las bases para pensar tres acciones diferentes: interorganizacionales, extra organizacional y extra racional (Sampaio et al., 2008).

El concepto de ecodesarrollo surge en un período concomitante con lo ecosocioeconomía, y fue introducido por Maurice Strong, en la conferencia de Estocolmo

y en 1980, Ignacy Sachs lo desarrolla conceptual y operacionalmente, afirmando que el ecodesarrollo es:

*“Un proceso creativo de transformación del medio con la ayuda de técnicas ecológicamente prudentes, concebidas en función de las potencialidades de este medio, impidiendo el desperdicio inconsiderado de los recursos y cuidando para que éstos sean empleados en la satisfacción de las necesidades de todos los miembros de la sociedad, dada la diversidad de los medios naturales y de los contextos culturales. Las estrategias del ecodesarrollo serán múltiples y sólo podrán ser concebidas a partir de un espacio endógeno de las poblaciones consideradas. Promover el ecodesarrollo es, en esencia, ayudar a las poblaciones involucradas a organizarse, a educarse, para que repiensen sus problemas, identifiquen sus necesidades y los recursos potenciales para concebir y realizar un futuro digno de ser vivido, conforme a los postulados de la justicia social y la prudencia ecológica” (I. Sachs, 1986a, p. 82).*

A pesar de la gran necesidad de contener las acciones humanas sobre el medio ambiente, la propuesta del ecodesarrollo pareció para muchos, limitada y no fue aceptada de manera universal por la comunidad científica y académica. Es entonces que surge el concepto de desarrollo sostenible, que presenta un carácter multidimensional, basado sobre los pilares social, económico y ambiental.

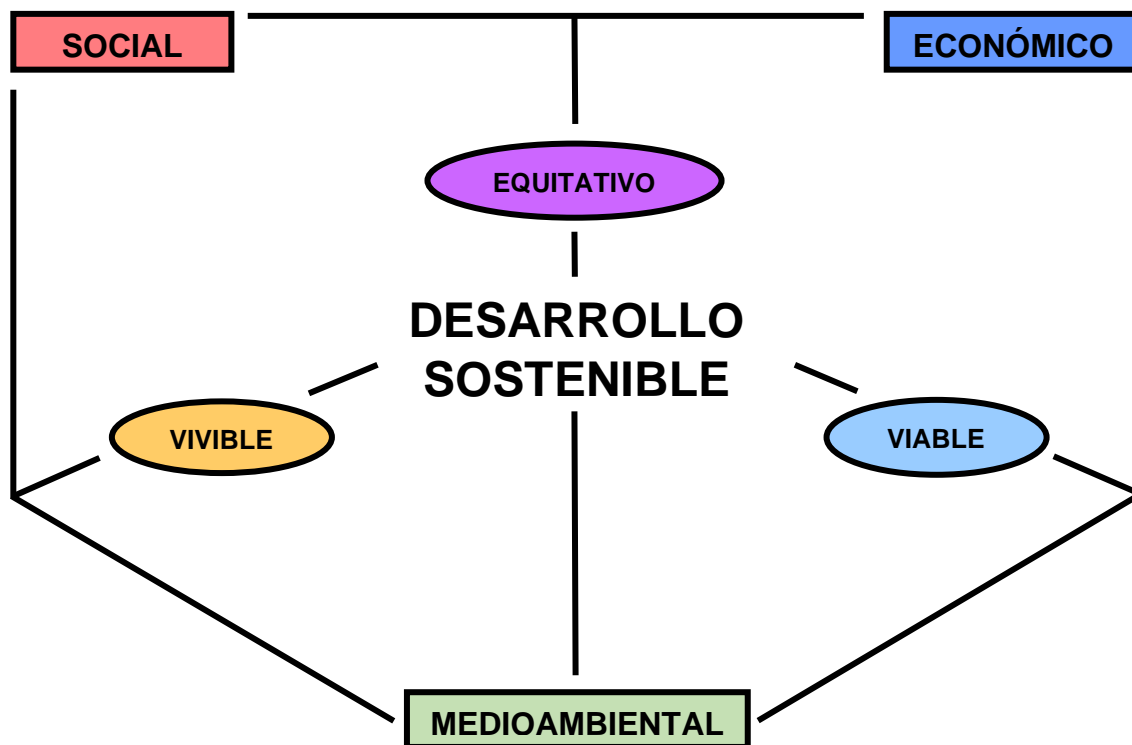
### 1.3. DESARROLLO SOSTENIBLE

El término desarrollo sostenible, se puede decir que es un término reciente para la ciencia, ya que esta nomenclatura sólo viene surgir precisamente en la década de los 80 (J. D. Sachs, 2017). Antes de eso, entre finales de la década de los 60 y principios de la década de 1970, en el siglo XX, surgía el concepto de ecodesarrollo que se consolidó en la reunión de Naciones Unidas en Estocolmo (Suecia) en 1972, conocida como Conferencia de Estocolmo. Ese concepto ya colocaba el reto del desarrollo sostenible en el escenario mundial, y vino a ser implementado formalmente ocho años después en el documento *“World conservation strategy : living resource conservation for sustainable*

development”, que tenía como objetivo ayudar a promover el logro del desarrollo sostenible por medio de la conservación de los recursos vivos (R. Allen, 1980; IUCN et al., 1980).

Más adelante, precisamente en 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD/WCED)<sup>9</sup>, entonces presidida por la Primera Ministra de Noruega, Gro Harlem Brundtland, adoptó el concepto de desarrollo sostenible en su informe Nuestro Futuro Común (*Our Common Future*), también conocido como Informe Brundtland, donde expresa que el desarrollo sostenible debe de ser aquel “que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias” (CMMAD, 1987, p. 23), y complementa que “es un proceso de cambio en el que la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y la modificación de las instituciones están acordes y acrecientan el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas” (CMMAD, 1987, p. 63), caracterizado como un concepto polisémico y que involucra distintos enfoques complementarios basado en tres pilares principales (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Eje temático de la formación del concepto del Desarrollo Sostenible



Fuente: Elaboración propia basado en el Informe de Brundtland (CMMAD, 1987).

<sup>9</sup> WCED - World Commission on Environment and Development.

El concepto desarrollo sostenible vino a ser definitivamente incorporado como un principio durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente, la Cumbre de la Tierra de 1992 (Eco-92), que tuvo lugar en Río de Janeiro – Brasil. En 2000, se dibujaron en la conferencia de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), la última en 2015, la ONU reunió a más de 150 jefes de estado y de gobierno en Nueva York, en la conocida Cumbre Sostenible del Desarrollo, la aprobación de la agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, se establecieron 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS), dirigidos a los que se pensaba de los ODM, y se espera que para llegar a ellos hasta el año 2030.

En este contexto, la concepción de desarrollo sostenible, como se observa, emerge en distintas conferencias mundiales, realizadas principalmente con el apoyo de la ONU, a ejemplo de la conferencia de Estocolmo en 1972, la conferencia de Río en 1992, que proponen y divulgan esa nueva concepción de desarrollo, como una alternativa para el desenfrenado proceso de degradación de los recursos naturales. Entretanto, a lo largo de los años, el concepto de desarrollo sostenible ha evolucionado hacia un abordaje más práctico, y pasa a centrarse menos en las necesidades interorganizacionales y más en un abordaje holístico. En 2002, el Plan de Implementación de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (CMDS/WSSD)<sup>10</sup> de la ONU en Johannesburgo se refiere a la “integración de tres componentes del desarrollo sostenible – desarrollo económico, desarrollo social y protección ambiental – como pilares interdependientes y de refuerzo mutuo” (United Nations, 2002).

En un recorrido histórico de marcos para el desarrollo sostenible, la Tabla 1.1 enmarca los principales eventos mundiales que ocurrieron desde la Creación del Club de Roma en 1968. El Club de Roma es un grupo formado por notorias personalidades de las distintas comunidades mundiales, desde investigadores, políticos, empresarios, religiosos, etc. El Club fue creado con la intención de promover el crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad. En 1972 se celebra la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo (Suecia), conocida como la 1ª Cumbre de la Tierra, donde fue creado el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/UNEP)<sup>11</sup>.

---

<sup>10</sup> WSSD - World Summit on Sustainable Development.

<sup>11</sup> UNEP - United Nations Environment Programme.

Tabla 1.1 – Marcos históricos mundiales para el Desarrollo Sostenible

Año	Marco
1968	Creación del Club de Roma
1972	Conferencia de Naciones Unidas para el Desarrollo Humano (Estocolmo)
1976	III Informe que hace alusión entre los desniveles de renta entre países ricos y pobres
1980	Unión Internacional para la conservación de la Naturaleza
	Informe “ <i>World conservation strategy</i> ”
1984	Creación de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Asamblea de la ONU)
1986	Conferencia de Ottawa
1987	Informe de Brundtland
1992	Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro)
1994	V Programa de Acción Ambiental de la Unión Europea: Hacia al desarrollo sostenible
	1ª Conferencia sobre ciudades europeas sostenibles
	Carta Aalborg (Dinamarca)
1996	2ª Conferencia sobre ciudades europeas sostenibles
	Plano de Acción de Lisboa: de la carta a la acción
1997	Conferencia de las Partes de Naciones Unidas (Kioto)
2000	Cumbre del milenio - Aprobación de la Declaración del Milenio
	3ª Conferencia sobre ciudades europeas sostenibles
2002	Conferencia Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (Río +10) (Johannesburgo)
2004	Conferencia Aalborg +10
2007	Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles
	Cumbre de Bali
2009	Declaración de Gaia - Implantación del Condominio de la Tierra
	1º Fórum Internacional del Condominio de la Tierra
2012	Río +20
2015	Agenda 2030
	Institución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Fuente: Elaboración propia.

En 1972 se produce el lanzamiento del libro “*The Limit of Growth*” publicado por el Club de Roma (Meadows et al., 1972), donde se pasó a reconocer mejor la eficacia de los recursos energéticos, llegando a la conclusión que el agotamiento de los recursos y la utilización irracional de ellos serían importantes limitaciones para el crecimiento económico. En 1973 surge el concepto de Ecodesarrollo, elaborado por Maurice Strong. En 1976 el Club de Roma publica su III Informe, que hace alusión a las desigualdades en renta entre países ricos y pobres, y que tenía como objetivo principal promover el

crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad. 1980 fue un año de gran importancia para la formación del término desarrollo sostenible. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN/IUCN)<sup>12</sup>, en cooperación con el PNUMA y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)<sup>13</sup>, publica el informe “*World conservation strategy*”, donde se utiliza formalmente el término desarrollo sostenible.

La década de los años de 1980 marcó hechos importantes para el desarrollo sostenible. En 1984, la ONU, en una de sus asambleas, creó la CMMAD, órgano responsable de reforzar la cooperación internacional en medio ambiente y el desarrollo. En 1986 se celebra la Conferencia Internacional sobre Promoción de la Salud en Ottawa, que buscaba una salud pública eficiente y contribuir a las políticas de salud en todos los países, de manera ecuánime y universal. Al año siguiente, 1987, fue un año de gran difusión y formación del concepto de desarrollo sostenible, con el Informe “*Nuestro Futuro Común*”, también conocido como el Informe de Brundtland.

En la década de los años de 1990 ocurrieron una serie de eventos para promocionar el desarrollo sostenible, comenzando con la Conferencia de Naciones Unidas sobre Ambiente y Desarrollo, la 2ª Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro (Brasil), que fue marcada por la adopción de los líderes mundiales al Programa 21, llamado universalmente de Agenda 21, con planes de acción específicos para lograr el desarrollo sostenible en los planos nacional, regional e internacional. Fruto de la cumbre de 1992, en 1994 tuvo lugar en Europa el V Programa Acción Medio Ambiente de la Unión Europea: Hacia un desarrollo sostenible; y la 1ª Conferencia sobre Ciudades Europeas Sostenibles (Carta Aalborg) – Dinamarca. La 2ª Conferencia Europea sobre Ciudades Sostenibles, donde fue presentado el Plan de Acción de Lisboa: de la carta a la acción, ocurrió en 1996. En 1997 estuvo marcado por la aprobación del Protocolo de Kyoto (Japón) en la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que tenía por objetivo reducir las emisiones de los GEI.

Comenzando el nuevo milenio, en el año 2000 se celebró la Cumbre del Milenio en Nueva York, donde fue aprobada la Declaración del Milenio, un compromiso mundial para reducir la pobreza extrema, estableciéndose ocho objetivos con plazo límite de 2015, conocidos como los ODM (PNUD, 2021). En este mismo año se celebró en Europa la 3ª

---

<sup>12</sup> IUCN - International Union for Conservation of Nature.

<sup>13</sup> WWF - World Wildlife Fund for Nature.



Conferencia Europea sobre ciudades sostenibles. Dos años después, en 2002 acontece la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo (Sudáfrica), también llamada Río+10, con la aprobación del Plan de Aplicación de Johannesburgo, que está basado en los progresos realizados y las lecciones aprendidas desde la 1ª Cumbre de la Tierra, previendo un enfoque más específico, con medidas concretas y metas cuantificables y con plazos (United Nations, 2002).

En los años siguientes a la década de 2000, tuvieron lugar eventos más puntuales. En 2004 la Conferencia Aalborg + 10, en 2007, la Carta de Leipzig sobre ciudades europeas sostenibles; y la Cumbre de Bali, que tenía intención de establecer un acuerdo sucesor del Protocolo de Kyoto. En 2009 se celebró en la ciudad de Gaia (Portugal) el 1<sup>er</sup> Foro Internacional del Condominio de la Tierra, que instituyó la Declaración de Gaia<sup>14</sup>, una campaña global para la preservación del planeta y la idea de la Tierra como un condominio, que propone una articulación entre la economía y el derecho, y entre ellos y el funcionamiento global del planeta.

En 2012 se celebró la Conferencia de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas en Río de Janeiro nuevamente, marcando 20 años desde la anterior allí, por eso es también es llamada Río+20. Resultó en un documento con pasos claros y prácticos para la implementación del desarrollo sostenible, lo que era un paso inicial para desarrollar los ODS, basados en los ODM. En el año de 2015 se celebra la Cumbre del Desarrollo Sostenible, con el establecimiento de la Agenda 2030, donde fueron presentados los 17 ODS. Los ODS pretenden mejorar la vida de las personas del mundo, erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar para todos, proteger el medio ambiente y luchar contra el cambio climático (United Nations, 2015a, 2015b). Dos meses más tarde, en la Conferencia de París sobre el Cambio Climático de 2015, también conocida como COP21, se firmó el Acuerdo de París, que ya ha sido ratificado por 193 partes (UNFCCC, 2015, 2021a) con el compromiso de que los países presenten sus contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN/NDCs)<sup>15</sup> (UNFCCC, 2021b).

La Tabla 1.2 presenta un listado de órganos internacionales con sus respectivos años de creación, que guardan estrecha relación con el desarrollo sostenible.

---

<sup>14</sup> La declaración de Gaia es gestionada por la organización Quercus, una ONG ambiental portuguesa, por medio de la página “<http://condominiodaterra.org/>”.

<sup>15</sup> NDCs - Nationally determined contributions.

Tabla 1.2 – Órganos internacionales relacionados al Desarrollo Sostenible

Órgano	Creación
Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD)	1983
Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD)	1995
Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF)	1961
Instituto Internacional para el Medio Ambiente y Desarrollo (IIED)	1971
Organización de las Naciones Unidas (ONU)	1945
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)	1945
Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD)	1961
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)	1972
Unión Mundial para la Naturaleza (UICN)	1948

Fuente: Elaboración propia.

Dado que esa tesis trata de analizar el sistema energético en diferentes territorios, el sector con mayor responsabilidad en las emisiones GEI, el dominio y comprensión del concepto de desarrollo sostenible no puede perderse de vista en este análisis. Los apartados siguientes presentan diferentes conceptos en torno a la energía.

#### 1.4. FORMACIÓN HISTÓRICA Y CONCEPTUAL EN TORNO A LA ENERGÍA

La energía siempre ha sido factor esencial para la vida humana, y el uso energético define el comportamiento y evolución de una sociedad (Akizu-Gardoki et al., 2018; Pain, 2017; Smil, 1994). Desde el origen del planeta, hace más de 3.000 millones de años, toda la materia viva, desde las bacterias hasta la humanidad, depende de la energía del Sol. Las sociedades premodernas y tecnológicamente avanzadas dependen de la energía en forma de luz y calor, transformando su energía en calorías para que humanos y animales realicen su trabajo (Penna, 2019).

En el libro “*A History of Energy Flows: From Human Labor to Renewable Power*”, Penna (2019) divide los periodos de transición energética en tres regímenes: el

régimen energético orgánico; el régimen energético mineral; y el régimen de energías renovables. En lo que se refiere al régimen energético orgánico, en la historia de la humanidad la primera fuente de energía fue el alimento, donde el hombre utilizaba la energía proporcionada para realizar sus actividades. El primer avance tecnológico asociado a la energía fue el uso del fuego (Nogueira & Cardoso, 2007; Tessmer, 2002).

Aún en el régimen energético orgánico, entre finales del período paleolítico y principios del neolítico empezaron los primeros pasos de la agricultura y la pesca, hace unos 12 mil años, marcados por la domesticación animal y utilización de ellos para potencializar el trabajo humano, donde se creó un entorno más intensivo en energía (Debeir et al., 1986; Tessmer, 2002). En ese régimen también la madera tuvo una gran importancia, al ser una fuente de combustible más eficiente, y que proporciona calor y luz. Capturar el poder del viento y el agua en movimiento agregó valor también al régimen energético orgánico (Penna, 2019). En la antigüedad la utilización del viento en la navegación a vela fue esencial para la colonización y el comercio a las márgenes del Mediterráneo (Nogueira & Cardoso, 2007).

El régimen energético mineral empezó con el descubrimiento del carbón, que se encontraba de manera abundante y barata, dando lugar así al aumento de la metalurgia en detrimento de los productos de madera, que sufría por la deforestación en gran parte de Europa, especialmente la Península Ibérica (Penna, 2019; Tessmer, 2002). Pero los cambios en la matriz energética mundial no han sido significativos hasta la Revolución Industrial, cuando el carbón fósil ganó fuerza en la producción de energía hasta superar a la madera en el siglo XVIII (R. C. Allen, 2013; Penna, 2019). La transición de la madera al carbón a escala global ha sido lenta, pues no ha sido uniforme en los distintos continentes del mundo, ocurriendo en el siglo XIX, y extendiéndose en algunas partes hasta el siglo XX, y con una participación bastante representativa, en los países de África subsahariana, India y Brasil (Smil, 2004, 2017).

Durante ese período de transición, surgieron nuevas tecnologías que desempeñaron un papel importante para el avance y direccionamiento del sistema energético mundial. Aun así, el carbón mineral permaneció como la principal fuente energética durante dos siglos, hasta la segunda mitad del siglo XX, después que el mundo experimentara dos grandes guerras, cambiando a sí y a la industria del carbón (Daemen, 2004). En la década de los 60, el petróleo asume el puesto de principal fuente energética mundial (Smil, 2017; York & Bell, 2019), dando lugar a la era de las fuentes energéticas

de los hidrocarburos, reforzado por el gas natural (Smil, 1994), que empezó el siglo XX con una participación pequeña en el suministro mundial, pero elevó su participación global a casi 25% de todas las energías fósiles en el año 2000 (Smil, 2010, 2017).

Concomitante al descubrimiento de los grandes yacimientos de petróleo y su explotación, incluso un poco antes, se produce el avance de la electricidad. El petróleo, por su volatilidad y gran variedad de productos derivados, promueve un gran avance en el modo de generación de energía, con grandes sectores consumidores, como el automovilístico, la aviación y, por supuesto, el sector petroquímico (Smil, 2017). La electricidad juega un papel fundamental en el sector energético, contribuyendo, conjuntamente con los derivados del petróleo, a un aumento vertiginoso de la demanda energética en los países industrializados.

Así, la demanda de energía en el mundo aumentó vertiginosamente a lo largo de los años (IEA, 2020a). Acompañado de este hecho, también vino la preocupación por la búsqueda de la eficiencia energética y una transición energética sostenible (Dresselhaus & Thomas, 2001; Geels et al., 2018; Köhler et al., 2019; Solomon & Krishna, 2011). Lo que empieza a dar lugar al régimen definido por Penna (2019) de las energías renovables.

Una constatación importante, observando los regímenes energéticos anteriores al régimen de energías renovables, es que las transiciones pasadas se han caracterizado por aumentos importantes en el consumo de energía, conduciendo a niveles de consumo dramáticamente mayores (Fouquet, 2016; Grubler et al., 1999). Este tema que suscita una discusión sobre la transición energética, defendido por York & Bell (2019) como adiciones de energía y no transiciones, sobre todo por la preocupación en lograr una transición caracterizada por un modelo energético sostenible, de sustitución de fuentes de energía fósiles por fuentes renovables, que pueda efectivamente reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es lo que espera Sovacool (2016), que ve como vital la transición del sistema energético global actual, altamente dependiente de combustibles fósiles, y vislumbra acelerar el proceso y dar forma a un futuro diferente, con el conocimiento de las transiciones pasadas. Aunque, considerando la experiencia de las transiciones anteriores y la gran dependencia global de los combustibles fósiles, Smil (2016) afirma que será una

tarea extremadamente costosa y, que necesariamente, nos ocupará durante las generaciones venideras<sup>16</sup>.

En este contexto, especialmente intensificado en el siglo pasado, el debate sobre maneras eficientes de producción y consumo consciente de energía crece, impulsado, sobre todo, por la preocupación medio ambiental. A partir de la década de los años de 1970, con la crisis del petróleo generando la crisis energética, debido al aumento exorbitante de su precio (Binder, 1974; Slessor, 1978), se intensificaron los estudios sobre energía e las inversiones en fuentes alternativas de energía. Dentro de este ámbito, surgen diversos conceptos e indicadores en torno a la energía, algunos con similitudes y cercanos, respecto a la comprensión general del uso de energía, como también aspectos más específicos.

#### 1.4.1. Eficiencia e intensidad energética: diferencias y similitudes

Considerado el más amplio y multidimensional, la eficiencia energética es un término polisémico. En una definición genérica, la eficiencia energética es tratada a menudo como un término que se refiere al uso de menos energía para producir la misma cantidad de servicios o resultados (Patterson, 1996), aunque su descripción difiere considerablemente entre las publicaciones (Proskuryakova & Kovalev, 2015).

De manera más amplia, la eficiencia energética es entendida como la proporción o la relación cuantitativa entre la entrada de energía y el resultado en términos de desempeño, de servicios, de bienes o mismo de energía. Puede ser aplicable en distintas ópticas, como eficiencia de conversión; energía requerida y energía utilizada; salida y entrada de energía; valor teórico de la energía utilizada y energía real utilizada (Peña & Sánchez, 2012).

Considerando una perspectiva histórica, los primeros estudios relacionados con la eficiencia energética se intensifican con la crisis del petróleo de los años 70, el interés en las implicaciones de los aumentos en la eficiencia energética se remonta a siglos atrás. Así, el interés en medir la eficiencia energética o de combustible también se remonta a

---

<sup>16</sup> Pensamiento defendido también por Grubler et al. (2016), que apunta críticas directas al trabajo de Sovacool (2016), y este último después hace otra publicación en respuesta a esas críticas (Sovacool & Geels, 2016).

hace casi 200 años. En la revisión publicada por Berndt (1978) señala que alrededor del año 1824, Lazar Carnot constató que algunas tareas físicas existían un máximo posible de eficiencia de la energía disponible, donde se requería una cantidad mínima para realizar la tarea dada. Las constataciones de Carnot han influido en el desarrollo de leyes generalizadas de termodinámica que proporcionan criterios para medir la eficiencia energética de una amplia variedad de tareas físicas (Hatsopoulos et al., 1974; Keenan et al., 1974).

Dentro del ámbito económico, el enfoque en la medición de la eficiencia energética dada de los años 70, antes se había puesto poca atención, centrándose principalmente en la productividad del trabajo más que en la de la energía (Berndt, 1978). Los principales estudios clásicos en la economía miden la eficiencia energética centrándose simplemente en las relaciones de producción de energía (Barnett, 1950; Darmstadter, 1971; Davis, 1957; Thompson et al., 1961; Tryon, 1927).

Berndt (1978) presenta un marco para analizar e interpretar las medidas de productividad de energía alternativa, donde considera los fundamentos termodinámicos y económicos, haciendo un análisis de las implicaciones económicas de las medidas de eficiencia energética a partir de la Segunda Ley de la termodinámica. En el estudio de Jenne & Cattell (1983) se realiza un análisis del cambio en la relación entre la energía consumida y producción industrial, en los años 1968-1980.

A lo largo de los años la discusión conceptual y de análisis de la eficiencia energética ha tomado diferentes direcciones. En el estudio de Brookes (2000) se afirmaba que faltaba un indicador fiable de progreso en la eficiencia energética a nivel macroeconómico. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA por sus siglas en inglés), es preciso separar varios factores que influyen en la demanda de energía, como el impacto de los cambios en nivel de actividad, la estructura económica y otros factores exógenos, de los cambios en la intensidad energética, para entender el impacto de la eficiencia energética. Tal hecho se logra empleando un método de descomposición que separa y cuantifica los impactos de los factores individuales de cambio en el nivel de actividad, estructura e intensidad energética en el consumo final de energía, en cada sector y en cada país (IEA, 2015).

En este sentido, hay estudios que cuestionan los indicadores de eficiencia energética existentes (Pérez-Lombard et al., 2013; Proskuryakova & Kovalev, 2015), incluidos los presentados por la Agencia Internacional de Energía, señalando problemas

metodológicos en la interpretación de esos indicadores, como el problema de juicio de valor, el problema del límite, problemas de partición y agregación, o el problema de los efectos estructurales. Esos cuestionamientos están apoyados en el estudio de Patterson (1996) y vienen por mezclar factores físicos, económicos y termodinámicos sin definir con precisión el término eficiencia energética.

Dada la multidimensionalidad del concepto de eficiencia energética, hay una gran cantidad de estudios sobre su desarrollo, evaluación y comparación de indicadores (Ang, 2006; Ang et al., 2010; Giacone & Mancò, 2012; Horowitz & Bertoldi, 2015; Patterson, 1996; Proskuryakova & Kovalev, 2015; Tanaka, 2008), para apoyar la estructuración de políticas por medio de análisis de descomposición (Ang, 2004; Ang & Zhang, 2000), las tendencias comparativas de eficiencia energética entre países (Bosseboeuf et al., 1997; G.J.M. Phylipsen et al., 1997; Gerardina Josephina Maria Phylipsen et al., 1998), y la evaluación comparativa entre países, sectores y subsectores (Al-Mansour, 2011; Allouhi et al., 2015; Gielen & Taylor, 2009; Mondal et al., 2018; Ruzzenenti & Basosi, 2009; Saygin et al., 2011; C. Song et al., 2014; L.-M. Wu et al., 2007).

Estudios más recientes analizan la eficiencia energética con enfoque específicos. El estudio de Geller et al. (2006) es un análisis de eficiencia energética basada en datos de intensidad energética. En él se presenta una revisión de las tendencias de intensidad energética para las principales naciones de la OCDE desde 1973. A partir del análisis realizado, el estudio sugiere que los incentivos gubernamentales, la presión competitiva del mercado y los programas de I + D tienen influencia positiva en la evolución de eficiencia energética a largo plazo.

De modo más amplio, Mzavanadze et al. (2015) hacen una revisión de la literatura sobre los impactos del bienestar social de las acciones de mejora en la eficiencia energética. De modo más específico y técnico son hechos estudios para evaluar la eficiencia energética en edificios (Belussi et al., 2019; Shuo Chen et al., 2020; Kern et al., 2017; Lidelöw et al., 2019), en los sistemas ferroviarios (Popescu & Bitoleanu, 2019), y, considerando la creciente demanda por contenido digital, *big data*, comercio electrónico y tráfico de Internet en las actividades económicas modernas. Vasques et al. (2019) realizan un estudio de revisión sobre la eficiencia energética con enfoque en centros de datos pequeños y medianos.

En el estudio de Palm & Backman (2020) se lleva a cabo un análisis de la comunicación ineficaz de conocimiento e información como una barrera importante para

mejorar la eficiencia energética en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en la UE, donde consideran cómo hacer que la comunicación funcional sea un facilitador de futuros programas de eficiencia energética en las PYMES.

Considerando su polisemia conceptual, los países y órganos internacionales utilizan distintos criterios para medir la eficiencia energética (Bhadbhade et al., 2020). En los países de la UE, la Comisión Europea estableció por medio de la Directiva de Eficiencia Energética (2018/2002), la adopción de un objetivo vinculante de mejora de Eficiencia Energética del 20% hasta 2020 y de una reducción del 32.5% hasta 2030 en comparación con las proyecciones de energía final total para el escenario comercial habitual (European Union, 2018a).

El documento publicado por la Agencia Internacional de Energía “*Meeting climate change goals through energy efficiency*” presenta los beneficios asociados a la eficiencia energética, que van más allá de la reducción de emisiones e incluyen ahorro de energía, beneficios económicos y una mejor salud. La Agencia llama también atención sobre la necesidad de desarrollo de nuevas políticas de eficiencia energética y su implementación continua para lograr objetivos contundentes, ensalzando su potencial de velocidad para implementación y ser el único recurso energético que todos los países poseen en abundancia (IEA, 2017).

Por otra parte, el estudio de Herring (2006) presenta una crítica a la visión de que mejorar la eficiencia energética conllevará a una reducción en el consumo nacional de energía. El análisis está basado en la hipótesis de que mejorar la eficiencia energética reduce el precio implícito de la energía y, en consecuencia, hace que su uso sea más asequible, llevando a un mayor uso. Defiende la idea de que lo que se necesita, para limitar el consumo de energía, es la suficiencia energética o su conservación en lugar de la eficiencia energética. En el estudio de Shove (2018) la crítica a la eficiencia energética es más contundente, y se afirma que lejos de ser una solución, la eficiencia, tal como está constituida actualmente, socava lo que se espera lograr.

Conforme a lo descrito anteriormente, la intensidad energética se introduce en el abordaje de la eficiencia energética y, en muchos casos, son tratadas como sinónimos. En términos generales, la intensidad de uso de la energía se entiende como la relación inversa de eficiencia energética. Según el Banco Mundial y la OCDE, el nivel de intensidad energética es la relación entre el suministro de energía primaria medido en megajulios (MJ) y el producto interior bruto medido en dólares estadounidenses (\$) constantes de



2011 con paridad del poder adquisitivo, lo que expresa la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de producción económica (World Bank Group & OECD, 2020). Este es un indicador clave para explicar la estructura productiva y nivel de especialización de los sectores energéticos en los países y regiones.

La intensidad energética se utiliza también como una medida de la vulnerabilidad del suministro energético (Weber, 2008, 2009), que es un factor esencial para los responsables políticos a la hora de establecer metas y objetivos. En este sentido, el trabajo de Alcántara & Duarte (2004) realiza un análisis de entrada-salida de intensidad energética con los países de la UE, considerando 14 países pertenecientes al bloque económico.

A partir de ese tipo de análisis de entrada-salida para la intensidad energética, se llega en el concepto de la huella energética. En este punto, el estudio de Lan et al. (2016) presenta una visión general de los impulsores de la huella energética a nivel global, haciendo una descomposición estructural espacial de la huella energética, demostrando por medio de una regresión de mínimos cuadrados ponderados que, en la mayoría casi unánime de los países, la riqueza y el crecimiento de la población están generando huellas energéticas, que son parcialmente compensados por el efecto retardador de la intensidad energética industrial.

En el estudio de Olanrewaju et al. (2019) los autores consideran la intensidad energética como una medida de eficiencia energética. Para ellos, la intensidad energética ejerce un efecto negativo en el consumo de energías renovables en países de África, lo que contradice con la hipótesis presentada en el estudio de Herring (2006), donde la energía más asequible conducía a un mayor uso energético y las fuentes no renovables son más baratas frente a las renovables.

En nuestro trabajo, al hacer un análisis del uso energético en los sistemas productivos, hemos podido identificar la cantidad de energía necesaria para atender a la demanda final, tanto a nivel sectorial, como también de una economía en específico. En este caso hemos utilizado ese indicador como un proxy de la intensidad energética en cada economía, es decir, cual es la unidad de energía necesaria para atender a una unidad de demanda final, y así, poder hacer un comparativo entre las economías estudiadas.

#### 1.4.2. Dependencia, seguridad y pobreza energética

Así como el concepto de eficiencia energética, a veces se confunde con el concepto de intensidad energética, los conceptos de dependencia y seguridad energética asumen muchas similitudes, en sus definiciones.

Según la Oficina Estadística de la UE (Eurostat) la tasa de dependencia energética muestra la proporción de energía que una economía debe importar. La tasa considera las importaciones netas de energía divididas por la energía bruta disponible, expresada como un porcentaje. Así, un exportador neto de energía presentara una tasa de dependencia negativa, mientras que una tasa de dependencia superior al 100% indica que se han almacenado productos energéticos. Dicha tasa puede ser utilizada para todos los productos en total, pero también para combustibles específicos (Eurostat, 2020).

Una definición amplia, de dependencia energética, aparece en el documento titulado “*Member States’ Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment*”, donde la Comisión Europea trata la dependencia energética desde tres dimensiones: seguridad del suministro de energía; energía e intensidad del carbono; y contribución de los productos energéticos al comercio. En las dimensiones conceptuales, la seguridad energética es definida en dicho documento como la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible, respetando las preocupaciones medioambientales<sup>17</sup>. La intensidad energética se entiende como la cantidad de energía utilizada por unidad de PIB (European Commission, 2013).

En el estudio de Bluszcz (2017) se presenta una visión interdisciplinar de la seguridad energética y que combina tres perspectiva a la vez: energética, económica y ambiental. La perspectiva energética contempla el equilibrio entre demanda y oferta, la infraestructura técnica, gestión y diversificación de los recursos energéticos. La perspectiva económica se limita a garantizar el precio aceptable de esos recursos energéticos, mientras que la perspectiva ambiental está relacionada con garantizar un entorno natural adecuado a las generaciones futuras. Más allá de esas tres perspectivas, el autor presenta una visión holística del concepto de seguridad energética, basado en

---

<sup>17</sup> Otros órganos internacionales también presentan definiciones similares a esa para el concepto, pero sin añadir las preocupaciones medioambientales (IEA, 2019b; UNDP, 2000; World Energy Council, 2008).

otros estudios, que abarca toda la cadena de suministro física y no física, además de factores como tiempo, espacio y dimensiones sociales importantes.

Siguiendo el análisis conceptual en torno a la energía, otro concepto es el de vulnerabilidad energética. Dentro de la literatura internacional el concepto de vulnerabilidad energética aparece de manera secundaria. Los estudios de Weber (2008, 2009) consideran la vulnerabilidad energética como una medida que parte de la intensidad energética. La Comisión Europea trata la vulnerabilidad energética como una consecuencia de las dimensiones contempladas en la dependencia energética que un país puede presentar (European Commission, 2013).

El Consejo Mundial de Energía presenta un documento donde trata la seguridad energética bajo la óptica de la vulnerabilidad energética, dicho documento reporta la vulnerabilidad de Europa a las crisis energéticas. En el documento, el Consejo Mundial de Energía define que la vulnerabilidad de un sistema energético se puede medir por su capacidad para hacer frente a los eventos adversos (World Energy Council, 2008). Comprendido en el contexto del aumento de la energía importada el aumento de los precios de la energía; la inestabilidad del clima político en los principales países proveedores y/o el crecimiento sustancial de la demanda de energía en las economías emergentes. Factores que pueden generar la incertidumbre de la liberalización del mercado y la competencia relacionada con la seguridad del suministro y la confiabilidad de la red (World Energy Council, 2008).

Un concepto más nuevo relacionado a la energía es el de pobreza energética. El libro de Boardman (1991), que trata de la pobreza de combustible en el Reino Unido es de los precursores sobre el tema, antes la situación era prácticamente desconocida en el medio académico y de las políticas convencionales. En los últimos años el concepto ha ganado bastante relevancia, con un gran número de estudios a nivel global y nacional e inserción en las políticas.

Así, han aparecido estudios con propuestas de índices para medición de la pobreza energética (Nussbaumer et al., 2012; Pachauri et al., 2004; Pachauri & Spreng, 2011). Birol (2007) presenta en su estudio la gran importancia de erradicar la pobreza energética, que está íntimamente asociada a las cuestiones de inseguridad y sostenibilidad energética global. Otros estudios han realizado revisiones conceptuales en relación a la temática para que se encuentre factores claves para políticas (Sovacool, 2012), de distintas formas de medición de la pobreza energética e implicaciones (González-Eguino, 2015) y la

diversidad de la pobreza energética que se produce entre los hogares (Walker et al., 2014). El estudio de Bouzarovski & Petrova (2015) ofrece un marco conceptual integrado para la investigación y la mejora de la utilización de energía en el hogar, partiendo de la premisa de que todas las formas de pobreza energética y de combustible, en los países en general, están respaldadas por la incapacidad de alcanzar un nivel social y materialmente necesario de servicios de energía domésticos.

La Comisión Europea trata de considerar este factor en la construcción de los indicadores de dependencia energética por medio de la proporción de energía en el consumo de los hogares, evaluando el impacto de los shocks energéticos en ellos (European Commission, 2013). De forma objetiva, según estudios de expertos en la temática (Bouzarovski et al., 2017; Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017), se puede entender la pobreza energética como la incapacidad de un hogar para asegurar un nivel de servicios de energía social y materialmente necesario en el hogar. En uno de esos estudios los autores abordan la pobreza de forma más amplia, evaluando la pobreza energética a partir del vínculo entre la vulnerabilidad energética y las transiciones energéticas, sugiriendo por evidencias que el proceso de transición energética aumenta la vulnerabilidad y va desde hogares individuales hasta estados enteros.

#### 1.4.3. Fuentes energéticas

Actualmente existe una variada opción de fuentes energéticas, la Agencia Internacional de Energía diferencia en su base de datos del sistema productivo de energía, por lo menos 64 fuentes de energía distintas, pero es cierto que la mayoría son fuentes derivadas, es decir, hechas a partir de otra fuente energética como materia prima y también llamadas de fuentes secundarias de energía (IEA, 2020a)<sup>18</sup>.

Este capítulo presenta dos distinciones principales. Primero, la distinción entre las fuentes energéticas primarias y secundarias y, segundo, desde una perspectiva ambiental, entre las fuentes de energía renovables y no renovables. Las fuentes de energía primarias son aquellas extraídas u obtenidas directamente de recursos ofrecidos por la naturaleza,

---

<sup>18</sup> En el documento titulado *International Recommendations for Energy Statistics*, producido por la ONU, que visa facilitar la armonización de los datos energéticos globales, se presenta una clasificación de más de cien tipos distintos de fuentes energéticas (United Nations, 2018).

es decir, no han sacado un proceso de transformación. Por otra parte, las fuentes de energía secundarias, son aquellas producidas a partir de otras fuentes energéticas, sean primarias o secundarias, y que, han experimentado un proceso de transformación (IEA, 2004).

Las fuentes de energía renovables son aquellas derivadas de procesos naturales, relacionados directa o indirectamente del sol o el calor generado en las profundidades de la tierra, y que se reponen a un ritmo más rápido de lo que se consumen (IEA, 2004). Las fuentes de energía no renovables son aquellas que provienen de recursos energéticos derivados de combustibles fósiles, los productos de desecho de fuentes fósiles o los productos de desecho de fuentes inorgánicas (Ellabban et al., 2014).

La definición de energía renovable es ampliamente compartida y hay amplio acuerdo sobre lo que es considerable energía renovable. Además de la definición de la Agencia Internacional de Energía, la Unión Europea, considera la energía eólica, solar, hídrica y geotérmica, incluye también energía de los mares, biocombustibles y la parte renovable de los residuos como energía renovable en su contabilidad estadística (Eurostat, 2021). En un informe reciente, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente sigue la misma lógica (Frankfurt School, 2018).

La Agencia internacional de Energía presenta la definición y caracterización, más allá de criterios de diferenciación, de las fuentes energéticas consideradas en construcción de su base de datos del sistema energético mundial (IEA, 2004). Entre las principales fuentes de energía renovables se incluyen:

- Biogás – es una fuente de energía renovable y derivada, producido a partir de la digestión anaeróbica de la biomasa y está compuesto principalmente por metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>. Las formas de producción son a partir de la digestión de residuos de vertedero; de la fermentación anaeróbica de lodos de depuradora; de la fermentación anaeróbica de purines animales y de desechos en mataderos, cerveceras y otras industrias agroalimentarias.
- Biomasa – es una fuente energética de origen biológico que comprende un material orgánico no fósil, pudiendo ser utilizada para la producción de calor o la generación de electricidad. Entre los tipos de biomasa están: el carbón vegetal, formado por el residuo sólido de la destilación destructiva y pirólisis de madera y otros materiales vegetales; la madera, desechos de

madera, y otros desechos sólidos constituidos de materiales biodegradables provenientes de la industria, de la silvicultura, de la agricultura, de los residuos producidos por los hogares, etc.

- Eólica – es una fuente de energía renovable que proviene de la energía cinética del viento, que es aprovechada para la generación de electricidad por medio de aerogeneradores.
- Geotermal – es una fuente de energía originada por el calor emitido desde el interior de la corteza terrestre, generalmente en forma de agua caliente o vapor. Su explotación puede ser destinada a la generación de electricidad mediante vapor seco o salmuera de alta entalpía<sup>19</sup> después del flasheo (evaporación súbita), o directamente como calor para calefacción urbana, agricultura, etc.
- Hidráulica – es una fuente de energía potencial y cinética del agua, que se convierte en electricidad en las plantas hidroeléctricas. Para la producción, parte de la energía total (potencial), pasa por las turbinas, las impulsan y hacen girar el alternador que genera electricidad. La hidroelectricidad también puede ser producida a partir del flujo de agua extraído de depósitos especiales que se llenan mediante el bombeo de agua de un río o lago a niveles más bajos, aunque, este último, es un método que produce menos electricidad de la que se utiliza para bombear el agua al depósito superior, el procedimiento es utilizado en los períodos de baja demanda, para bombear agua a los embalses para su liberación en los momentos de máxima demanda de electricidad, cuando el coste marginal de la generación de electricidad es más alto.
- Oceánica – Se trata de la energía proveniente de las mareas, olas y océano, es una energía mecánica derivada del movimiento de las mareas o del oleaje y explotada para la generación de electricidad.
- Solar – proviene de la captura de la radiación solar, y puede ser destinada a la producción de agua caliente sanitaria y generación de electricidad. Para ello, los modos de captura se dan a través: de colectores de placas planas, principalmente del tipo termosifón, para el calentamiento de agua sanitaria o para el calentamiento estacional de piscinas; de células

---

<sup>19</sup> Cantidad de energía térmica que un fluido puede intercambiar con entorno (Sanchez Guzmán et al., 2011).

fotovoltaicas, que convierten la luz solar directamente en electricidad; y de plantas solares termoeléctricas, también llamada de energía termosolar, que captan el calor disponible del sol para el medio de transferencia de calor, menos las pérdidas de calor ópticas y del colector, para entonces generar electricidad.

Aunque haya una gran variedad de fuentes de energía renovables, hay una dependencia mundial muy grande de las fuentes de energía no renovables, sobre todo por una cuestión estructural y de la gran necesidad de inversión para cambiarlas. Las fuentes de energía no renovables principales utilizadas mundialmente son:

- Carbón – Es una fuente de energía fósil, en su estado primario, extraída en la naturaleza en forma sólida, pero con distintas características físicas y químicas, que puede generar productos derivados en forma sólida y también en forma gaseosa. El carbón se clasifica en tres categorías principales, carbón duro; carbón subbituminoso; y lignito. Esas categorías de clasificación presentan distintos poderes caloríficos, cuanto mayor es ese poder, más eficiente energéticamente es el carbón.
- Gas Natural – Es una fuente de energía primaria, en la que la principal composición del gas natural es el CH<sub>4</sub>, normalmente en torno a un 85%, aunque esté compuesto también por varios otros gases<sup>20</sup>. Se extrae de reservas subterráneas naturales según la forma de extraer el gas natural, diferenciamos entre gas húmedo y gas seco. El gas húmedo contiene una cantidad considerable de butano e hidrocarburos más pesados, los líquidos de gas natural (LGN). El gas seco consiste principalmente en CH<sub>4</sub> con cantidades relativamente pequeñas de otros gases. Por una cuestión de logística y para facilitar su transporte, el gas natural seco puede ser transformado al estado líquido, sin perder sus propiedades originales, en este caso, siendo llamado de gas natural licuado (GNL).
- Nuclear – Es una fuente energética termal no renovable, y, a la vez, no es una fuente de energía fósil. Es una forma de energía liberada por el núcleo de los átomos, pudiendo ser producida por medio de fisión, cuando los

---

<sup>20</sup> La composición del gas natural varía mucho según el sitio donde se extrae. Además de CH<sub>4</sub> contiene una serie de otros componentes como CO<sub>2</sub>, helio, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, vapor de agua y otros contaminantes que pueden ser corrosivos o tóxicos (IEA, 2004).

núcleos de átomos se dividen en varias partes, o fusión, cuando los núcleos se fusionan. La primera es la que se utiliza actualmente para producir electricidad, mientras que la segunda está en fase de pruebas y desarrollo (Galindo, 2021).

- **Petróleo** – Es una fuente energética primaria, cuando se trata del petróleo crudo, que comprende una mezcla compleja de hidrocarburos líquidos, compuestos químicos, que se encuentran de forma natural en depósitos subterráneos de roca sedimentarias. En general, esta fuente presenta productos primarios, que no pasan por refino, y productos secundarios, que pasan por refino, resultando en una amplia gama de productos o fuentes energéticas derivadas. Por esa gran variedad de productos derivados, el suministro y el uso del petróleo en las industrias son complejos, dado que implica tanto en uso energético como en uso no energético.

Como se señaló con anterioridad, hay varias fuentes energéticas, entre las primarias y derivadas, las presentadas aquí son las más utilizadas actualmente, configurando el sistema productivo de energía mundial, que será tratado más específicamente en el capítulo siguiente.





## **CAPÍTULO 2. MARCO NORMATIVO DEL SISTEMA ENERGÉTICO EN LA UNIÓN EUROPEA Y BRASIL**

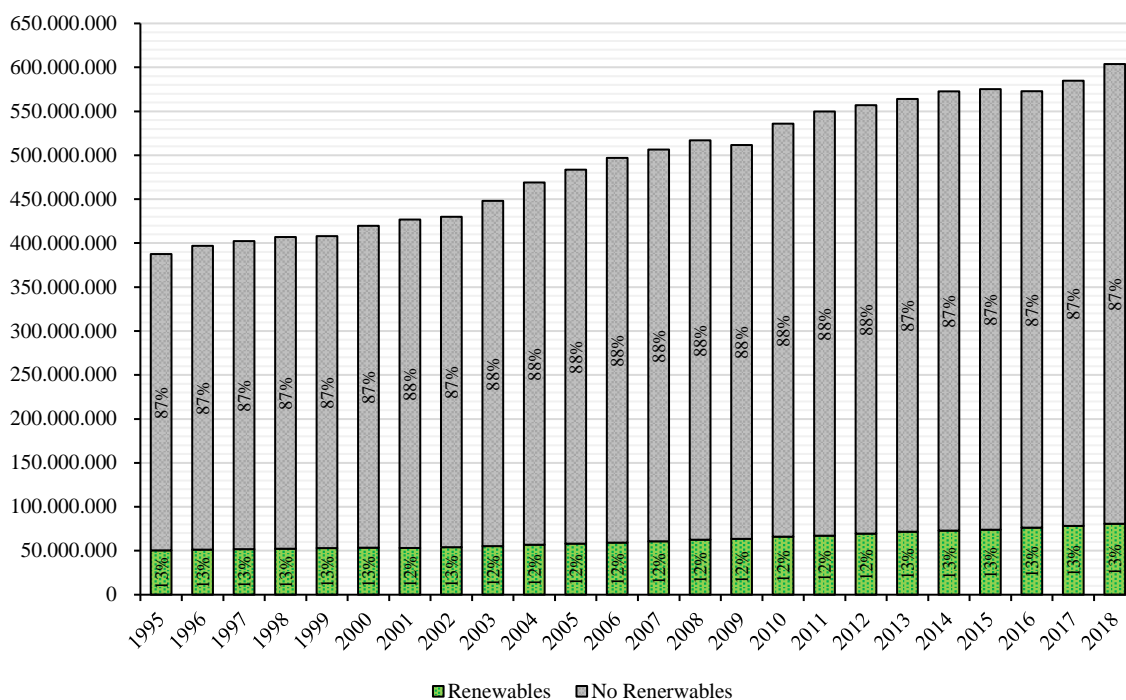
El gran reto para el sistema energético actual es transformarse en un sistema energético sostenible. Los estudios de revisiones históricas mencionados en el capítulo anterior han constatado que esa es una tarea compleja. Para lograr tal hecho, los procesos de transición energética no pueden limitarse a las alteraciones, transformaciones y cambios en las tecnologías, organización y estructuras de las instalaciones energéticas, sino que también han de considerar las instituciones sociales y económicas más amplias que representan la producción, distribución y consumo de energía. Elementos que juntos dan forma a la economía, la política, las prácticas culturales y sociales, las normas, los valores, las instituciones y una red de relaciones entre ellos (Elliott, 2015; C. A. Miller et al., 2013).

La noción de transición energética ha emergido más fuertemente en la última década y, como, ya hemos discutido en el capítulo anterior, no hay consenso sobre su contenido. La mayoría de los autores coinciden en que ésta engloba los procesos de cambios estructurales en el sistema energético y de descarbonización de nuestro futuro. Sin embargo, no hay consenso sobre el fin deseable de este proceso (Bridge et al., 2013). Así, por ejemplo, en los países del sur la transición energética implica un incremento esencial de la disponibilidad y asequibilidad de los servicios energéticos y, en algunos contextos, puede significar incluso un incremento de la intensidad del uso de carbono, como por ejemplo, el incremento de movilidad de personas (M. J. Bradshaw, 2010).

La transformación en el sistema energético es necesaria, sobre todo, por la preocupación de los efectos de ese sistema al medioambiente y el cambio climático. Por otra parte, el *modus operandi* del mercado, orientado por la política económica neoliberal, y el comportamiento irracional de maximización de las ganancias en detrimento de la naturaleza, genera una crisis sin precedentes para la civilización (Koumparou, 2018a; Moore, 2014). Por lo tanto, se requiere un redireccionamiento de los marcos socio-tecnológicos y socio-ecológicos existentes, rompiendo la actual dependencia de los recursos energéticos que pueda llevar a una sociedad verde (Koumparou, 2018b; Urry, 2015). En este sentido, las energías renovables son un elemento clave que contribuye, no solo a la conservación del medio ambiente, sino también al desarrollo económico y social (Saint Akadiri et al., 2019; Turnheim et al., 2015).

La transición energética hacia las energías renovables es una tarea difícil. Los datos de la Agencia Internacional de la Energía revelan que la participación en la producción de energía primaria a partir de fuentes renovables en el mundo apenas ha cambiado en las últimas décadas (Figura 2.1). Así, en 1971 las energías renovables representaban el 13,1% de la producción de energía primaria. En 2018 la participación fue casi idéntica: 13,8% (IEA, 2020a). Este lento ritmo de cambio se explica por una amplia gama de problemas, desde la forma ineficiente en que algunas personas y empresas utilizan la energía hasta la falta de información y/o conocimiento sobre la importancia de las energías limpias, la existencia de fallas de mercado o la accesibilidad a las materias primas (A. D. Owen, 2006; Painuly, 2001; S. Sen & Ganguly, 2017; Verbruggen et al., 2010).

Figura 2.1 – Evolución de la producción de energía (TJ) en el mundo por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la IEA (2020a).

En cuanto al consumo de energías renovables, los datos son un poco más alentadores. Según la comunidad global de actores renovables REN21, en 2019 el consumo mundial de energía renovable representó el 19,9% del consumo total de energía final (REN21, 2021). REN21 diferencia entre las energías renovables modernas y la

biomasa tradicional. Así, en 2019, las energías renovables modernas representaron el 11,2% del consumo final, 2,5 puntos porcentuales más que una década antes. Dentro de las energías renovables modernas, la más importante fue la electricidad renovable, que representó el 6% del consumo final, seguida del calor renovable (4,2%) y los biocombustibles de transporte (1%) (REN21, 2021).

En este contexto, puesto que el proceso de transición energética es un elemento clave dentro de los desafíos ambientales y de sostenibilidad globales (Turnheim et al., 2015), la mayoría de las organizaciones internacionales líderes en el mundo han establecido objetivos destinados a promover la sostenibilidad energética. Entre ellos, se destaca el séptimo objetivo de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para el año 2030, que es "garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos" (General Assembly, 2015). Otros dos grandes marcos globales para la transición del sistema energético, enmarcando la preocupación por la reducción de GEI, son el protocolo de Kioto (UNFCCC, 2021c), adoptado en 1997, pero que entró en vigor en 2005 y, con carácter, aún más universal, el Acuerdo de París en 2015 (UNFCCC, 2021a).

El Acuerdo de París es el primer acuerdo mundial legalmente vinculante sobre el cambio climático, que reúne a más de 190 países. De conformidad con el artículo 4, párrafo 12 del Acuerdo de París, los países deben comunicar sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs)<sup>21</sup> para reducir sus emisiones de GEI (UNFCCC, 2021b). En los estudios realizados por esta tesis, hemos contemplado países de la UE, considerando el bloque en su totalidad, formado por los 28 países en los últimos años estudiados.

A nivel global, en virtud de la ya mencionada preocupación con los fenómenos del cambio climático, existen una serie de estudios que tratan la transición energética y el proceso de gestión y uso de energía fueron a lo largo de las últimas décadas, justamente por ser la principal actividad responsable de causar esta situación.

En la década de los 70 surge el concepto de energía incorporada (Herendeen, 1973), basado en el pensamiento de los fisiócratas liderados por (Quesnay, 1758a), con un modelo de balance energético para explorar cómo los recursos energéticos primarios, a medida que el apoyo energético genuino entra, circulan y se emplean en la sociedad en

---

<sup>21</sup> Sigla en inglés correspondiente a "Nationally Determined Contributions".

forma de energía incorporada. Varios estudios fueron publicados utilizando ese modelo (Bullard & Herendeen, 1975a, 1975b; Hannon, 2010; Herendeen, 1978, 2004), además de propuestas de modelos híbridos para evaluar la contabilidad energética combinando los métodos tradicionales de análisis input-output (IOA)<sup>22</sup> y análisis del ciclo de vida (LCA)<sup>23</sup> y, así poder superar desventajas con la aplicación de un modelo aislado, ya empezaron a ser utilizados a finales de la década de los años de 1970 (Bullard et al., 1978).

La nueva crisis del petróleo de 1990 trae consigo una renovación del enfoque en la contabilidad energética, tanto a nivel nacional como entre diferentes países (Adelman, 1990). El trabajo de Arto et al. (2016) realiza una comparación del índice de desarrollo humano y la demanda total de energía primaria y la huella energética<sup>24</sup> primaria total. El estudio de Song et al. (2017) propone un problema de toma de decisiones en intervalos y aplica un análisis estocástico de aceptabilidad multicriterio para realizar una medición holística del rendimiento energético. El estudio de Wu & Chen (2017) presenta un análisis de entrada-salida de sistemas en escala cruzada para el uso de energía en la economía china.

Hay tres métodos diferentes comúnmente utilizados para evaluar y hacer análisis de los flujos de uso energético. El más conocido es el método IOA, que sobre la perspectiva del uso energético es considerado como esencial para análisis en escalas locales a globales (Dresselhaus & Thomas, 2001; Lan et al., 2016). Los otros dos métodos son más recientes, uno de ellos es el método LCA, que normalmente se emplea para evaluar productos o tecnologías específicos (Goldstein et al., 2013; Lee & Tzeng, 2008; Pehnt, 2006) y el otro es el de análisis de red ecológica (ENA)<sup>25</sup> que ha sido adaptado para el uso de evaluación de sostenibilidad de sistemas de energía (Kharrazi et al., 2014; Y. Zhang et al., 2010).

Estudios más recientes como el de Lan et al. (2016), hacen un análisis sobre el uso energético desde la óptica de la huella energética, presentando una visión general de los impulsores de la producción y consumo energético a nivel global y haciendo una

---

<sup>22</sup> Sigla en inglés correspondiente a “*Input-Output Analysis*”.

<sup>23</sup> Sigla en inglés correspondiente a “*Life Cycle Assessment*”.

<sup>24</sup> El término "huella energética" es reciente en la literatura y deriva del término "huella ecológica", ambos se refieren a la incorporación de los recursos naturales o materiales en las actividades económicas, en el caso de la huella energética es específica para el uso de energía (Feng, 2002; Wackernagel & Rees, 1996).

<sup>25</sup> Sigla en inglés correspondiente a “*Ecological Network Analysis*”.

descomposición estructural espacial de ese proceso, demostrando por medio de una regresión de mínimos cuadrados ponderados en la que para la mayoría de los países, la riqueza y el crecimiento de la población están generando huellas energéticas, que son parcialmente compensadas por el efecto retardador de la intensidad energética industrial.

Otro estudio es el de Chen et al. (2019) que hace una revisión general y presenta la cantidad de estudios publicados en la última década (2009-2018) centrados en el consumo de energía directo e indirecto con el objetivo de mejorar la sostenibilidad. Dicho estudio presenta los distintos métodos de análisis utilizados para evaluar la huella energética y sus ventajas y desventajas, proponiendo modelos híbridos para superar las desventajas del uso aislado de los métodos.

En líneas generales, las investigaciones destacan que los costes de la transición energética son múltiples y no se miden de manera sencilla y directa y por crecientes facturas por la electricidad. Hay que considerar la reestructuración de infraestructuras energéticas; las nuevas relaciones internacionales con los países que producen energía; los nuevos usos del suelo agrícola y de las zonas marítimas, su alto impacto visual y paisajístico, y algunos costes ambientales (Frolova Ignateva et al., 2014; Krauss et al., 2011).

Por otro lado, los beneficios generados no se limitan a los ambientales, sino que comprenden la creación tanto de producción como de empleo. Además los beneficios no serían sólo directos, es decir, debido al incremento en la demanda de aquellas industrias que proporcionan bienes y servicios que son necesarios para la construcción, el funcionamiento y el mantenimiento de las plantas, sino también indirectos, es decir, originados por el efecto que las nuevas inversiones tienen sobre los consumos intermedios de las diferentes actividades que integran el proceso productivo e, incluso, inducidos, por medio del aumento del gasto privado en bienes y servicios de los trabajadores.

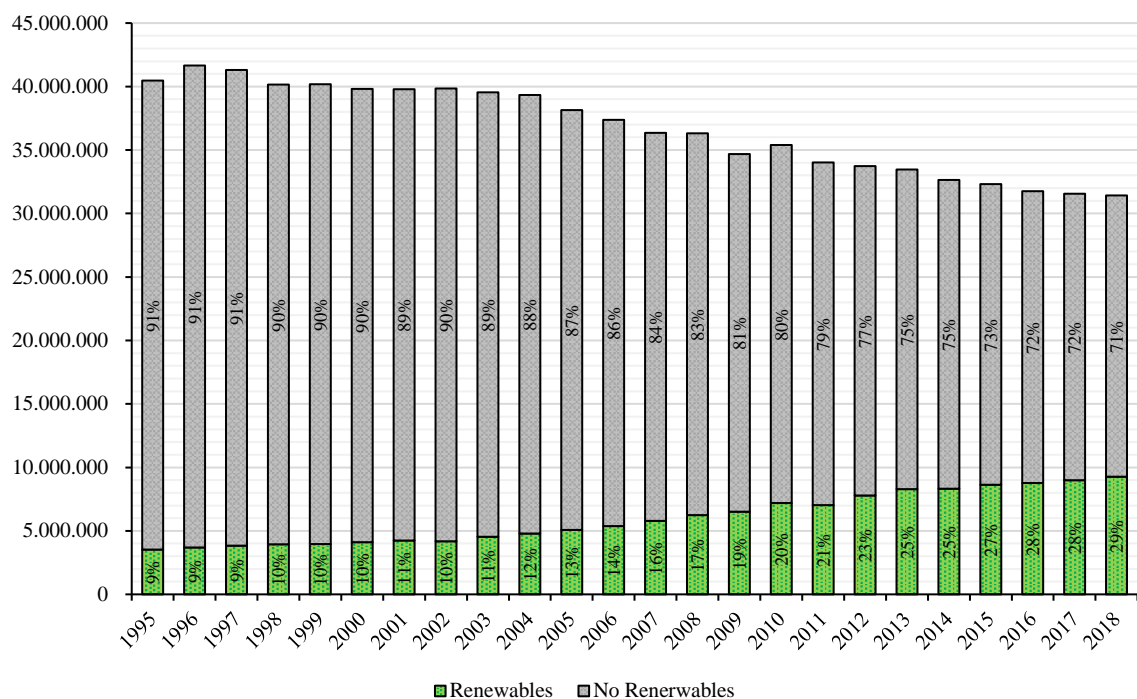
## 2.1. EL SISTEMA ENERGÉTICO DE LA UNIÓN EUROPEA Y SU NORMATIVA

Europa ha construido un marco favorable al desarrollo de las energías renovables desde principios del siglo XXI, bajo la preocupación generalizada de respuesta a los retos energéticos, que se refieren tanto a la sostenibilidad y a las emisiones de GEI, como a la mejora de la seguridad del suministro de energía. Los gobiernos europeos han apoyado

este desarrollo con una política energética que da preferencia a las energías renovables en detrimento de las convencionales con incentivos económicos (Cotella et al., 2016; Frolova et al., 2015b; Klessmann et al., 2011; Scarlat et al., 2015; Talavera et al., 2016).

Diferenciándose del panorama mundial, en la Unión Europea (UE-28) sí que se observa un cambio en la producción de energía hacia una transición energética con mayor participación de las fuentes renovables a lo largo del periodo 1995-2018 (Figura 2.2). Diferente de la evolución de la producción de energía mundial, en la Unión Europea, la producción de energía ha disminuido a lo largo de los años, la disminución en la producción de energía fue originada por la disminución en la producción de energía por fuentes no renovables. Mientras que, esa realidad no se aplica específicamente para la producción de energía por fuentes renovables, por ello la participación de esas fuentes presentó un aumento significativo en la producción de energía en la Unión Europea, incrementando 9% de participación en 1995 hasta el 29% de participación en 2018 (IEA, 2020a).

Figura 2.2 – Evolución de la producción de energía (TJ) en la Unión Europea (UE-28) por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la IEA (2020).

A finales del siglo XX la Comisión Europea ha publica uno de los grandes marcos para la política energética europea, el Libro Verde titulado “*For a European Union energy policy*”, constituye la primera fase de un abordaje en dos fases destinadas a desarrollar una estrategia que garantice una mayor utilización de las fuentes renovables de energía (European Commission, 1995a). El establecimiento de la estrategia en el dominio de las energías renovables se incluye en el Libro Branco de la Comisión “*An energy policy for the European Union*” (European Commission, 1995b).

Dando seguimiento al delineamiento de las políticas energéticas europeas, la Comisión publica en el año 2000 el Libro Verde titulado “*Towards a European strategy for the security of energy supply*” (European Commission, 2000). El referido documento apunta que el objetivo principal de una estrategia energética debe ser garantizar, para sus ciudadanos y para el buen funcionamiento de la economía, la disponibilidad física ininterrumpida de productos energéticos en el mercado a un precio asequible para todos los consumidores, respetando al mismo tiempo preocupaciones medioambientales y mirando hacia el desarrollo sostenible.

En 2006, otro Libro Verde denominado “*A European strategy for sustainable, competitive and secure energy*” describe tres objetivos principales para la política energética común de la UE: la Sostenibilidad, que se lograría a través de acciones que incluyen el desarrollo de fuentes de energía renovables competitivas, la difusión de combustibles alternativos para el transporte, la reducción de la demanda de energía dentro de Europa, el desarrollo de acciones globales para detener el cambio climático y mejorar la calidad del aire local; la Competitividad, que implica la promoción de un mercado interior de energía funcional, abierto y competitivo, para permitir mejoras en la eficiencia de las redes energéticas, una disminución de los precios de la energía, un aumento de las inversiones en producción de energía limpia y eficiencia energética y una mejora general de la economía de la UE en el escenario global; y la Seguridad de los suministros, lo que significa abordar la creciente dependencia de la UE de la energía importada a través de enfoques integrados. Estos posibles enfoques incluyen la promoción de la reducción de la demanda, el apoyo a la creciente diversificación del mix energética de la UE, con un mayor uso de fuentes de energía autóctonas y renovables, la diferenciación geográfica de los importadores y la promoción de inversiones en tecnologías energéticamente eficientes (European Commission, 2006).



En 2007 se estableció el Plan Estratégico de Tecnología Energética (SET-Plan) (European Commission, 2007), con la intención de acelerar el desarrollo de tecnologías energéticas bajas en carbono y así poder alcanzar los objetivos de energía y cambio climático de 2020 (European Commission, 2011). No obstante, las políticas europeas de energías renovables de la primera década del siglo XXI también han mostrado sus limitaciones. Quedó evidente que el marco político y económico de su implantación era inestable. Incluso algunos de los gobiernos más incentivadores, como el español, han adoptado a la retracción o supresión de las primas (Frolova Ignateva et al., 2014). Además, aunque la proliferación de instalaciones de las energías renovables en Europa es el resultado de una política ambiental planteada a escala global, las políticas nacionales que se aplicaron son esencialmente energéticas e industriales y, salvo algunas excepciones, tienen una dimensión territorial débil (Floch & Fortin, 2011).

En línea con el Acuerdo de París de 2015 sobre cambio climático, la UE (a través de la Comisión Europea), ha incluido dentro de su Estrategia Energética diferentes compromisos relacionados con el consumo de energías renovables, la mejora de la eficiencia energética y la reducción en las emisiones de GEI. Así, la Directiva (UE) 2018/2001 sobre promoción del uso de energía procedente de fuentes renovables establece un objetivo vinculante para la UE de una participación de al menos el 32% de la energía renovable consumida para 2030 (European Union, 2018b). La Directiva (UE) 2018/2002 sobre eficiencia energética (European Union, 2018a), establece un objetivo de eficiencia energética expresado en consumo de energía primaria y / o final de al menos el 32,5% para 2030. Por último, en lo que respecta a la gobernanza de la Unión de la Energía y la Acción por el Clima (European Union, 2018c), la Unión de la Energía incluye dentro de sus cinco dimensiones la descarbonización. En este sentido, la UE aprobó el objetivo de una reducción de al menos un 40% de las emisiones de GEI en toda la economía para 2030 en comparación con 1990. Desde una perspectiva a largo plazo, el objetivo es más ambicioso y para 2050 las emisiones de GEI en el sector energético. se espera que se reduzcan en más del 80% en comparación con 1990, ya que este sector produce la mayor parte de las emisiones de GEI provocadas por el hombre (European Commission, 2012).

El apoyo político directo, en forma de medidas de apoyo económico, administrativo, financiero y reglamentario, es esencial para el despliegue de las energías renovables. En este sentido, en 2015 estaban en marcha en los países de la UE, más de 1.300 medidas de apoyo para el desarrollo de las energías renovables. Las tarifas de

alimentación y las primas de alimentación fueron los principales sistemas de apoyo en el sector de la electricidad y se aplicaron en 24 países de la UE (Banja et al., 2018). En los últimos años, el interés se está desplazando hacia las subastas, ya que conducen a precios más bajos y tasas de realización más altas (REN21, 2021).

Los trabajos publicados en la última década (Devine-Wright, 2011; Hinrichs-Rahlwes, 2013; Lowitzsch, 2019; Tosun et al., 2015; Welsch et al., 2017) demuestran que la transición hacia la energía sostenible va por diferentes caminos en los países europeos. Mientras algunos países de Europa Central y del Norte, o incluso del Sur, como España e Italia, encabezan el proceso de transición energética, otros países se están resistiendo a este proceso (Frolova et al., 2015a). Este es el caso, por ejemplo, de algunos países de Europa Central y Oriental, como República Checa y Hungría, que tienen una herencia única de sistemas energéticos tradicionales y percepciones sociales y factores nacionales, ligados a sus experiencias del pasado, la visión por los agentes sociales de su papel y el papel de sus gobiernos en la lucha contra el cambio climático, también tienen un rol vital en la configuración de estos procesos (Camacho et al., 2021; Frolova et al., 2019).

Considerando las políticas energéticas más recientes, el final de la segunda década del siglo XXI, que enmarca el proceso hacia la transición a un sistema energético más limpio y la implantación de las energías renovables, y vuelve a tener un gran estímulo (Tabla 2.1). Este escenario reorienta la UE en la búsqueda por la disminución de la dependencia energética, y también la coloca como referencia respecto al desarrollo de tecnologías direccionadas a las fuentes de energías renovables.

La Tabla 2.1 presenta un resumen de la nueva legislación de la UE para el sistema energético. La Directiva (EU) 2018/844 establece que para lograr un parque de edificios descarbonizado y de alta eficiencia energética, los Estados miembros deben proporcionar pautas claras, promover el acceso equitativo a la financiación en los distintos segmentos del parque nacional de edificios (European Union, 2018d). La Regulación (EU) 2018/1999 aprobó el objetivo de una reducción de las emisiones de GEI en toda la economía para 2030 en comparación con 1990 (European Union, 2018c). La Directiva (UE) 2018/2001 que promueve la participación de las energías renovables para 2030 (European Union, 2018b). La Directiva (UE) 2018/2002 establece el objetivo de eficiencia energética para 2030 (European Union, 2018a). La Regulación (EU) 2019/941 establece que los mercados y sistemas de electricidad deben funcionar bien, con interconexiones eléctricas adecuadas, para garantizar la seguridad del suministro eléctrico

(European Union, 2019a). La Regulación (EU) 2019/942 reconoce que las intervenciones estatales fragmentadas en los mercados energéticos constituyen un riesgo creciente para el funcionamiento adecuado de los mercados eléctricos transfronterizos. Por ello, la UE establece que la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER) debe tener un papel en el desarrollo de una evaluación europea coordinada de la adecuación de los recursos (European Union, 2019d). Por fin, la Regulación (EU) 2019/943 y la Directiva (EU) 2019/944 sobre las nuevas normas para el mercado interior de la electricidad con vistas a contribuir a la seguridad del suministro y la sostenibilidad (European Union, 2019b, 2019c).

Tabla 2.1 – Paquete del proceso legislativo de la Comisión Europea hacia la energía limpia en los países de la Unión Europea

Objetivo	Propuesta de Comisión	Adopción del Parlamento	Adopción del Consejo	Publicación en Diario oficial
Eficiencia energética en edificios	30/11/2016	17/04/2018	14/05/2018	19/06/2018 - Directiva (EU) 2018/844
Gobierno de la Unión de la Energía		13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Regulación (EU) 2018/1999
Energía renovable		13/11/2018	04/12/2008	21/12/2018 - Directiva (EU) 2018/2001
Eficiencia energética		13/11/2018	04/12/2018	21/12/2018 - Directiva (EU) 2018/2002
Preparación para riesgos		26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulación (EU) 2019/941
ACER		26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulación (EU) 2019/942
Regulación de electricidad		26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Regulación (EU) 2019/943
Directiva de electricidad		26/03/2019	22/05/2019	14/06/2019 - Directiva (EU) 2019/944

Fuente: Elaboración propia

## 2.2. EL SISTEMA ENERGÉTICO DE BRASIL Y SUS NORMATIVAS

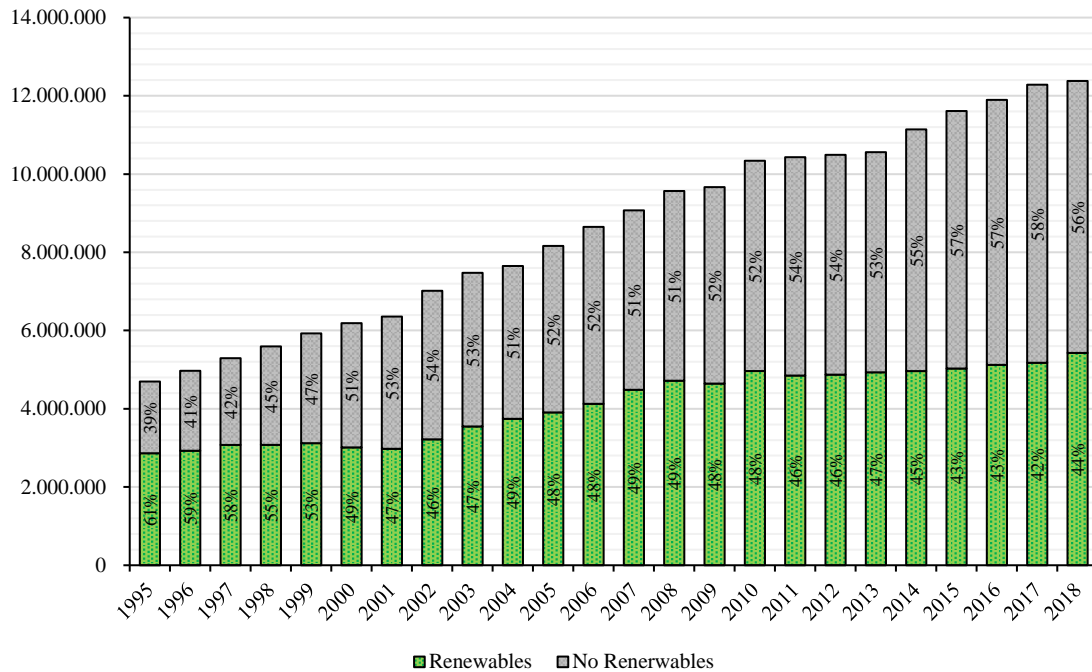
En las últimas décadas Brasil ha experimentado cambios radicales en su estructura económica, social y ambiental (Marconi et al., 2016; Wachsmann et al., 2009) y es una de las principales economías en desarrollo del mundo (IBGE, 2020; IPEA, 2020). Entre los grandes cambios experimentados por el país podemos destacar su aumento de la actividad industrial y las exportaciones y el consiguiente aumento del uso industrial de energía (Banday & Aneja, 2020; Bhat, 2018; Kim & Tromp, 2021; Marco Antônio Montoya et al., 2021). Así, a pesar de que durante el período 2014-2019 hubo una disminución anual del PIB industrial per cápita del 3,9%, la intensidad energética industrial creció a una tasa promedio anual del 1,3%. La razón principal fue el aumento de la participación de las industrias intensivas en energía (MME, 2020a).

Hoy en día, Brasil es el octavo proveedor de energía total más grande del mundo, siendo también el octavo productor y consumidor de electricidad más grande (IEA, 2020a). A pesar de que más del 80% del suministro total de electricidad se genera a través de energías renovables, el 54% del consumo energético del país todavía se basa en energía fósil. El petróleo y sus derivados presentan la mayor participación en el mix energético (34%), seguido del gas natural (12%) y el carbón (5%). Entre las energías renovables, la biomasa de la caña de azúcar es la fuente principal (18%), seguida de la energía hidroeléctrica (12,4%) y la leña y el carbón vegetal (8,7%) (MME, 2020a). Desde una perspectiva sectorial, en 2019 el transporte y el consumo industrial representaron más del 63% del consumo total de energía del país. Por el contrario, el consumo de los hogares solo representó el 10,3% del consumo total de energía (MME, 2020b). Es necesario señalar que existe una alta heterogeneidad en la intensidad energética entre industrias. Por lo tanto, si comparamos las participaciones en el consumo de energía final entre industrias, podemos destacar que solo tres industrias, a saber, acero, azúcar y celulosa y papel, representaron más de la mitad del consumo de energía final industrial. En términos de intensidad energética, la industria más intensiva en energía fue la de papel y celulosa (MME, 2020a).

Al observar la evolución de la producción de energía en Brasil se constata un aumento de casi el triple en 2018, comparado con 1995 (Figura 2.3), pero lo que ha crecido fue, sobre todo, la producción energética mediante fuentes no renovables. La participación en la producción energética de las fuentes renovables en el año 1995 era de

un 61%, presentando un descenso de participación en el año de 2018 hasta un 44% (IEA, 2020a). Ante de esta situación, está claro que Brasil necesita reorientar sus estrategias energéticas, si tiene la intención de caminar hacia a un sistema de energía limpio y que pueda cumplir las metas de reducción de GEI previstas.

Figura 2.3 – Evolución de la producción de energía (TJ) en Brasil por fuentes renovables y no renovables – 1995 – 2018



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la IEA (2020).

Considerando que el Acuerdo de París, en el cual Brasil está incluido y, respetando lo que expresa ese acuerdo en su artículo 4, párrafo 12 del Acuerdo de París, de que los países deben comunicar sus NDCs para reducir sus emisiones de GEI. La ambiciosa NDC brasileña se reformuló en 2020, que estableció un objetivo para reducir las emisiones de GEI en un 37% en 2025 y en un 43% en 2030, en comparación con los niveles de 2005. El logro de este objetivo se basa principalmente en aumentar la participación de “otras energías renovables”, como la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y los biocombustibles (M. A. Lima et al., 2020; M. G. Pereira et al., 2012), ya que la energía hidroeléctrica es altamente dependiente del ciclo hidrológico (Mendes & Sthel, 2017). Gurgel et al. (2019) destacan que, el uso de energía fósil es uno de los principales factores explicativos de las emisiones de GEI en Brasil, en combinación con la agricultura y los cambios de uso de la tierra y la deforestación.

### 2.2.1. Revisión de estudios sobre energía en Brasil

Son muchos los estudios publicados sobre energía que involucran el Brasil, solamente en los últimos años (de 2017 hasta hoy), fueron casi 80 mil estudios publicados en la plataforma *Google Scholar* que están relacionados a la energía en Brasil, los estudios contemplan varias perspectivas, distintas formas de análisis, el empleo de distintas metodologías y contribuciones en los más distintos ámbitos, económicos, sociales y ambientales.

En nivel general, los estudios sobre energía en Brasil van desde de la perspectiva de políticas energéticas y modelo o matriz energética (Aquila et al., 2017; N. B. Carvalho et al., 2020), transición energética (A. Bradshaw & de Martino Jannuzzi, 2019), reglamentación energética (A. Bradshaw, 2017; Vilaça Gomes et al., 2018), hasta aspectos más específicos, cuanto a fuentes de energía (Bernal et al., 2017; Carstens & Cunha, 2019; Dias et al., 2017; A. Ferreira et al., 2018; L. R. A. Ferreira et al., 2018), sectores de actividad (García Kerdan, Giarola, et al., 2019; L. P. de Lima et al., 2018), con relación a aspectos económicos (Banday & Aneja, 2020; Bhat, 2018; de Oliveira Noronha et al., 2019), aspectos ambientales (F. C. De Oliveira & Coelho, 2017; Schaeffer et al., 2019), que combinan los dos últimos aspectos (Lefèvre et al., 2018), aspectos sociales (Rao et al., 2019) y que congregan los tres aspectos antes mencionados, sobre una abordaje del desarrollo sostenible local (González et al., 2017).

Ese gran interés por el tema en el país es estimulado por una serie de factores. Brasil presenta una matriz energética muy variada (EPE, 2020; IEA, 2020b), por las ventajas comparativas que el país posee, relacionadas con cuestiones naturales y geográficas, como gran disponibilidad de recursos naturales renovables y no renovables, extensión territorial en escala continental, hidrografía abundante, allá de una franja costera elevada, coexistencia de varios biomas y gran variación climática, factores que aportan a Brasil un gran potencial energético, sobre todo, en energías renovables (Meisen & Hubert, 2010; M. G. Pereira et al., 2012).

Brasil posee una de las matrices energéticas más limpias del mundo industrializado, constituida por un 46,1% de fuentes de energía renovables, mientras que la media mundial es de apenas un 13,9%. Si consideramos solamente la matriz eléctrica, la participación de las fuentes renovables sube hasta un 83%, mientras que en el mundo

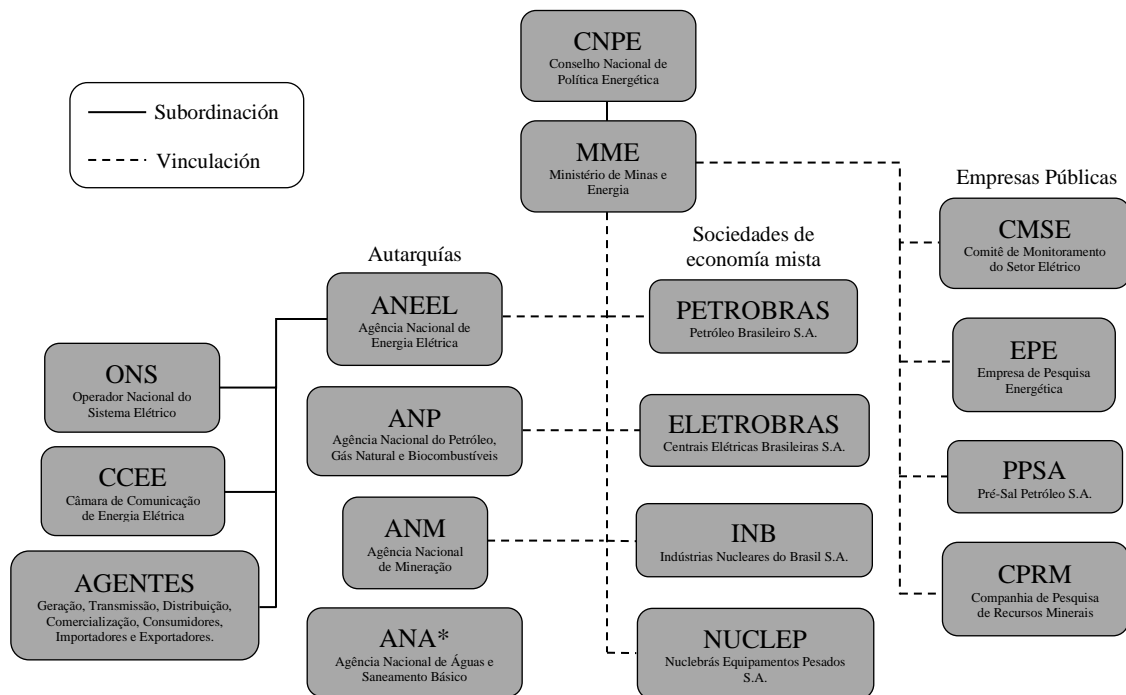
la media de participación de las fuentes renovables en la matriz eléctrica es de un 22% (EPE, 2020; IEA, 2020b). Brasil es el tercer país con mayor capacidad de energía renovable, tras de China y Estados Unidos (REN21, 2021).

Además de los aspectos naturales, Brasil también posee características de ventajas competitivas, como población elevada que conlleva a una alta demanda energética, es la mayor economía de América Latina en producto interno bruto y, en este quesito, aunque haya sufrido con las últimas crisis mundiales, la de 2008 y reforzada por la crisis pandémica actual generada por la covid-19, posee un potencial de crecimiento junto con otras grandes economías emergentes como Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS), esperado para las próximas décadas como el grupo de países impulsores del crecimiento mundial (V. S. Carvalho & Vieira, 2013; González et al., 2017; Vieira & Veríssimo, 2009).

#### 2.2.2. Estructuración y marco regulatorio institucional del sistema energético brasileño

Brasil, por el hecho de tener una matriz energética bastante variada, posee una estructura organizacional del sistema energético, distribuida entre autarquías, empresas públicas y también de economías mixtas y otras instituciones que están subordinadas o vinculadas al Consejo Nacional de Política Energética (CNPE), seguido por el Ministerio de Minas y Energía (MME), como muestra la Figura 2.4.

Figura 2.4 – Estructura organizacional del sector energético brasileño



**Fuente:** Adaptado del (MME, 2021a)

**Nota:** \*La ANA está vinculada al Ministerio de Desarrollo Regional y es responsable por la gestión de recursos hídricos en conjunto con la ONS (ANA, 2021).

La designación o responsabilidad de las principales instituciones representadas en el organigrama del sistema energético brasileño es presentado a seguir:

- CNPE: Asesora al presidente de la república y define la política energética del país, con el objetivo de garantizar la estabilidad del suministro energético. Ha sido creado por la Ley nº 9.478/1997 y reglamentado por el Decreto nº 3.520/2000 (CNPE, 2021).
- MME: Fue creado en 1960 por la Ley nº 3.782/1960 y en 1990 fue extinguido por la Ley nº 8.028/1990, transfiriendo sus atribuciones al Ministerio de la Infraestructura, creado esa misma ley. El Ministerio de Minas y Energía volvió a ser creado en 1992, por medio de la Ley nº 8.422/1992, siendo responsable de la planificación, gestión y desarrollo de la legislación del sector, así como de la supervisión y control de la ejecución de las políticas vinculadas al desarrollo energético del país (MME, 2021e).



- CMSE: Supervisa la continuidad y la confiabilidad del suministro eléctrico. Fue creada por la Ley n° 10.848/2004 y está regulada por el Decreto n° 5.175 de agosto de 2004. (CMSE, 2021)
- EPE: Creada en 2004 por la Ley n° 10.847/2004 y regulada por el Decreto n° 5.184/2004, realiza la planificación de la expansión de la generación y transmisión, a servicio del MME, y da soporte técnico para la realización de subastas (EPE, 2021).
- PPSA: Es la Empresa Brasileña de Administración de Petróleo y Gas Natural – Pré-Sal Petróleo S.A, fue autorizada por la Ley n° 12.304/2010. Se creó en agosto de 2013, con la publicación del Decreto n° 8.603/2013 (PPSA, 2021).
- CPRM: Inicialmente creada como empresa de economía mixta en el año 1969 con el Decreto-Ley n° 764/1969, regulada por el Decreto n° 66.058/1970, en el año de 1994 tuvo su régimen cambiado para empresa pública por medio de la Ley n° 8.970/1994 y reglamentada por el Decreto n° 1524/1995, pasando entonces a hacer el servicio geológico en el país (CPRM, 2021).
- ANEEL: Regula y fiscaliza la generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad. Define las tarifas de transporte y consumo, y garantiza el equilibrio económico-financiero de las concesiones. La ANEEL ha sido instituida por la Ley n° 9.427/1996 y tuvo su constitución normatizada por el Decreto n° 2.335/1997. (ANEEL, 2021)
- ANP: Creada en 1997 por la Ley n° 9.478/1997 y regulada por el Decreto n° 2.455/1998. Regula, contrata y fiscaliza las industrias de petróleo, gas natural y de biocombustibles en el país, está vinculada al MME y es una autarquía federal que ejecuta la política nacional para el sector, con intuito de garantizar el abastecimiento de combustibles y en la defensa del interés de los consumidores (ANP, 2021).
- ANM: En substitución al Departamento Nacional de Producción Mineral - DNPM, se creó la Agencia Nacional de Minería como autarquía federal sobre régimen especial, por la Ley n° 13.575/2017, vinculada al MME, tiene la finalidad de promocionar la planificación y promoción de la explotación mineral y del aprovechamiento de los recursos minerales, así como garantizar, controlar y

fiscalizar el ejercicio de las actividades de minería en el país (ANM, 2021; MME, 2021b).

- ONS: Fue creado por la Ley n° 9.648/1998, y regulado por el Decreto n° 2.655/1998, con modificaciones introducidas por la Ley n° 10.848/2004 y reglamentadas en el Decreto n° 5.081/2004. Controla la operación del Sistema Interconectado Nacional (SIN) de manera a optimizar los recursos energéticos (ONS, 2021).
- CCEE: Fue creada en 2004 por la Ley 10.848/2004 y regulada por el Decreto n° 5.177/2004. Tiene la función de acompañar y evaluar permanentemente la continuidad y la seguridad del suministro eléctrico en todo el territorio nacional, administrando las transacciones del mercado de energía y realizando las subastas oficiales (CCEE, 2021; MME, 2021c).
- Petrobras: Creada en 1953 por la Ley n° 2.004/1953, la empresa es responsable por la ejecución del monopolio estatal del petróleo para investigación, explotación, refino del producto nacional y extranjero, transporte marítimo y sistema de ductos. La Ley n° 2.004 ha sido derogada por la Ley n° 9.478/1997, que autoriza el funcionamiento de la Petrobras, manteniendo el monopolio estatal, pero abriendo las actividades de la industria petrolífera a empresas constituidas sobre las leyes brasileñas, con sede y administración en el País (Petrobras, 2021).
- Eletrobras: Fue creada por la Ley n° 3.890/1961 para realiza estudios, proyectos, construcción y operación de usinas productoras y líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica, así como la celebración de los actos de comercio que surjan de estas actividades, mientras que no aprobado el Plan Nacional de Electrificación (Eletrobras, 2021; MME, 2021d).
- INB: Fue fundada en 1988 por el Decreto-Ley n° 2.464/1988, incorporando las empresas que hacían parte de la Nuclebrás, creada para cumplir el Acuerdo Nuclear Brasil - Alemania. Tiene el objetivo de concentrar todo el ciclo de producción del combustible nuclear, desde la minería hasta el montaje y entrega del elemento combustible, siendo idealizada para impulsar la producción de la energía nuclear en el país (INB, 2021a, 2021b).
- NUCLEP: Vinculada al Ministerio de Minas y Energía, fue creada por el Decreto 76.805/1975, como una empresa estratégica para servir al Programa Nuclear

Brasileño, siendo responsable del desarrollo y producción de plantas de reemplazo (NUCLEP, 2021).

### 2.2.3. Programas y reglamentación del sistema energético brasileño

En la década de los años 70, con el shock del precio del petróleo, muchos países fueron obligados a buscar una alternativa para disminuir la dependencia exterior del petróleo. En Brasil uno de los programas que se instituyó como respuesta a esa cuestión fue el Programa Nacional de Alcohol (*Pró-Álcool*) en 1975, centrándose en el desarrollo del combustible de etanol a base de caña de azúcar, como sustituto de la gasolina (de Melo et al., 2016).

Con relación a la transición energética hacia las fuente de energía renovable, el Brasil no dio gran importancia hasta la crisis del suministro de energía que el país vivenció en 2001 (Cavaliero & Da Silva, 2005). En el año siguiente (2002) el gobierno brasileño creó el Programa Brasileño de Incentivos para Fuentes Alternativas de Electricidad (PROINFA), por medio de la Ley n° 10.438/2002, el PROINFA tenía el intuito de promover la energía eólica, las pequeñas centrales hidroeléctricas y la energía proveniente de la biomasa, con el objetivo de aumentar la participación de dichas fuentes energéticas al 10% del consumo de electricidad de Brasil en 2020 (M. G. Pereira et al., 2012).

Sucediente a eso, se crearon varios proyectos para promoción de la energía renovable en el país, de construcción de parques eólicos, de pequeñas centrales hidroeléctricas, el gobierno creó el Programa “*Minha casa, minha vida*” que utilizaba energía solar en todas las casas construidas por el programa (Pao & Fu, 2013). Además de la institucionalización de un marco legal en 2004 para adecuación del suministro de energía en el país y para el desarrollo tecnologías específicas, entre ellas para las fuentes de energía eólica, solar y biomasa (Batlle et al., 2010). Después de este período surgieron varias nuevas empresas en el sector y la Asociación Brasileña de las Industrias de la Biomasa y Energía Renovable (ABIB), para dar apoyo al desarrollo industrial del sector y atender a la nueva demanda en energía renovable (Pao & Fu, 2013).

#### 2.2.4. El sistema eléctrico brasileño

El sector eléctrico brasileiro está históricamente estructurado en torno a los recursos hídricos del país (A. Bradshaw & de Martino Jannuzzi, 2019) y altamente centralizado por el Estado (A. Bradshaw, 2017). En 1962 fue creada la Eletrobras, empresa gubernamental, por donde el gobierno central poseía y administraba el sistema de transmisión de energía eléctrica y generaba la mayor parte de la electricidad (Bajay, 2006). Delante del avance industrial y del desarrollo económico dirigido por el Estado, la generación de electricidad en la década de los años 70, entonces centralizada en el gobierno, pasó a ser constituida de más del 80% por energía hidroeléctrica (A. de Oliveira, 2007).

En la década de los años 80, con el impacto de la crisis del petróleo generando una inestabilidad económica, el modelo institucional del sector eléctrico brasileño, basado en una fuerte participación del Estado, demostró su agotamiento, habiendo incurrido en grandes deudas, lo que llevó a la búsqueda de alternativas (A. Bradshaw, 2017; A. de Oliveira, 2007). Entonces en los años 90, el gobierno implementa una ideología política de privatización para introducir competencia y atraer inversión extranjera, reduciendo en el sector eléctrico su actuación en la producción y el suministro de electricidad, llegando a principios de los años 2000 en la privatización de los activos de distribución alrededor del 70% y de la capacidad de generación alrededor del 30% (Bajay, 2006).

Como muestra en la sección “2.2.2”, varias de las instituciones reguladoras independientes fueron introducidas en el país como fruto del Programa Nacional de Privatización. Además de autarquía federal designada a regular el sistema eléctrico nacional, la ANEEL. En 1997 fueron creadas otras instituciones complementarias para formar el nuevo modelo de planificación energética, en 1998 fue creada la ONS y en 2004, sobre las nuevas leyes del sistema energético (Leyes nº 10.847/2004 y 10.848/2004), fueron creadas la CMSE, EPE y CCEE, todas con el intuito de mejorar la eficiencia del sector eléctrico introduciendo profesionales con experiencia técnica para administrar el sector (Amann & Baer, 2005; Hochstetler & Ricardo Tranjan, 2016).

### 2.2.5. Revisión de los avances para la electricidad en Brasil

El número de estudios que aportan contribuciones novedosas para el sistema de producción eléctrica en el Brasil es bastante vasto, sobre todo en los últimos años. Contemplan las más distintas fuentes de energía presentes en el país, con un gran número de estudios que contemplan las fuentes de energías renovables, que visan una transición energética sostenible, como el biodiesel (da Silva César et al., 2019; F. C. De Oliveira & Coelho, 2017; dos Santos Alves et al., 2017; Miranda et al., 2018; Mota et al., 2019; Silva Filho et al., 2018; S. P. Souza et al., 2018; Woyann et al., 2019), el biogás (Bernal et al., 2017; Borges et al., 2021; L. G. S. De Oliveira & Negro, 2019; F. F. Freitas et al., 2019; Guerini Filho et al., 2018; I. Z. Pereira et al., 2020; I. F. S. dos Santos et al., 2018; Silva dos Santos et al., 2018; Silva Neto & Gallo, 2021), la biomasa (da Silva et al., 2018; M. G. B. dos Santos et al., 2021; Fialho et al., 2019; Mendoza Martinez et al., 2019; R. A. Morais et al., 2017; F. S. G. Pereira et al., 2018; P. J. de O. P. de Souza et al., 2017; T. R. Teixeira et al., 2018; Welfle, 2017), con la caña de azúcar (Carpio & Simone de Souza, 2017; Jaiswal et al., 2017; Joppert et al., 2017), la eólica *onshore* (Bernardes et al., 2018; de Jong et al., 2017; Khosravi et al., 2018; J. de A. Y. Lucena & Lucena, 2019; Pes et al., 2017) y eólica *offshore* (de Assis Tavares et al., 2020; Sant'Anna de Sousa Gomes et al., 2019), geotérmica (Descovi & Vieira, 2019; Gomes & Gomes, 2018; T. S. O. Morais & Tsuha, 2018), hidráulica (de Faria & Jaramillo, 2017; de Souza Dias et al., 2018; Oliveira Tiezzi et al., 2018; Passos de Aragão et al., 2020), maremotriz (Marta-Almeida et al., 2017; Neto et al., 2017; Progênio et al., 2020; Shadman et al., 2019), solar fotovoltaica (Carstens & Cunha, 2019; M. Carvalho & Delgado, 2017; A. Ferreira et al., 2018; Garlet et al., 2019; Rigo et al., 2019; Zilli et al., 2018), solar térmica (Azevêdo et al., 2017; Fichter et al., 2017; Lenz et al., 2017; Vieira de Souza & Gilmanova Cavalcante, 2017).

Además de estudios con propuestas de sistemas de generación de energía híbridos, como entre las fuentes hidráulica y solar fotovoltaica (Stubiener et al., 2020; Vasco, Silva, Beluco, et al., 2019; Vasco, Silva, Canales, et al., 2019), entre las fuentes eólica, solar y mareomotriz (Neto et al., 2020), entre la hidráulica, solar y eólica con almacenamiento de energía por bombeo (Libanori et al., 2018), entre la hidráulica y eólica para la producción de hidrógeno para generación de energía (Nadaleti et al., 2020), entre la eólica y solar (Lara Filho et al., 2019), propuesta de integración, entre las fuentes solar térmica, fotovoltaica y biomasa en un hospital (Pina et al., 2018), propuestas de

generación de energía a partir de desechos animales y aguas residuales (A. C. L. de Oliveira et al., 2020).

Por otra parte, el Brasil también posee una gran oferta de fuentes energéticas fósiles, que son consideradas, entre otras cuestiones, para garantizar una mayor seguridad energética para el país, además de aprovechar su potencial de producción para obtención de un sistema energético más competitivo, aunque la participación de las fuentes de energía fósiles es pequeña en la producción de electricidad en Brasil (IEA, 2020a). En este sentido hay bastante estudios sobre este tipo de fuentes en Brasil para la generación de electricidad, entre ellas, el carbón mineral (A. P. de Oliveira et al., 2020), el gas natural (Campos et al., 2017; García Kerdan, Jalil-Vega, et al., 2019; Gomes Relva et al., 2020; Leal et al., 2017, 2019; Nascimento et al., 2020), gas de esquisto (Lenhard et al., 2018), la fuente nuclear (Estanislau et al., 2021), dentro de la nuclear el uranio (W. de S. Pereira et al., 2018), considerando que el Brasil es uno de los pocos productores en el mundo, del gas de petróleo licuado (Coelho et al., 2018), propuestas de sistemas híbridos entre el diésel y otras fuentes renovables (Galindo Noguera et al., 2018; Maciel De Melo et al., 2019; Maurício Araújo et al., 2017; Vale et al., 2018), por fin el estudio de (Peyerl et al., 2018) presenta un estudio sobre las perspectivas de las fuentes de energía fósiles en el país.

En el capítulo siguiente se presenta el marco metodológico central de esta tesis, basada en el modelo input-output.



## CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO

Esta tesis se centra en el análisis del uso energético a nivel global, a partir de la estructura productiva de las economías. El método de análisis utilizado ha sido el análisis input-output multirregional (MRIO), con la aplicación de un vector energético que permite estimar el uso energético en las cadenas productivas de valor y observar sus flujos intersectoriales por medio del comportamiento de la demanda.

Considerando lo anterior, este capítulo presenta los orígenes históricos de la construcción del marco input-output, sus avances, adaptaciones y ampliaciones, hasta llegar a la aplicación del método para estimar la contabilidad del uso energético intersectorial en las cadenas globales de valor.

### 3.1. EL MARCO INPUT-OUTPUT: ORÍGENES Y APLICACIONES RECIENTES

Aunque el análisis IO fue popularizado por Wassily Leontief entre las décadas de 1930 y 1940, para comprender el desarrollo de esta metodología es necesario retroceder dos siglos más, hasta llegar al primer intento de representar la economía de un país de forma esquemática con un modelo de equilibrio general.

Ese primer intento tiene su origen en la escuela fisiocrática cuando François Quesnay, máximo representante de dicha corriente económica, publica el “*Tableau Économique*” (Quesnay, 1758a). El propósito de la tabla parte de la lógica de un principio básico de la doctrina fisiocrática: la agricultura es una actividad económica productiva y la actividad manufacturera es “estéril”, es decir, su producción no vale más que los insumos agrícolas que incorpora. Así, la tabla ilustra ese funcionamiento con la inversión en la agricultura produciendo un excedente que se divide entre los propietarios y los artesanos que realizan las actividades estériles (Baumol, 2000). Este modelo sirvió de base para que otros autores propusieran modelos de interrelaciones económicas.

Aunque los economistas clásicos discutieron el trabajo de los fisiócratas, fue Karl Marx quien prestó especial atención al modelo de Quesnay, transcribiendo su obra a un sistema matricial de ecuaciones por medio de los modelos de reproducción simple y reproducción ampliada (Marx, 1867). Más tarde, León Walras desarrolló un método



amplio y complejo para tratar los mercados, llamado análisis del equilibrio general, a partir del cual enunció una teoría general del equilibrio económico expresada en términos de ecuaciones funcionales que describían la interacciones entre compradores y vendedores y las transacciones entre los distintos agentes económicos (Walras, 1874).

La obra de Walras fue considerada en su momento como “poco útil”, debido a su elevada complejidad. Era una obra escrita directamente para economistas, lo que dificultó su comprensión inicial (Roll, 2014). Debido a ello, el reconocimiento de la obra de Walras no llegó hasta el siglo siguiente, cuando Leontief presentó un modelo neo-walrasiano en el que simplificaba el planteamiento inicial, estableciendo, de este modo, la formulación clásica del método input-output (IO) (Baumol, 2000; del Castillo Cuervo-Arango, 1988).

La metodología de análisis IO fue introducida por Wassily W. Leontief (1936) en el artículo denominado “*Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States*”, que fue posteriormente desarrollado en su obra “*The structure of the American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis*” (Leontief, 1941). El método IO implica el establecimiento de una tabla de insumos y productos relacionada entre sectores, así como un sistema de ecuaciones de álgebra lineal. Tanto la tabla como el sistema de ecuaciones reflejan las interacciones monetarias entre los diferentes sectores económicos y, por tanto, revelan la asignación del producto sectorial y la composición del insumo sectorial (R. E. Miller & Blair, 2009).

La introducción del modelo IO, a la luz del análisis de la interdependencia, ofrece una herramienta con una amplia gama de usos. Así, las técnicas IO se han aplicado a diversos temas, como el comercio internacional, la economía del medio ambiente y las cuestiones de productividad. Tal característica demuestra la gran importancia de la herramienta, que resulta indispensable en muchas ocasiones para el análisis de dichos temas (Baumol, 2000; Baumol & Wolff, 1981)

Según Miller & Blair (2009), el modelo tradicional IO generalmente se centra en la situación económica de un país o región en concreto con la intención de abordar los problemas económicos de esos territorios específicos. Sin embargo, en fechas recientes, también se han desarrollado extensiones y nuevas propuestas de modelos IO destinadas a analizar la situación económica de múltiples regiones, como son los modelos input-output multirregionales (MRIO), siendo unas de las metodologías más aplicadas en economía a distintas escalas geográficas; local, regional, nacional e internacional (Baumol, 2000).

La aplicación del análisis IO para evaluar cuestiones medioambientales también fue propuesta por Leontief a principios de los años de 1970. Utilizando la ampliación de su modelo clásico con una extensión medioambiental, que presenta el impacto ambiental causado por las actividades económicas, es decir, el marco contable basado en la demanda final (Leontief, 1970), y que fue aplicada dos años más tarde en el estudio de Leontief & Ford (1972), constituyéndose tanto como un modelo y como un marco contable.

Partiendo de ese punto, y conforme ya hemos presentado en las secciones anteriores de ese capítulo, el modelo inicial de Leontief fue desarrollado y utilizado por una serie de investigadores para analizar diversas cuestiones heterogéneas asociadas a la economía, desde temas sociales, de comercio, de trabajo, hasta temas como el uso de recursos, ecología, energía y ciencias ambientales (T. Wiedmann, 2009). Considerando estos últimos campos mencionados, se ha intensificado enormemente en las últimas décadas el número de estudios basados en el análisis IO para analizar las relaciones entre economía y medio ambiente, siendo el modelo MRIO ampliamente utilizado para ello.

Los modelos MRIO, en realidad, son los análisis IO que emplean tablas MRIO, que se utilizan comúnmente para la evaluación de los impactos ambientales generados por las actividades económicas (Camacho et al., 2021). Actualmente, hay una serie de bases de datos que proporcionan tablas MRIO a nivel global, con diferentes clasificaciones regionales y sectoriales: como la base de datos EORA (Lenzen et al., 2012, 2013); la *World Input–Output Database* (WIOD) (Timmer et al. 2015,2016), que después la Comisión Europea ofreció una actualización por medio del *Join Research Centre* (JRC) (Corsatea et al., 2019); la base de datos del *Global Trade Analysis Project* (GTAP) (Aguiar et al., 2019); La EXIOBASE (Stadler et al., 2018; Wood et al., 2018) que es un producto del proyecto EXIOPOL (Tukker et al., 2013); y la base de datos IO de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE-ICIO<sup>26</sup>), que se basa en el Informe de las Naciones Unidas de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (ISIC<sup>27</sup>) de todas las actividades Económicas (OECD, 2021).

En la Tabla 3.1 se resumen las características de las principales bases de datos de las tablas MRIO globales mencionadas.

<sup>26</sup> OECD Inter-Country Input-Output.

<sup>27</sup> International Standard Industrial Classification.

Tabla 3.1 – Principales bases de datos MRIO

<b>Base de datos</b>	<b>Periodo</b>	<b>Países o regiones</b>	<b>Sectores</b>	<b>Extensión ambiental (EA)</b>	<b>Último año de EA</b>
EORA	1990-2015	189 países y RM	26	Incluida	2015
EXIOBASE	1995-2011	43 países, 5 regiones RM	164	Incluida	2011
GTAP	2004/2007/ 2011/2014	121 países, 20 regiones	65	Incluida	2014
OECD - ICIO	1995-2018	66 países	45	No incluida	–
WIOD - JRC	2000-2016	41 países y RM	64	Incluida	2016

Notas: RM - Resto del Mundo.

Fuente: Elaboración propia.

El modelo MRIO con extensión ambiental permite evaluar el impacto ambiental que las actividades económicas generan a través de diversos medios, por ello, ha sido aplicado en múltiples estudios: emisiones de CO<sub>2</sub> (Shaoqing Chen, Long, et al., 2020; W. Chen et al., 2019; Z. M. Chen & Chen, 2011a; Deng & Xu, 2017; Lenzen et al., 2004; H. Liu et al., 2020; Su et al., 2013; Su & Ang, 2013, 2014; P. P. Wang et al., 2021; S. Wu & Zou, 2021; D. Zhang et al., 2021), uso del suelo (Bjelle et al., 2021; B. Chen, Han, et al., 2018; G. Q. Chen & Han, 2015; X. Liu et al., 2021; J. Wang et al., 2021; X. D. Wu et al., 2018), uso del agua (Arto, Andreoni, et al., 2016; Bunsen et al., 2021; B. Chen, Han, et al., 2018; Daniels et al., 2011; Egilmez et al., 2020; B. Li et al., 2021; X. D. Wu, Guo, Li, et al., 2019) o emisiones de mercurio (B. Chen et al., 2017; G. Q. Chen et al., 2016; Yumeng Li et al., 2020; Liang et al., 2021), entre otras.

En este estudio el modelo MRIO se aplica al uso de la energía. Estudios previos analizan el uso energético a través del modelo MRIO basándose en el consumo total (Akizu-Gardoki et al., 2021; G. Q. Chen & Wu, 2017; Z.-M. Chen & Chen, 2013; Z. M. Chen & Chen, 2011b; Meng et al., 2020; Marco Antônio Montoya et al., 2021; F. Wang et al., 2021; Q. Wang & Liu, 2021; X. D. Wu, Guo, Ji, et al., 2019; X. D. Wu, Guo, Meng, et al., 2019). Sin embargo, en esta disertación se analiza el uso energético a partir de las demandas finales nacional y del resto del mundo, distinguiendo el origen de la energía (si

es doméstica o importada), lo que permite el análisis del efecto país, para los distintos países analizados.

Las investigaciones antes mencionadas confirman que el análisis MRIO es una herramienta eficaz para describir las interacciones entre sectores y regiones y, por consiguiente, con su extensión ambiental, para contabilizar el uso energético desde diferentes perspectivas, basadas en la producción o el consumo. Por lo anterior, el análisis de IO se ha aplicado ampliamente en estudios relacionados y se ha elegido como herramienta central de esa tesis.

### 3.2. INPUT-OUTPUT Y ENERGÍA: DE LA CONTABILIDAD ENERGÉTICA A LOS MODELOS MULTIREGIONALES

Las tablas IO pueden ser construidas en términos monetarios, físicos o incluso con una combinación de ambos, las llamadas tablas híbridas. Por ello, es posible evaluar y hacer análisis de diferentes impactos sobre el medio ambiente por determinado sector o actividad económica, sea en términos físicos y/o híbridos (R. Hoekstra, 2005). En el caso del uso energético éste se expresa en unidades físicas, como se explica a continuación.

El análisis de entrada y salida de energía parte del modelo tradicional de Leontief (Leontief, 1936), pero cambia la ecuación de balance a unidades de energía usando intensidades energéticas (Casler & Wilbur, 1984). Como complemento al análisis de los flujos de energía en la economía, Hannon (1973) desarrolló un marco para el análisis de la energía en los ecosistemas. En este modelo, el flujo de producción de energía comprende entradas de energía (como el sol) y flujos de energía intrasistema (como la hierba). Los componentes del sistema son las fuentes de energía y los individuos, especies o niveles tróficos y los flujos de energía respiratoria son aquellos flujos de energía que no tienen consumidor.

El principal factor que generó el surgimiento de los estudios de contabilidad energética fue la crisis del petróleo de los años 70, que resultó en una crisis energética en la que la electricidad, la gasolina o el gas natural experimentaron escasez (Binder, 1974). En esta década, tres científicos de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Bruce Hannon, Clark Bullard y Robert Herendeen, desarrollaron matrices de flujos de energía

para los Estados Unidos y trataron de combinar la ecología y la economía en una sola disciplina (Hannon, 2010).

Herendeen (1973) introdujo el concepto de requisitos energéticos indirectos, partiendo del hecho de que la mayor parte del consumo de energía no es consumo personal directo (más de dos tercios del uso de energía en los Estados Unidos se destinaba a otros usos) y que era necesario tener en cuenta la demanda indirecta de energía derivada de la demanda de bienes y servicios para dar cuenta del uso total de energía. En su artículo seminal, Herendeen (1973) convirtió la tabla de entrada y salida de 1963 para los Estados Unidos a términos energéticos. En trabajos posteriores se estimaron los costos totales de energía de bienes y servicios (Bullard & Herendeen, 1975a, 1975b; Costanza, 1980; Herendeen, 1978).

Como se ha señalado con anterioridad, dentro del análisis IO, los modelos MRIO, es decir, los análisis IO que emplean tablas MRIO, se utilizan comúnmente para la evaluación de los impactos ambientales generados por las actividades económicas. Esta tesis se ha centrado en diferenciar el uso, directo, indirecto y total de energía, ampliando el modelo tradicional MRIO con la diferenciación entre el origen nacional y extranjero de la energía utilizada.

La ecuación básica de un análisis MRIO, basada en el modelo *input-output* (Leontief, 1970) expresa que la producción total  $x$  de un país  $r$  para satisfacer una determinada demanda final, se obtiene por medio de la siguiente ecuación de equilibrio:

$$x^r = A^r x^r + y^r, \quad (1)$$

donde  $x^r$  es un vector de la producción bruta en el país  $r$ ;  $A^r$  es la matriz de consumos intermedios que representa las necesidades de los sectores productivos de la economía  $r$  por unidad de producción, e  $y^r$  es el vector de demanda final de la economía  $r$ .

Si tenemos en cuenta que las importaciones suelen ser necesarias para producir exportaciones, el consumo directo de energía no refleja el consumo total de energía de una determinada economía. Para identificar la intensidad energética de un país es necesario tener en cuenta la energía consumida en otros países para producir las

exportaciones dirigidas de un país a otro, por eso se utilizó el modelo MRIO. En particular, el consumo de energía se integra en el sistema económico para mostrar los perfiles de uso de energía asociados a los flujos económicos. Como una extensión de la tabla económica MRIO, se construyó una tabla MRIO de uso energético a partir de los flujos monetarios y los recursos energéticos de cada país agregados a  $n$  países y  $k$  sectores. La Tabla 3.2 muestra la estructura de la tabla MRIO de uso de energía.

Tabla 3.2. Estructura de la tabla MRIO de uso energético

<i>Input</i> \ <i>Output</i>			Uso intermedio						Demanda final				<i>Output</i>		
			País 1			...	País n			País 1		...	País n		
			Industria 1	...	Industria k	...	Industria 1	...	Industria k	H	...	...	H	...	
<i>Inputs</i> intermedios	País 1	Industria 1	$z_{11}^{11}$	...	$z_{1k}^{11}$	...	$z_{11}^{1n}$	...	$z_{1k}^{1n}$	$y_1^{11}$	...	$y_1^{1n}$	$x_1^1$		
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
		Industria k	$z_{k1}^{11}$	...	$z_{kk}^{11}$	...	$z_{k1}^{1n}$	...	$z_{kk}^{1n}$	$y_k^{11}$	...	$y_k^{1n}$	$x_k^1$		
		...	...	...	$z_{ij}^{sr}$	...	...	...	...	$y_i^{sr}$	...	$x_i^s$			
	País n	Industria 1	$z_{11}^{n1}$	...	$z_{1k}^{n1}$	...	$z_{11}^{nn}$	...	$z_{1k}^{nn}$	$y_1^{n1}$	...	$y_1^{nn}$	$x_1^n$		
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
		Industria k	$z_{k1}^{n1}$	...	$z_{kk}^{n1}$	...	$z_{k1}^{nn}$	...	$z_{kk}^{nn}$	$y_k^{n1}$	...	$y_k^{nn}$	$x_k^n$		
	Valor agregado			$v_1^1$	...	$v_k^1$	$v_j^s$	$v_1^n$	...	$v_k^n$					
	<i>Output</i>			$x_1^1$	...	$x_k^1$	$x_j^s$	$x_1^n$	...	$x_k^n$					
Uso energético			$e_1^1$	...	$e_k^1$	$e_j^s$	$e_1^n$	...	$e_k^n$						

Fuente: Elaboración propia.

Si consideramos el país  $s$  y el país  $r$ , cada elemento  $z_{ij}^{sr}$  representa las ventas intermedias de la industria  $i$  en el país  $s$  a la industria  $j$  en el país  $r$ . Cada elemento  $y_i^{sr}$  representa los usos finales de la industria  $i$  en el país  $s$  para satisfacer la demanda final en el país  $r$ . Cada elemento  $v_j^s$  representa el valor añadido generado en la industria  $j$  en el país  $s$ . Cada elemento  $x_j^s$  representa la producción de la industria  $j$  en el país  $s$ .

Podemos calcular una matriz de consumos intermedios  $A^{sr}$  dividiendo la matriz de usos intermedios  $Z^{sr}$  entre un vector de producción diagonalizado  $\hat{x}^r$  de la siguiente manera:

$$A^{sr} = Z^{sr}(\hat{x}^r)^{-1}. \quad (2)$$

Cada elemento  $a_{ij}^{sr}$  de la matriz  $A^{sr}$  representa los insumos intermedios de la industria  $i$  en el país  $s$  necesarios para producir una unidad de producción en la industria  $j$  en el país  $r$ .

A partir de la ecuación (1), el modelo MRIO estándar se puede escribir de la siguiente manera:

$$x^s = \sum_{r=1}^n A^{sr} x^r + \sum_{r=1}^n y^{sr}, \quad (3)$$

donde  $x^s$  es un vector de las producciones sectoriales en la economía  $s$ ;  $A^{sr}$  es una matriz de consumos intermedios e  $y^{sr}$  es el vector de demanda final de economía  $s$  a economía  $r$ .

Si reorganizamos, obtenemos la siguiente expresión:

$$x^s = \sum_{t=1}^n B^{st} y^{tr}, \quad (4)$$



donde  $B \equiv (I - A)^{-1}$  es la matriz inversa de Leontief. Matrix  $B^{st}$ , que representa la cantidad de producción en el país  $s$  necesaria para hacer frente a un aumento de una unidad en la demanda final del país de destino  $r$ .

Para obtener el uso total (directo más indirecto) de energía, necesitamos calcular los vectores de consumo directo de energía  $e^s$  de la misma manera que calculamos la matriz de consumos intermedios:

$$(e^s)' = (\varepsilon^s)' (\hat{x})^{-1}. \quad (5)$$

Cada elemento  $e_j^s$  del vector  $e^s$  representa el uso directo de energía por unidad de producción en la industria  $j$  del país  $s$ .

El uso total de energía ( $E^{sr}$ ) del país  $s$  originado en el país  $r$  se puede obtener pre-multiplicando la ecuación (4) por el vector de uso directo de energía de la siguiente manera:

$$E^{sr} = \sum_{t=1}^n (e^s)' B^{st} y^{tr}. \quad (6)$$

La matriz inversa de Leontief  $B$  se puede descomponer en dos matrices:  $B^d$ , que representa las relaciones intersectoriales domésticas y  $B^w$ , que representa las relaciones intersectoriales con el resto del mundo.

$$B = B^d + B^w. \quad (7)$$

La demanda final  $Y$  también se puede descomponer en dos matrices:  $Y^d$ , que representa la demanda final interna, e  $Y^w$ , que representa la demanda final del resto del mundo.

$$Y = Y^d + Y^w. \quad (8)$$

Empleando estas dos descomposiciones, podemos reescribir la ecuación (6) de la siguiente manera:

$$E_{0j}^{sr} = e_{0j}^{0s} \cdot B_{ij}^{sr} \cdot Y_{i0}^{sr}. \quad (9)$$

Aplicando la descomposición del uso de energía asociada a la demanda final de las economías:

$$E_i^d = E_{i0}^{dd} + E_{i0}^{dw} + E_{i0}^{wd} + E_{i0}^{ww} \quad (10)$$

Para el país  $d$ , el primer término expresa el uso doméstico de energía producido en el propio país. El segundo término recoge el uso doméstico de energía producida en el extranjero  $w$  (importaciones). El tercer término representa el uso de energía en el extranjero producida en el país  $d$  (exportaciones). Por último, el cuarto término expresa el uso de energía en el extranjero producida en el extranjero. Cada uno de los cuatro términos de la ecuación (10) se pueden desagregar como sigue.

Uso energético doméstico cuyo origen es nacional:

$$E^{dd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^d), \quad (11)$$

Uso doméstico de energía cuyo origen es extranjero (importado):

$$E^{dw} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^w \cdot Y_i^d), \quad (12)$$

Uso extranjero de energía (exportación) cuyo origen es nacional:

$$E^{wd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^w), \quad (13)$$

Y, finalmente, uso extranjero de energía (exportación) cuyo origen es el resto del mundo:

$$E^{ww} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^w \cdot Y_i^w). \quad (14)$$

La metodología descrita se resume en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Cuadro esquemático de la metodología desarrollada

Uso directo de energía (vector $e$ )	Uso total de insumos (matriz $B$ )	Doméstico ( $B^d$ )	<p>Multiplicando las matrices <math>B</math> y <math>Y</math> por el vector <math>e</math> obtenemos el uso total de energía (<math>E</math>) que se puede descomponer en cuatro términos</p> $E = E^{dd} + E^{dw} + E^{wd} + E^{ww}$ <p>donde:</p> <p>Energía consumida y producida en el país (<math>E^{dd}</math>)</p> <p>Energía consumida en el país, pero producida en el exterior (<math>E^{dw}</math>)</p> <p>Energía producida en el país, pero consumida en el exterior (<math>E^{wd}</math>)</p> <p>Energía producida y consumida en el exterior (<math>E^{ww}</math>)</p>
		Resto del mundo ( $B^w$ )	
	Demanda final (matriz $Y$ )	Doméstico ( $Y^d$ )	
		Resto del mundo ( $Y^w$ )	

Fuente: Elaboración propia.

En la parte siguiente de esta tesis se presentan las evidencias empíricas, con la aplicación de los modelos de análisis en los estudios en los países europeos y en Brasil.

---

***PARTE II. EVIDENCIAS Y  
ANÁLISIS EMPÍRICOS***

---



## CAPÍTULO 4. DOMESTIC VERSUS FOREIGN ENERGY USE: AN ANALYSIS FOR FOUR EUROPEAN COUNTRIES

**Published in Journal:** “Environment, Development and Sustainability” of Springer Nature.



**JCR (2020):** 3.219, Q2 (126/274 Environmental Sciences), Q3 (31/44 Green & Sustainable Science & Technology)

**Reference:** Camacho, J.A., da Silva Almeida, L., Rodríguez, M., Molina, J., 2021. Domestic versus foreign energy use: an analysis for four European countries. *Environ. Dev. Sustain.* 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01622-7>

**Received:** 12 January 2021 | **Accepted:** 24 June 2021 | **Published:** 03 July 2021

**DOI:** 10.1007/s10668-021-01622-7

José A. Camacho <sup>a,b</sup> | Lucas da Silva Almeida <sup>b,c</sup> | Mercedes Rodríguez <sup>a,b</sup> | Jesús Molina <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Department of International and Spanish Economics, Faculty of Economics and Business, University of Granada, Granada, 18071, Spain

<sup>b</sup> Institute of Regional Development, University of Granada, Granada, 18071, Spain

<sup>c</sup> Faculty Maria Milza, Governador Mangabeira, 44350, Brazil

### Abstract

In order to adequately assess energy policies and set clear objectives, a key preliminary step is to know the energy use patterns of the different countries. This paper estimates the evolution of the total energy use over the period 1995-2015 in four European Union (EU) countries, the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain, representative of two different energy patterns, the “Southern” one and the “Eastern” one. For doing so we employ a Multi-Regional Input Output (MRIO) model. In difference with previous studies, in addition to differentiate between domestic and foreign use we distinguish whether this energy is produced domestically or abroad. The results obtained show a certain convergence in energy intensity across the four countries examined because of the radical transformations experienced by the Czech Republic and Hungary. Nonetheless, energy intensities are still substantially higher in Eastern than in Southern countries which confirms that the first group of countries have still a long road to go, especially regarding the incentives that their industries have to use energy efficiently. Taking our decomposition of total energy use, the reductions in total energy use were mainly caused by a high decrease in the importance of the domestic use of energy produced domestically. At the same time, a growing importance of the role played by the energy produced abroad was observed. These trends confirm the great importance of global value chains and the steady internalization of energy use. This methodology could be further applied to other countries.

**Keywords:** energy use; direct use; indirect use; energy intensity; MRIO model

#### 4.1. INTRODUCTION

Energy use is responsible for a variety of economic, environmental, and social impacts (Miller et al., 2013) as it reflects the behavior and evolution of a society (Akizu-Gardoki et al., 2018). Although the global demand for energy has substantially increased over the last decades (IEA, 2019a) at the same time the search for improvements in energy efficiency in order to achieve sustainable energy systems is growing (Dresselhaus & Thomas, 2001; Geels et al., 2018; Solomon & Krishna, 2011). This challenge is complex and it is affected by both internal and external factors. Thus, for one part, differences in starting conditions (geographical, economic, or technological) among countries can result into higher or lower levels of energy production and use (Suri & Chapman, 1998). For the other part, the globalization of production and trade that it is reflected in the development of global value chains (Gereffi et al., 2005) results into an increasing dependence on the supply of goods and services from foreign countries, especially of developed countries from developing ones (Lan et al., 2016). This phenomenon leads to substantial changes in trade relations and energy use (Chen et al., 2019) and makes it necessary to adopt a global perspective when analyzing energy use.

As the energy transition process is a key element within the global environmental and sustainability challenges (Turnheim et al., 2015) most of the world's leading international organizations have established goals aimed at promoting energy sustainability. For instance, the seventh goal of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) for the year 2030 is "to guarantee access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all" (United Nations General Assembly, 2015). In line with the 2015 Paris Agreement on climate change, the European Union (EU) (through the European Commission), includes within its Energy Strategy different commitments related to the consumption of renewable energies (RES), the improvement of energy efficiency and the reduction of greenhouse gas (GHG) emissions. Thus, the Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources sets a binding EU target of a share of at least 32% of the renewable energy consumed by 2030 (European Union, 2018a). The Directive (EU) 2018/2002 on energy efficiency (European Union, 2018b) sets an energy efficiency target expressed in primary and/or final energy consumption of at least 32.5% by 2030. Finally, concerning the governance of the Energy Union and Climate Action (European Union, 2018c), the Energy Union

includes within its five dimensions decarbonization. In this regard, the EU endorsed the objective of a reduction of at least 40% in economy-wide GHG emissions by 2030 compared to 1990. From a long-term perspective the objective is more ambitious and by 2050 the GHG emissions in the energy sector are expected to reduce by over 80% compared to 1990, as this sector produces the lion's share of man-made GHG emissions (European Commission, 2012).

In order to adequately assess energy policies and set clear objectives, a key preliminary step is to know the actual energy use patterns of the different countries. In this line, the aim of this paper is to estimate the evolution of total energy use over the period 1995-2015 in four EU countries: the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain by using a multi-regional input output (MRIO) model. The contribution of the paper is twofold. First, we estimate total energy use distinguishing between domestic use and foreign use. In difference with previous studies, we identify whether the total energy used is produced domestically or abroad. Secondly, we focus on four countries representative of two different energy patterns that have been scarcely analyzed (Frolova et al., 2019). Thus, for one part, we take two Southern European countries, Italy and Spain, characterized by being net energy importers compared to their Northern European counterparts (Frolova et al., 2015a; Gales et al., 2007), and, for the other part, we take two post-communist countries of the Eastern Europe, the Czech Republic and Hungary, characterized by being intensive energy users that had a great energy supply dependency from Russia (Bouzarovski, 2009; Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017; Cornillie & Fankhauser, 2004).

The structure of the paper is as follows. First, we provide a brief review of the literature dealing with energy use and energy accounting. Next, we described the data and the methodology employed. Third, we comment on the results obtained. Finally, some conclusions are pointed out.

## 4.2. ENERGY USE AND ENERGY ACCOUNTING: AN OVERVIEW

As was mentioned above, energy use plays a key role in the current process of decarbonization and energy transition. Energy accounting studies emerged in the 1970s when the oil crisis resulted into an energy crisis in which electricity, gasoline or natural



gas experienced shortages (Binder, 1974). In this decade three scientists at University of Illinois at Urbana-Champaign, Bruce Hannon, Clark Bullard and Robert Herendeen developed energy input output matrices for the US and tried to combine ecology and economics in one single discipline (Hannon, 2010). Herendeen (1973) introduced the concept of indirect energy requirements starting from the fact that most of energy consumption was not direct personal consumption (more than two thirds of energy use in the US went to other uses) and that it was necessary to take into consideration the indirect energy demand derived from the demand for goods and services to account for total energy use. In his seminal paper (Herendeen, 1973), he converted the 1963 input output table for the US to energy terms. Subsequent works estimated total energy costs of goods and services (Bullard & Herendeen, 1975a, 1975b; Costanza, 1980; Herendeen, 1978). This energy input output analysis starts from the traditional Leontief model (Leontief, 1936) but it changes the balance equation to energy units by using energy intensities (Casler & Wilbur, 1984). As a complement to the analysis of energy flows in the economy, a framework for the analysis of energy in ecosystems was developed by Hannon (1973). In this model the production energy flow comprises energy inflows (like sun) and intrasystem energy flows (like the grass), the components of the system are the energy sources and the individuals, species or trophic levels and the respiration energy flows are those energy flows that have no consumer.

In the late 1970s and early 1980s energy index decomposition analyses were introduced to assess energy efficiency at the industry level. As pointed out by Hoekstra and van der Bergh (2003), there are two main types of techniques for decomposing indicator changes at the sectoral level, namely, structural decomposition analysis (SDA) and index decomposition analysis (IDA). While SDA analysis uses input output data IDA does not employ any input output model. IDA can be linked to two main groups of methods: the first one is based on the Laspeyres index and the second one draws on the Divisia index (Ang, 2004). Among the first works in this line, we can cite the study of Jenne and Cattell (1983) that examined the evolution of the energy efficiency in the British industry or the paper by Marlay (1984) the focused on the US industry. SDA and IDA present both advantages and disadvantages. Thus, as it uses input output coefficients, SDA allows to capture indirect effects and differentiates between technological effects and final demand effects. In contrast, IDA carries out a more detailed analysis (Cellura et al., 2012).

The oil crisis of the 1990s brought about a renewed interest on energy accounting (Adelman, 1990) and drawing on energy accounting a strand of literature dealing with energy footprint emerges in the last two decades. Three main methodological approaches can be differentiated: input output analysis (IO), life-cycle assessment (LCA) and Ecological Network Analysis (ENA). In their comparison of these three approaches Shaoqing Chen, A. Kharrazi et al. (2020) highlight the main advantages and disadvantages of each technique. Thus, IO adopts a top-down perspective and it is carried out the macro-level. It allows the estimation of embodied energy and to trace total energy flows across sectors and regions thereby revealing the impact of globalization on energy use. Its main disadvantages are the time lag in the publication of input output tables and the hypotheses of input output models (Leontief, 1936, 1970), namely, the homogeneity, proportionality and import hypotheses. In contrast to IO, LCA is conducted at the micro-level and adopts a bottom-up perspective. LCA is particularly useful to assess the energy performance and efficiency of a particular product or system (Goldstein et al., 2013; Lee & Tzeng, 2008; Pehnt, 2006). One its main drawbacks, however, is the uncertainty about input variability, model parameters and, especially, model form (Ziyadi & Al-Qadi, 2019). In order to avoid the disadvantages of LCA, hybrid input-output life cycle assessment models (IO-LCA) have been developed (Feng et al. 2014; Suh & Nakamura 2007; Wiedmann et al. 2011). Finally, ENA focuses on the analysis of ecosystems and adopts a system-oriented perspective drawing on the pioneering work of Hannon (1973). Recent studies have employed this methodology to analyze urban systems (Zhang et al. 2010). Despite ENA allows the evaluation of complex structures and networks within the ecosystems, there is no widely accepted rule for defining the system boundaries. At the urban scale, energy flow analysis (EFA), which resembles the methodology of material flows analysis (Brunner & Rechberger, 2004), or structural path analysis (SPA) have been employed recently to study energy flows (C. Feng et al., 2019; Bo Zhang et al., 2017).

Table 4.1 presents a brief review of recent works dealing with energy accounting. As described above, seven main types of methodological approaches can be differentiated: input output (IO) analysis, input output life cycle assessment (IO-LCA), structural decomposition analysis (SDA), index decomposition analysis (IDA), ecological network analysis (ENA), energy flow analysis (EFA) and structural path analysis (SPA).

Table 4.1. Empirical studies on energy accounting

<b>Author</b>	<b>Period</b>	<b>Territorial scale</b>	<b>Sector</b>	<b>Methodology</b>
Chen and Chen (2011a)	2004	Global	General	IO
Chen and Chen (2013)	2007	Global	General	IO
Chen and Wu (2017)	2010	Global	General	IO
Chen et al. (2018)	2012	Global	General	IO
Wu et al. (2019)	2012	Global	General	IO
Wu et al. (2019)	2012	Global	Households	IO
Tang et al. (2013)	1997-2011	National	General	IO
Owen et al. (2017)	1997-2013	National	General	IO
Zhang et al. (2016)	2002-2007	National	Domestic	IO
Wu and Chen (2017a)	2012	National	General	IO
Zhang et al. (2013)	2007	Regional	Domestic	IO
Zhang et al. (2015)	2007	Local	Domestic	IO
Li et al. (2016)	2010	Local	General	IO
Li et al. (2020)	2002- 2012	Urban	General	IO
Chen and Chen (2015)	2007	Urban	General	IO; EFA; ENA
Chen et al. (2019)	1985-2012	Urban	General	IO; SDA; ENA
Tian et al. (2019)	1995-2009	National	Sectoral	IO
Chang et al. (2010)	2002	National	Construction	IO-LCA
Feng et al. (2014)	2000-2010	National	General	IO-LCA
Wiedmann et al. (2011)	2004	National	General	IO-LCA
Owen et al. (2014)	2007	Global	General	SDA
Lan et al. (2016)	1990-2010	Global	General	SDA
He et al. (2019)	2004-2015	National	General	SDA
Wachsmann et al. (2009)	1970-1996	National	General	SDA
Su and Ang (2017)	2007-2012	National	General	SDA
Zhang and Lahr (2014)	1987-2007	National	General	SDA
Jacobsen (2000)	1966-1992	National	General	SDA
Weber (2009)	1997-2002	National	General	SDA; IDA
Wang et al. (2017)	1991-2015	National	Textiles	IDA
Zhang et al. (2017)	2012	National	Sectoral	SPA

As can be observed, most of studies are carried out at a national or international scale and employ IO analysis. Among those studies that estimate total energy flows (both direct and embodied) at the global level we can highlight the paper by Chen and Chen (2013) that incorporates simulations to IO analysis in order to forecast direct and indirect global energy flows. More recently, Chen and Wu (2017) estimate the source-sink relations among the 20 major world economies in energy supply chains. In the same vein, Chen et al. (2018) describe the structure of embodied energy flows at global level and regional level, differentiating four groups: the EU, the ASEAN, the NAFTA and AU. In the paper by X. D. Wu, J. L. Guo, J. Meng et al. (2019) a global energy profile is constructed by estimating total global energy consumption. In a complementary way, X. D. Wu, J. L. Guo, X. Ji et al. (2019) conducted a similar analysis but focused on household consumption.

At the national level, Tang et al. (2013) examine UK's energy imports embodied in trade. Owen et al. (2017) also estimate total energy flows in the UK but using two different energy vectors. Focusing on the Chinese case, Zhang et al. (2016) estimate embodied energy transfers via China's domestic trade and Wu and Chen (2017a) examine the cross-scale effect with the rest of the work by estimating the embodied energy intensity of Chinese foreign imports. Zhang et al. (2013) adopts a regional approach and estimate energy requirements in the Chinese regions.

Finally, from a local and urban perspective we can mention the study of the four Chinese municipalities of Beijing, Tianjin, Shanghai and Chongqing conducted by Zhang et al. (2015) or the in-depth analysis of Beijing carried out by Li et al. (2016) that it is replicated at the level of headquarters in the paper by Li et al. (2020). Chen and Chen (2015) and Chen et al. (2019) also focus on Beijing to compare the results of IO analyses with other approaches like SDA, EFA and ENA.

As pointed out above, the estimation of total energy flows can be a very useful preliminary step to examine energy footprints. Thus, Chen and Chen (2011a) estimate embodied CO<sub>2</sub> emissions induced by fossil fuel combustion for three supra-national coalitions (the G7, the BRICs and rest of the world). Tian et al. (2019) estimate China's energy footprint at the sectoral level. IO-LCA is employed to examine the case of the construction sector in the paper by Chang et al. (2010) and to analyze eight electricity generation technologies in China (Feng et al., 2014). Wiedmann et al. (2011) employ this methodology to examine wind power in the UK.

Among those works using SDA we can highlight the paper by Owen et al. (2014) that compares the impact of using different IO databases on the estimation of emissions or Lan et al. (2016) that quantifies changes in global energy footprints. Analyses for individual countries like Australia (He et al., 2019), Brazil (Wachsmann et al., 2009), China (Su & Ang, 2017; Zhang & Lahr, 2014), Denmark (Jacobsen, 2000) or the US (Weber, 2009) have been carried out too. As for the rest of methodologies, IDA is employed for the analysis of the energy footprint of the textile sector in China (Wang et al., 2017) and SPA is used to identify primary energy requirements in China (Zhang et al., 2017).

As a complement to energy accounting, some recent approaches highlight the need for decoupling growth and energy consumption (Akizu-Gardoki et al., 2018, 2021). Regardless of the methodological approach, there is a clear recognition of the need for adequately estimating total energy use and for differentiating between domestic and foreign factors. The next section describes the data and the methodology employed.

### 4.3. DATA AND METHODOLOGY

Within IO analysis, the MRIO models, that is, that IO analyses that employ MRIO tables, are commonly used for the evaluation of environmental impacts generated by economic activities. In this paper we focus on total energy use and extend the traditional MRIO model by differentiating between the domestic and foreign origin of the energy used.

#### 4.3.1. Data

A number of MRIO databases are available with different regional and sectoral coverage, such as the EORA database (Lenzen et al., 2012, 2013), the World Input–Output Database (WIOD) (Timmer et al., 2015, 2016), the database of the Global Trade Analysis Project (GTAP) (Aguilar et al., 2019), the EXIOBASE (Stadler et al., 2018), which was a product of the EXIOPOL project (Tukker et al., 2013), and the OECD inter-country input-output tables (OECD, 2021) which is based on the United Nations

International Standard Industrial Classification of all economic activities (ISIC). Table 4.2 summarizes the characteristics of the main MRIO databases.

Table 4.2. Main MRIO databases

<b>Database</b>	<b>Period</b>	<b>Countries or regions</b>	<b>Sectors</b>	<b>Environmental extension (EE)</b>	<b>Last year of EE</b>
EORA	1990 – 2015	189 countries and RoW	26	Included	2015
EXIOBASE	1995 – 2011	43 countries, 5 RoW regions	164	Included	2011
GTAP	2004/2007/2011	140 countries	57	Included	2011
OECD - ICIO	1995-2018	66 países	45	Not included	–
WIOD	2000 – 2014	43 countries and RoW	56	Included	2009

Note: RoW – Resto of the world.

In this paper we employ the EORA database as it has the wider country coverage. In particular, we use the EORA26 (version 199.82) with a harmonized classification of 26 sectors and that covers 189 countries and the rest of the world over the period 1990-2015 (Eora, 2019). Inflows and outflows of energy uses were expressed in Terajoules (TJ) by using an energy vector based on data from the International Energy Agency (IEA, 2020a).

#### 4.3.2. Methodology

The demand-driven IO model for a single country was introduced by Leontief in the 1930s (Leontief, 1936) and environmentally extended in the 1970s (Leontief, 1970). In this model the total output required by country  $r$  to satisfy a certain final demand can be expressed as follows:

$$x^r = A^r x^r + y^r, \quad (1)$$

where  $x^r$  is a vector of sectoral outputs in country  $r$ ;  $A^r$  is a matrix of intermediate consumptions representing the industry requirements to produce one unit of output; and  $y^r$  is the final demand vector in country  $r$ .

Since imports are usually required to produce exports, direct energy use does not reflect the total energy use of a given economy. In order to obtain a clear picture of energy intensity we need to take into account the energy used to produce exports directed to other countries by employing MRIO databases. In particular, energy use has to be integrated within the economic system to illustrate the energy use profiles associated with economic flows. As an extension of the economic MRIO table, an energy use MRIO table was built starting from the monetary flows and the energy resources of each country aggregated into  $n$  countries and  $k$  sectors. Table 4.3 shows the structure of the energy use MRIO table.

If we consider country  $s$  and country  $r$ , each element  $z_{ij}^{sr}$  shows the intermediate deliveries from industry  $i$  in country  $s$  to industry  $j$  in country  $r$ . Each element  $y_i^{sr}$  shows the final deliveries from industry  $i$  in country  $s$  to satisfy the final demand in country  $r$ . Each element  $v_j^s$  shows the value added generated in industry  $j$  in country  $s$ . Each element  $x_j^s$  shows the output of industry  $j$  in country  $s$ .

An intermediate consumption matrix  $A^{sr}$  can be computed by dividing the intermediate delivery matrix  $Z^{sr}$  by a diagonalised output vector  $\hat{x}^r$  as follows:

$$A^{sr} = Z^{sr} (\hat{x}^r)^{-1}. \quad (2)$$

Each element  $a_{ij}^{sr}$  of the matrix  $A^{sr}$  shows the intermediate inputs from industry  $i$  in country  $s$  necessary to produce one unit of output in industry  $j$  in country  $r$ .

Table 4.3. Structure of the energy use MRIO table

Input \ Output		Intermediate use							Final demand				Output	
		Country 1			...	Country n			Country 1		...	Country n		
		Industry 1	...	Industry k	...	Industry 1	...	Industry k	H	...	...	H		...
Intermediate inputs	Country 1	Industry 1	$z_{11}^{11}$	...	$z_{1k}^{11}$	...	$z_{11}^{1n}$	...	$z_{1k}^{1n}$	$y_1^{11}$	...	$y_1^{1n}$	$x_1^1$	
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
		Industry k	$z_{k1}^{11}$	...	$z_{kk}^{11}$	...	$z_{k1}^{1n}$	...	$z_{kk}^{1n}$	$y_k^{11}$	...	$y_k^{1n}$	$x_k^1$	
	...	...	...	...	$z_{ij}^{sr}$	...	...	...	...	$y_i^{sr}$	...	$x_i^s$		
	Country n	Industry 1	$z_{11}^{n1}$	...	$z_{1k}^{n1}$	...	$z_{11}^{nn}$	...	$z_{1k}^{nn}$	$y_1^{n1}$	...	$y_1^{nn}$	$x_1^n$	
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
		Industry k	$z_{k1}^{n1}$	...	$z_{kk}^{n1}$	...	$z_{k1}^{nn}$	...	$z_{kk}^{nn}$	$y_k^{n1}$	...	$y_k^{nn}$	$x_k^n$	
	Value added		$v_1^1$	...	$v_k^1$	$v_j^s$	$v_1^n$	...	$v_k^n$					
	Output		$x_1^1$	...	$x_k^1$	$x_j^s$	$x_1^n$	...	$x_k^n$					
Energy use		$e_1^1$	...	$e_k^1$	$e_j^s$	$e_1^n$	...	$e_k^n$						



Starting from equation (1), the standard IO model can be written as follows:

$$x^s = \sum_{r=1}^n A^{sr} x^r + \sum_{r=1}^n y^{sr}, \quad (3)$$

where  $x^s$  is a vector of sectoral outputs in economy  $s$ ;  $A^{sr}$  is a matrix of intermediate consumptions; and  $y^{sr}$  is the final demand vector from economy  $s$  to  $r$ .

Rearranging equation (3), we obtain the following expression:

$$x^s = \sum_{t=1}^n B^{st} y^{tr}, \quad (4)$$

where  $B \equiv (I - A)^{-1}$  is the Leontief inverse matrix. Matrix  $B^{st}$  shows the amount of output in a producing country  $s$  required for a one-unit increase in the final demand in destination country  $r$ .

To obtain the total (direct plus indirect) energy use, we need to compute the direct energy use vectors  $e^s$  in the same way as we compute the intermediate consumptions matrix, as follows:

$$(e^s)' = (\varepsilon^s)' (\hat{x})^{-1}. \quad (5)$$

where  $\varepsilon^s$  is a vector of direct energy use in country  $s$ . Each element  $e_j^s$  of vector  $e^s$  shows the direct energy use per unit of output in industry  $j$  of country  $s$ .

The total energy use ( $E^{sr}$ ) of country  $s$  from country  $r$  can be obtained by pre-multiplying equation (4) by the direct energy consumption vector as follows:

$$E^{sr} = \sum_{t=1}^n (e^s)' B^{st} y^{tr}. \quad (6)$$

The Leontief inverse matrix  $B$  can be decomposed into two matrices:  $B^d$ , which represents the domestic sectoral relationships; and  $B^w$  which accounts for the sectoral relationships with the rest of the world.

$$B = B^d + B^w. \quad (7)$$

The final demand  $Y$  can also be decomposed into two matrices:  $Y^d$ , which represents the domestic final demand; and  $Y^w$  which represents the final demand from the rest of the world.

$$Y = Y^d + Y^w. \quad (8)$$

Using these two decompositions, we can rewrite equation (6) as follows:

$$E_{0j}^{sr} = e_{0j}^{0s} \cdot B_{ij}^{sr} \cdot Y_{i0}^{sr}. \quad (9)$$

If we use the decomposition of energy use associated to final demand, we obtain the following expression:

$$E_i^d = E_{i0}^{dd} + E_{i0}^{dw} + E_{i0}^{wd} + E_{i0}^{ww} \quad (10)$$

The first term  $E_{i0}^{dd}$  represents the domestic use of energy produced domestically. The second term  $E_{i0}^{dw}$  captures the domestic use of energy produced abroad. The third term  $E_{i0}^{wd}$  represents the foreign use of energy produced domestically. Finally, the fourth term  $E_{i0}^{ww}$  comprises the foreign use of energy produced abroad. Each of the four terms of the equation (11) can be obtained as follows:

Firstly, the total energy used and produced domestically:

$$E^{dd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^d), \quad (11)$$

Secondly, the total energy used domestically but produced abroad:

$$E^{dw} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^w \cdot Y_i^d), \quad (12)$$

Thirdly, the total energy used abroad but produced domestically:

$$E^{wd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^w), \quad (13)$$

Finally, the total energy used and produced abroad:

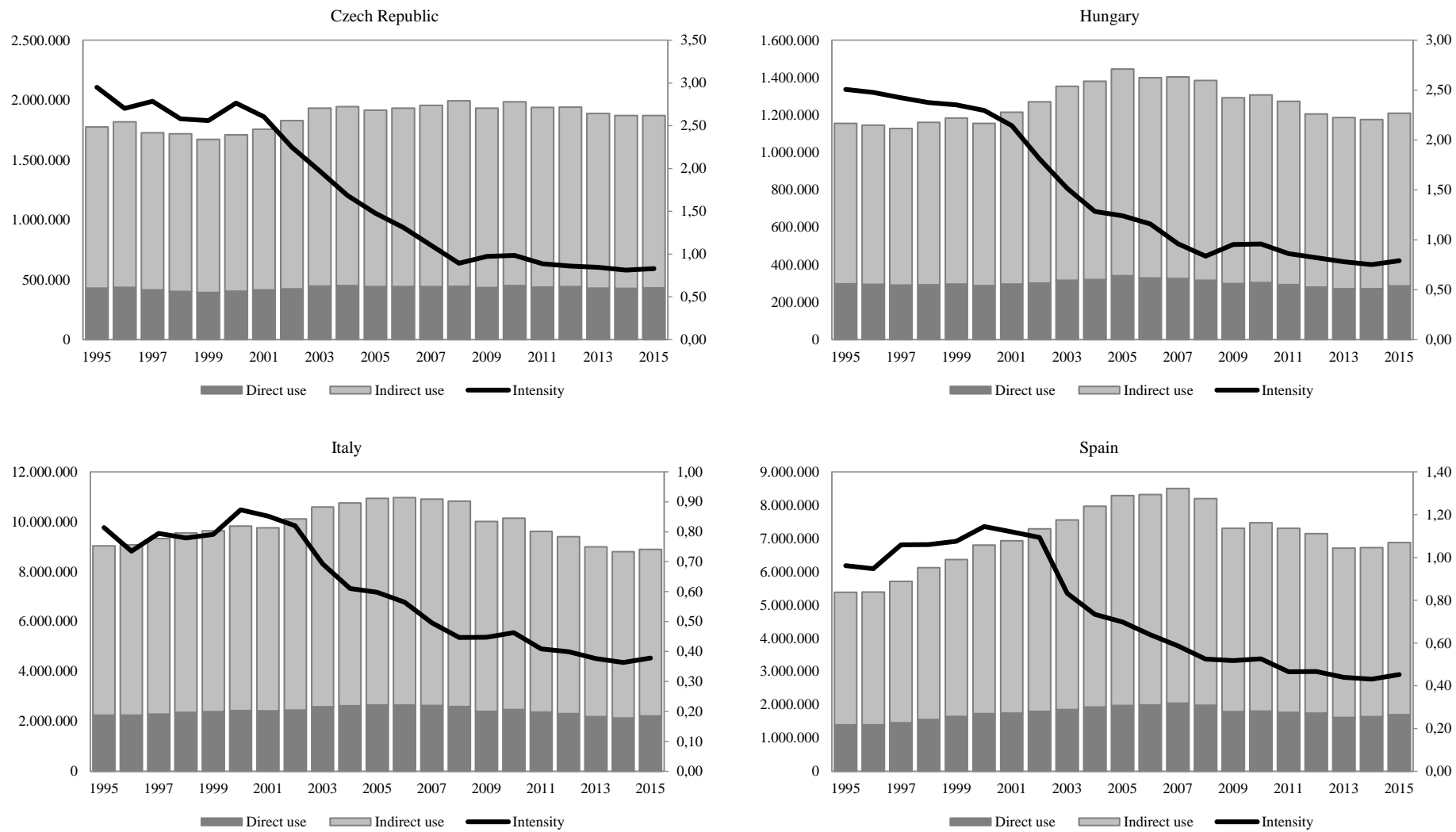
$$E^{ww} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^w \cdot Y_i^w). \quad (14)$$

## 4.4. RESULTS AND DISCUSSION

### 4.4.1. Direct use, indirect use and total energy intensity

Before entering into the analysis of the four components of the energy use of our model, we examine the evolution of total energy use over the period 1995-2015 by taking into account both direct and indirect use. Figure 4.1 shows a comparison of the evolution of total direct and indirect energy use measured both in TJ and in intensity terms (that is, as a share of final demand).

**Fig. 4.1** Direct and indirect energy use and total energy intensity in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015



It can be observed that most of the total energy used is indirect. Again, the country that shows the highest growth in total energy use over the period 1995-2015 was Spain: total energy use grew by 28%, the pace of growth being faster for indirect energy use than for direct energy use. The growth rates experienced by total energy use in the Czech Republic and Hungary were similar (around 4-5%) while in Italy there was a slight decline of -1.5%.

If we want to compare energy intensities across the four countries, it is necessary to take into consideration the growth experienced by total final demand. Thus, if we divide total energy use by total final demand, we can obtain a proxy of the energy intensity of the production system of each country. As shown in Figure 4.1, all countries reduced their energy intensity during the years examined. The reductions were particularly remarkable in the Czech Republic and Hungary. In these two countries the diminution in the total energy use per unit of total final demand were of 72% and 68%, respectively. In annual terms, the reduction in energy intensities experienced an annual average rate of 6% and 5%, respectively. Concerning Italy and Spain the reductions in total energy use per unit of final demand were lower. Both countries registered a fall of 53% in the total energy use per unit of final demand, or, put in annual terms, an average annual reduction rate close to 4%. Nonetheless, if we compare the energy intensities across the four countries we can note how, despite its positive evolution, there is still a long way to go in the improvement of energy intensity in the Czech Republic and Hungary. Thus, the production systems of these two countries registered an energy intensity of 0.83 and 0.79 TJ per unit of final demand, respectively, in 2015. In contrast, the total energy use per unit of final demand was substantially lower in Italy and Spain, with figures of 0.38 TJ and 0.48 TJ, respectively, in 2015.

#### 4.4.2. Direct energy use and its domestic and foreign components

Once examined the evolution of total energy use, we focus on the domestic and foreign origin of the domestic use of energy. Put in a simple way, direct energy use reflects the direct use of energy as intermediate input in the productions processes without taking into consideration intersectoral relationships, that is, the energy embodied in those goods and services that are used as intermediate inputs in the production processes. As

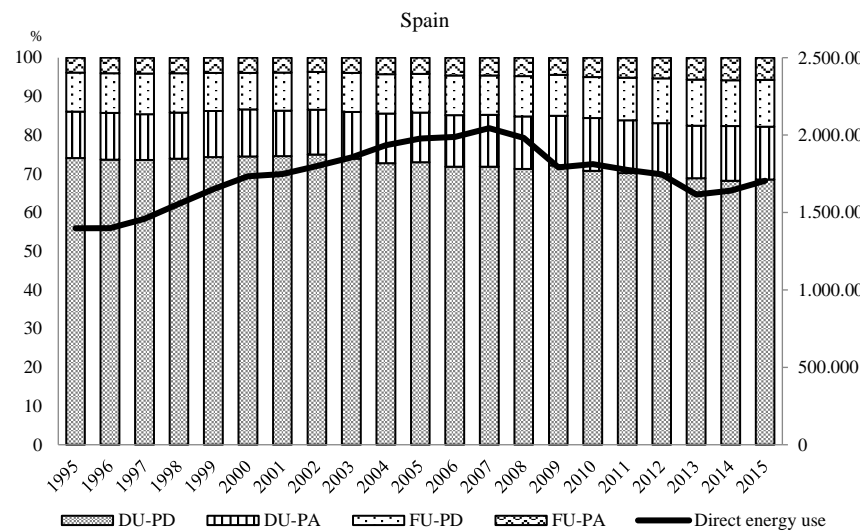
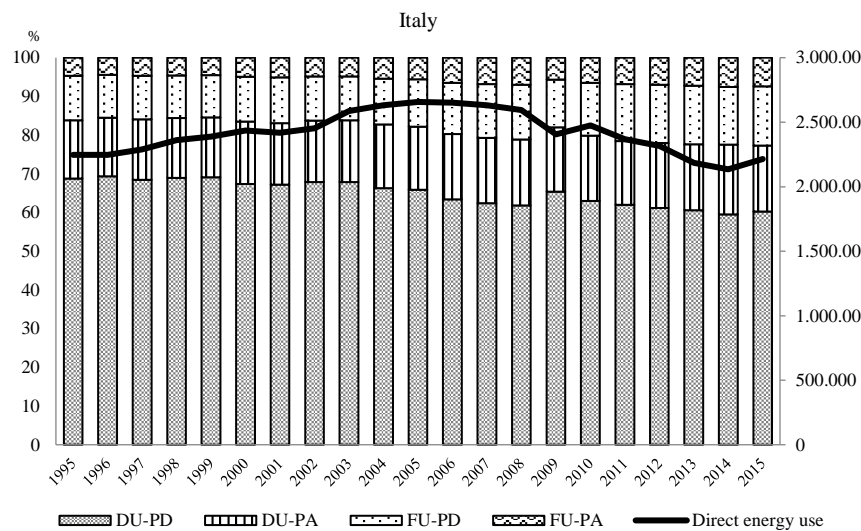
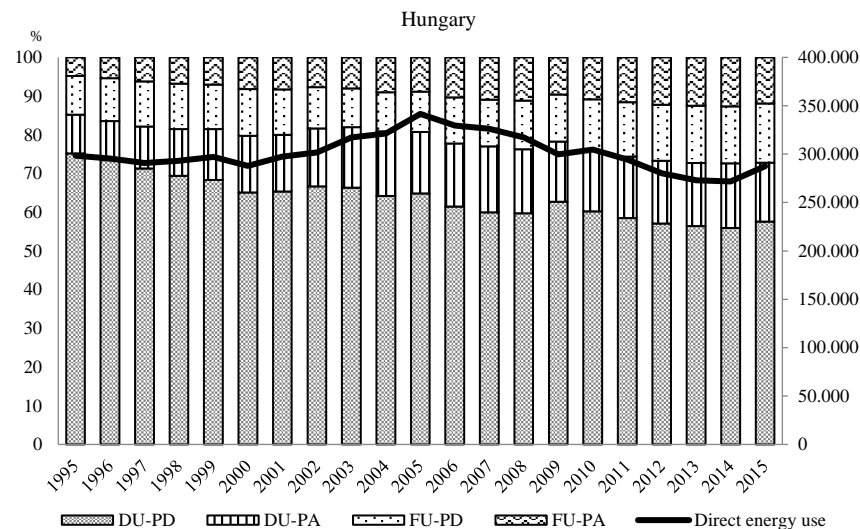
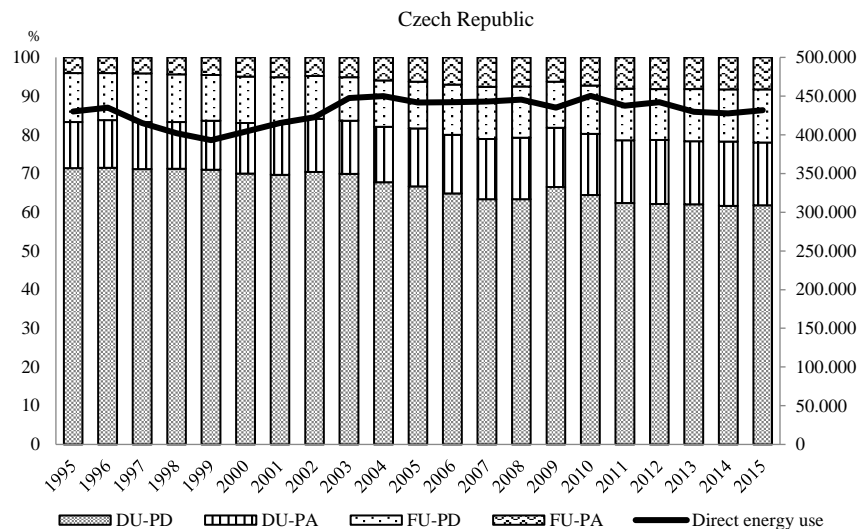
noted in the previous section, direct energy use can be decomposed into four terms: energy used and produced domestically (DU-PD), energy used domestically but produced abroad (DU-PA), energy used by foreigners but produced domestically (FU-PD) and energy used by foreigners and produced abroad (FU-PA). Figure 4.2 reports the evolution of the direct energy use in the four countries under study. It also shows the share of each of the four types of direct energy use described above.

As was expected, direct energy use is closely linked to the economic cycle. The highest growth in direct energy use over the period 1995-2015 was reported by Spain: it registered a growth rate of 22% (from 1,398,168 TJ in 1995 to 1,705,081 TJ in 2015). In contrast, in the rest of countries direct energy use in 2015 was very similar to that registered in 1995. Thus, in the Czech Republic, the direct energy use in 1995 was 430,127 TJ and 431,919 TJ in 2015, in Hungary it was 298,524 TJ in 1995 and 287,475 TJ in 2015 and in Italy it was 2.246.614 TJ in 1995 and 2.215.319 TJ in 2015.

We have to highlight that while the trends in direct energy use are very similar to those shown in Figure 5.1 for the total energy use in Spain and Italy, the evolution in the Czech Republic and Hungary are quite different for direct use and for total use. Thus, in the Czech Republic there was an increase higher than 5% in total energy use while the growth experienced by direct energy use was lower than 0.5%. In the case of Hungary, the differences are more striking: while total energy use increased by 4.6%, direct energy use decreased by 3.7%. These differences are mainly explained by the evolution explained by indirect energy use that experienced a growth rate superior to 7% in both countries.

Concerning the structure of direct energy use, despite the direct energy used and produced domestically accounts for the highest share in direct energy use, it diminishes in all countries over the period 1995-2015. The highest drop is reported by Hungary, where the share of direct energy used and produced domestically fell from 75% in 1995 to 58% in 2015. The Czech Republic and Italy registered the same drop (9 percentage points each) while in Spain the diminution was much more modest, 5 percentage points, being the country with highest share of direct energy used and produced domestically in 2015 (69%).

**Fig. 4.2** Direct energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015



This fall in the role played by the direct energy used and produced domestically translates into a growth of the role played by foreign production, especially in the case of the Czech Republic and Hungary. Thus, in the Czech Republic the share of direct energy used domestically but produced abroad rose from 12% in 1995 to 16% in 2015. The increase was similar in Hungary, where it rose from 10% in 1995 to 15% in 2015. In Italy and Spain, the increases were lower (2 percentage points in both cases).

Regarding the energy used by foreigners, we can note the existence of differences across the four countries under study. The country with a highest share of direct energy used abroad in 2015 was Hungary, with a share of 27%. The Czech Republic and Italy show the same share, 22%. In contrast, the country with the lowest participation of energy used abroad was Spain, with a share of 18% in 2015. Overall, most of the energy used abroad was produced domestically.

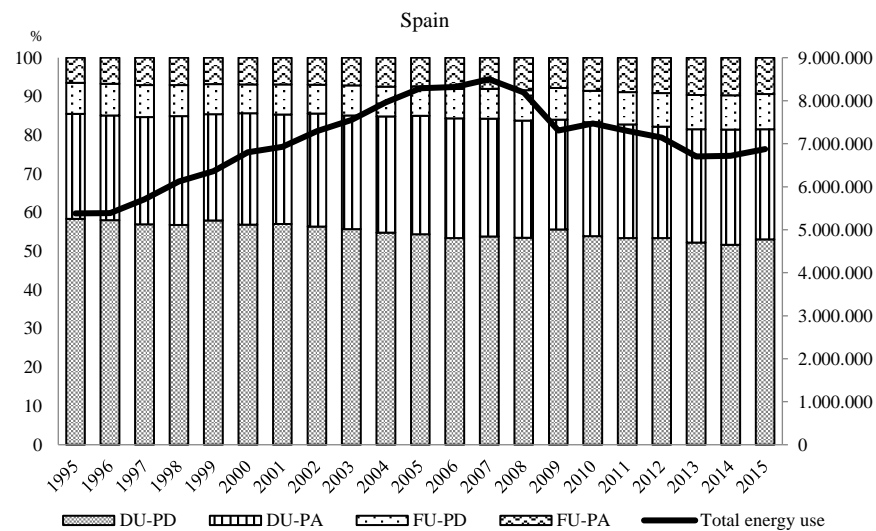
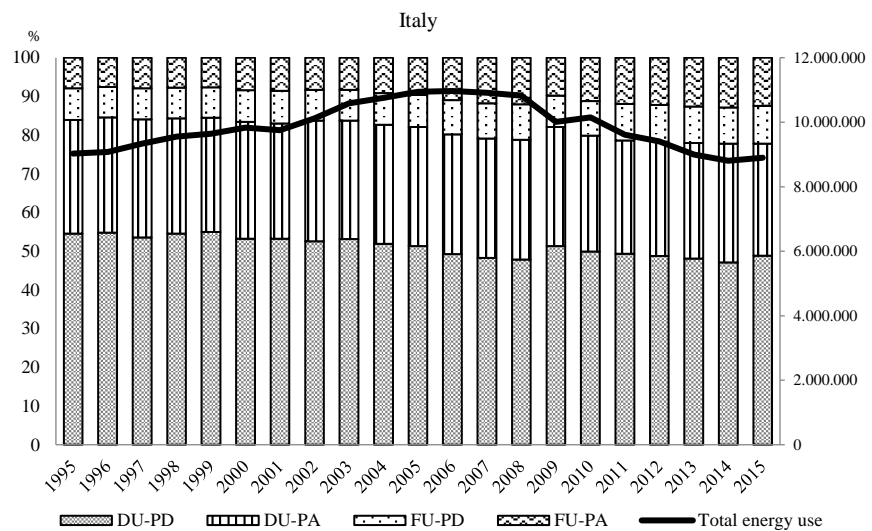
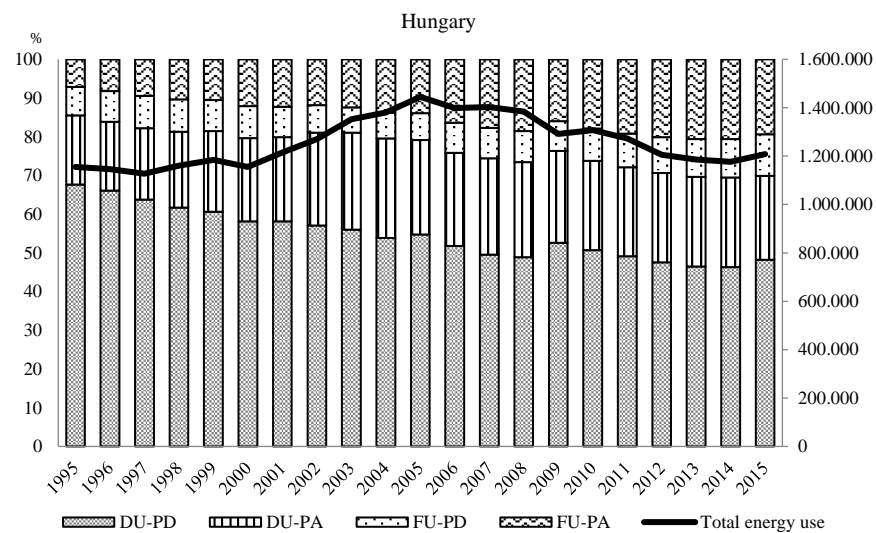
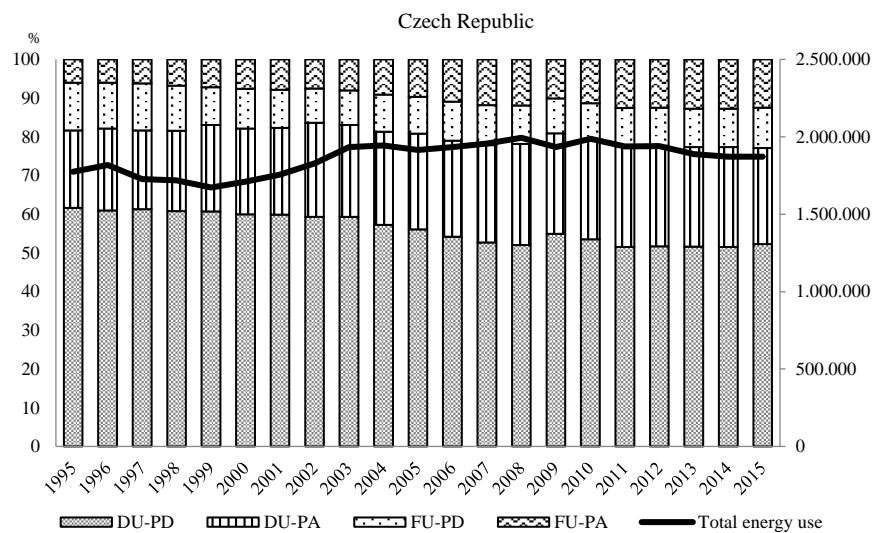
In brief, the analysis of the evolution of the direct energy use reveals the growing importance acquired by foreign production and use.

#### 4.4.3. Total energy use and its domestic and foreign components

To adequately analyze the evolution of total energy use is necessary to incorporate the indirect energy use, so after examining the evolution of the four components of direct energy use, we turn to decomposition of total energy use. Figure 4.3 shows the evolution of total energy use distinguishing between the total energy used domestically and the total energy used by foreigners and whether the energy used was produced domestically or abroad.



**Fig. 4.3** Total energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain, 1995–2015



As was pointed out before, indirect energy use plays a key role in total energy use so some changes can be observed with respect to the conclusions reached when we focus on direct energy use. For instance, in the case of the Czech Republic the evolution experienced by the total energy used by foreigners but produced domestically registered a drop over the period 1995-2015, from 212.492 TJ in 1995 to 195.279 TJ in 2015. In terms of participation, this translated into a fall in its share in total energy use from 12% to 10%. In contrast, there was a substantial increase in the domestic use of energy produced abroad, that accounted for 25% of total energy use in the Czech Republic in 2015. In Hungary the main difference is found in the total energy used by foreigners and produced abroad that increased from 82.002 TJ in 1995 to 234.147 TJ in 2015, being the country with the highest participation of this component in its total energy use. While in Spain the evolution of the four components of total energy use was very similar to that shown by these four components in direct energy use, in Italy the major difference is found in the evolution registered by the total energy used domestically but produced abroad, that declined steadily since the 2008 crisis.

In sum, the examination of the evolution of total energy use confirms the existence of different patterns across the four countries examined. While the Czech Republic and Hungary reported modest increases in their total energy use over the period 1995-2015, Spain registered a high growth in total energy use and in Italy there was a slight reduction. However, if we take into consideration the evolution of final demand, we can observe that all countries reduce their energy intensities, especially the Czech Republic and Hungary, although their total energy use per unit of final demand almost doubled the figures for Italy or Spain in 2015. Entering into the distinction between the total energy used domestically and used by foreigners, we can note that, despite most of total energy used is used domestically (82% in Spain, 78% in Italy, 77% in the Czech Republic and 70% in Hungary), a growing share of this energy used domestically is produced abroad. Concerning the total energy used by foreigners, with the sole exception of Spain, most of this energy is produced abroad. These two facts confirm the key role assumed by global value chains.

Table 4.4 summarizes the main changes in total energy use by country. Changes were classified as “high” when increases in growth rates were superior to 10 percentage point, as “moderate” if they were higher than 4 percentage points but lower than 10 percentage points and as “low” if they were lower than 4 percentage points.

Table 4.4. Main changes in total energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain, 1995-2015

Country	Reduction in energy intensity	Domestic use		Foreign use	
		<i>Produced domestically</i>	<i>Produced abroad</i>	<i>Produced domestically</i>	<i>Produced abroad</i>
Czech Republic	High	High reduction	Moderate increase	Low reduction	High increase
Hungary	High	High reduction	Moderate increase	Moderate increase	High increase
Italy	Moderate	Moderate reduction	Stagnation	Low increase	Moderate increase
Spain	Moderate	Moderate reduction	Stagnation	Low increase	Low increase

There is no doubt that the evolution and changes in energy use in these countries have been affected by certain similarities, that can be associated to the fact that energy use is sensitive to economic cycle and that they belong to the same economic block (the EU), but there were also differences. Overall, changes were greater in Eastern countries than in Southern countries.

#### 4.5. CONCLUSIONS

This paper analyses the evolution of total energy use in the Czech Republic, Hungary, Italy and Spain over the period 1995-2015 distinguishing between the total energy used domestically and the total energy used by foreigners. In difference with previous studies, we also identify whether the energy used was produced domestically or abroad.

In line with previous works, the results obtained show a certain convergence in energy intensity across the four countries explained, at least partially, by the more radical transformations experienced by the economies of the Czech Republic and Hungary (for instance, over the 2000s the gas sector was privatized in the Czech Republic and Hungary deregulated its electricity market (Markandya et al., 2006; Mussini, 2020)). As a result,

despite the four countries reduced their total energy intensity during the years 1995-2015, the pace of reduction was considerably faster in the Eastern countries than in the Southern ones. Taking our decomposition of total energy use, these reductions were mainly caused by a high decrease in the importance of the domestic use of energy produced domestically. Nonetheless, energy intensities are still substantially higher in Eastern than in Southern countries which confirms that Eastern countries have still a long road to go, especially regarding the incentives that their industries have to use energy efficiently.

At the same time, we also observed a growing importance of the role played by the energy produced abroad. In spite of the fact that the domestic use of energy produced abroad grew faster in Eastern countries than in Southern countries. If we compare the share of the total energy used domestically but produced abroad in 2015, we can confirm that Italy and Spain are much more dependent on energy produced abroad than the Czech Republic and Hungary. In addition, in all cases, the foreign total use of energy increased, which confirms the growing importance of global value chains and the steady internalization of energy use.

As mentioned before, this study has limitations. From a methodological point of view, energy conversion efficiencies could be incorporated to the model to deal with secondary energy production. In addition, sectoral disaggregation is very reduced and does not allow to capture the heterogeneity of products within sectoral categories. The use of commodity-by-industries energy models could be useful in this sense (Miller & Blair, 2009). We also have to note that IO matrices in the model do not include personal energy use.

To conclude, we have to highlight that understanding the evolution of total (both direct and indirect) energy use is essential for the formulation of adequate energy policies aimed at achieving the transition to environmentally sustainable energy systems. As the production systems of the different countries are ever more closely intertwined, it could be interesting to apply this methodology to other countries in order to capture the main changes in the total energy use of the production systems. Furthermore, the identification of the most energy intensive user industries across the different countries could help to draw a more accurate picture of sectoral and cross-country interdependencies in energy terms. The results of this methodology could also serve as a starting point for the analysis of energy-related GHG emissions.

Our study offers some policy implications to meet the EU's energy targets for 2030 and more concretely regarding the objectives and measures included within the integrated national energy and climate plans (NECPs) for the period 2021-2030 that all EU countries are required to elaborate. Among other aspects, NECPs outline how the EU countries intend to address energy efficiency. In the case of the Czech Republic and Hungary, their objectives regarding the reduction in final energy consumption included in their NECPs can be classified as “modest” or “low” and the energy efficiency principle is not explicitly included in neither of the two countries (Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic & Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2019; Ministry of Innovation and Technology of Hungary, 2019). In contrast, in Italy and Spain energy efficiency targets are ambitious and governments are going to conduct important funding efforts on research into clean energy, doubling public funds (Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge of Spain, 2020; Ministry of Economic Development of Italy et al., 2019). As we pointed out above, energy intensities are notably higher in Eastern countries compared to Southern ones so their governments should take into account this fact and make greater efforts in research and investment in order to achieve energy efficiency levels similar to the rest of EU countries in 2030. Concerning energy security, import dependency is a key variable to take into consideration. In our study we found a rising share of the energy produced abroad as well as a higher dependency from foreign energy in Southern countries. The measures included within the different NECPs reflects only partially this fact. Whereas the Czech Republic plans to reduce its level of dependency at 65% in 2030 and Hungary only partially specifies the measures supporting the reduction of energy dependency, in Italy and Spain the objectives set are very different. Thus, Italy plans to reduce its energy dependency from the current 77.7% to 75.4% in 2030. In contrast, Spain, with a quite similar starting level (74%) plans to reduce its energy dependency to 61% in 2030 (Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge of Spain, 2020; Ministry of Economic Development of Italy et al., 2019; Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic & Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2019; Ministry of Innovation and Technology of Hungary, 2019). In brief, a balanced commitment of all governments in achieving the EU energy targets by 2030 is essential. For instance, Eastern European countries that are less dependent on foreign energy should raise their efforts regarding energy efficiency and in Southern countries, more dependent on foreign supply, diversification should be a priority.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the project “Adaptation to sustainable energy transition in Europe: Environmental, socioeconomic and cultural aspects (ADAPTAS)” (Ministry of Economy, Industry, and Competitiveness and State Research Agency of Spain, and European Regional Development Fund, No. CSO2017- 86975-R).



## CAPÍTULO 5. DOMESTIC VERSUS FOREIGN ORIGIN OF TOTAL ENERGY USE: AN ANALYSIS FOR BRAZIL

**Published in Journal:** “Energy Reports” of Elsevier.

**JCR (2020):** 6.870, Q1 (25/114 Energy & Fuels)



**Reference:** Rodríguez, M., Camacho, J. A., da Silva Almeida, L., & Molina, J. (2021). Domestic versus foreign origin of total energy use: An analysis for Brazil. *Energy Reports*, 7, 6327–6337. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.09.073>

**Received:** 21 June 2021 | **Accepted:** 16 September 2021 | **Published:** 01 October 2021

**DOI:** 10.1016/J.EGYR.2021.09.073

Mercedes Rodríguez <sup>a,b</sup> | José A. Camacho <sup>a,b</sup> | Lucas da Silva Almeida <sup>b,c</sup> | Jesús Molina <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Department of International and Spanish Economics, Faculty of Economics and Business, University of Granada, Granada, 18071, Spain

<sup>b</sup> Institute of Regional Development, University of Granada, Granada, 18071, Spain

<sup>c</sup> Faculty Maria Milza, Governador Mangabeira, 44350, Brazil

### Highlights

- Total energy use across Brazilian industries are estimated.
- The domestic and foreign origin of the energy used is distinguished.
- A rising participation of foreign energy use is found.
- Strong energy user industries are highly dependent on energy produced domestically.
- Some industries increasingly reliant on energy produced abroad are identified.

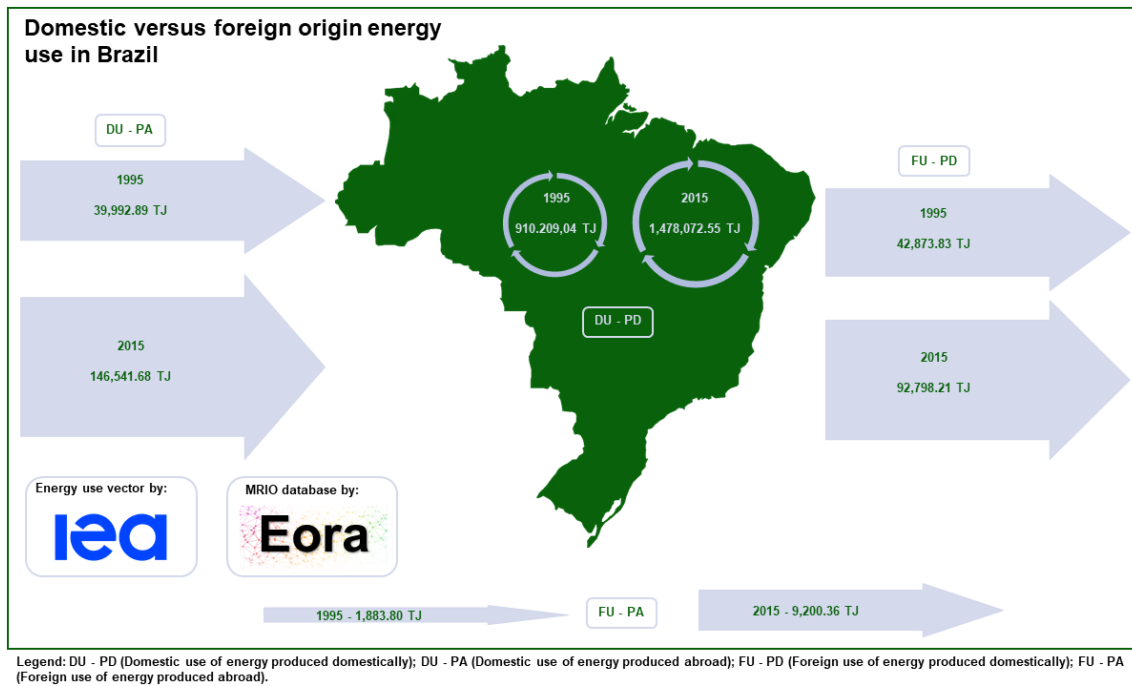
### Abstract

Energy use is the major source of greenhouse gas emissions. The aim of this paper is to examine total domestic and foreign energy use across industries in Brazil over the period 1995–2015. We found that total energy use experienced an annual average growth rate close to 3%. In 2015 only three industries accounted for 37% of total energy use in Brazil: Transport, Food & Beverages, and Electricity, Gas, and Water. In these industries the share of the energy used and produced domestically was higher than the average (85.6%, 84.5% and 94.5% of the total, respectively). In contrast, other industries were increasingly reliant on foreign energy. Thus, the share of domestic use of energy produced abroad was higher than 20% in Textiles and Wearing Apparel, Electrical and Machinery, Transport Equipment and Construction. This fact extends the problem of energy-related emissions mitigation from the national to the global level.

**Keywords:** Energy use; Input–output analysis; Industries; Multi-region input output table; Brazil



## Graphical abstract



### 5.1. INTRODUCTION

To reverse the current climate situation, we need to change our energy use patterns. Governments around the world have issued plans to transition to more sustainable energy systems able to reduce energy-related carbon dioxide and other greenhouse gas (GHG) emissions. Over the last years, the number of studies that examine trends in energy use and emissions rose substantially (Aydin, 2015a, 2015b, 2014a, 2014b; Aydin et al., 2012; Azadeh and Tarverdian, 2007; Feng and Zhang, 2012; Köne and Büke, 2010, Harun et al., 2021; Hastuti et al., 2021; Su et al., 2019; Su and Ang, 2020, 2017; Wan et al., 2021; Wang et al., 2021; Wang and Yang, 2020; Wang and Zhou, 2019; Zhu et al., 2020). They conclude that to mitigate climate change it is necessary to phasing out fossil fuels and stimulate renewable energy deployment, especially in industry and transport sectors, where renewables still meet low shares of their total energy use. According to the IEA World Energy Outlook 2019, energy-related emissions hit an historic high in 2018 as global energy demand increased at almost twice the average rate of the decade (IEA, 2019a). However, as a result of the COVID-19 pandemic, in 2020 world primary energy consumption experienced the largest decline since 1945 and emissions fell by 6.3%. This decline was mainly explained by the drop in oil consumption.

In spite of this drop, in 2021 oil still accounted for the largest share in the world energy mix (31.2%), followed by coal (27.2%), natural gas (24.70%), hydroelectricity (6.9%), renewables (5.7%) and nuclear energy (4.3%) (BP, 2021). Nonetheless, as the IEA Executive Director Fatih Birol points out, “low economic growth is not a low-emissions strategy”. In other words, it is necessary to introduce structural changes both in production and consumption if we want to substantially reduce GHG emissions (IEA, 2020c).

Over the last decades Brazil has undergone radical changes in its economic, social, and environmental structure (Marconi et al., 2016; Wachsmann et al., 2009) and it is one of the main developed economies in the world (IBGE, 2020; IPEA, 2020). Among the major changes experienced by the country we can highlight its increase in industrial activity and exports and the subsequent rise in industrial energy use (Banday & Aneja, 2020; Bhat, 2018; Kim & Tromp, 2021; Marco Antônio Montoya et al., 2021). Thus, despite over the period 2014-2019 there was an annual decline in industrial GDP per capita of 3.9%, industrial energy intensity grew at an annual average rate of 1.3%. The major reason was the rise in the share of energy-intensive industries (MME, 2020a). Nowadays, Brazil is the eight largest total energy supplier in the world. It also the eight largest producer and consumer of electricity (IEA, 2020a). Despite more than 80% of total electricity supply is generated by renewables, 54% of the energy consumption of the country is still based on fossil energy. Oil and its products show the largest share in the energy mix (34%), followed by natural gas (12%) and coal (5%). Among renewables, sugarcane biomass is the major source (18%), followed by hydropower (12.4%) and firewood and charcoal (8.7%) (MME, 2020a). From a sectoral perspective, in 2019 transport and industrial consumption accounted for more than 63% of the total energy consumption of the country. In contrast, household consumption only represented 10.3% of total energy consumption (MME, 2020b). It is necessary to note that there is a high heterogeneity in energy intensity across industries. Thus, if we compare the shares in final energy consumption across industries, we can highlight that only three industries, namely, steel, sugar, and pulp and paper, accounted from more than half of industrial final energy consumption. In terms of energy intensity, the most energy-intensive industry was paper and pulp (MME, 2020b).

The Paris Agreement is the first ever legally binding global climate change agreement. In compliance with Article 4, paragraph 12 of the Paris Agreement, countries have to communicate their Nationally Determined Contributions (NDCs) to reduce their

GHG emissions. The ambitious Brazilian NDC was reformulated in 2020. A target to reduce GHG emissions by 37% and by 43% in 2030 compared to 2005 levels was set. The achievement of this target is mainly based on increasing the share of “other renewables”, like solar photovoltaic energy, wind energy and biofuels (M. A. Lima et al., 2020; M. G. Pereira et al., 2012), as hydropower is highly dependent on the hydrological cycle (Mendes & Sthel, 2017). As Gurgel et al. (2019) highlight, the use of fossil energy is one of the main explanatory factors for GHG emissions in Brazil, in combination with agriculture and land-use changes and deforestation. Table 5.1 provides an overview of different measures proposed to reduce energy-related emissions in Brazil.

As can be seen, most of the proposed measures focus on reducing the impact of high energy-intensive industries and on rising the share of low carbon industries. An essential previous step to introduce the majority of these measures is the identification of the most energy-intensive industries within the production system. The aim of this paper is to examine the evolution of total (both direct and indirect) energy use across the Brazilian production system over the period 1995-2015. For doing so we employ an extended multi-region input output (MRIO) model. As Lenzen et al. (2013) point out, MRIO-based studies can be particularly useful to bring the issue of energy (and carbon) embodied in international trade to wider audiences. Compared to other methodological approaches that are conducted at the micro-level and adopt a bottom-up perspective (like life-cycle assessment), MRIO models employ a top-down approach and are carried out at the macro-level. According to Chen et al., (2020) this allows to trace total energy flows across industries and across countries and to capture the impact of globalization on energy use. Moreover, compared to the analysis of direct energy use, MRIO models provide a more systematic perspective of energy use (G. Q. Chen & Wu, 2017; Z. M. Chen & Chen, 2011b) and allow “to discover where the real energy use occurs in the production chains” (Wachsmann et al., 2009, p. 586). It is necessary to note, however, that these models have also drawbacks. These are mainly related to the time lag in the publication of MRIO tables and the hypotheses on homogeneity, proportionality and imports that are assumed (R. E. Miller & Blair, 2009).

Table 5.1. Overview of measures proposed to reduce energy-related emissions in Brazil.

<b>Authors</b>	<b>Measures</b>
Bastidas and Mc Isaac (2019)	Shifting final demand from fossil energy-intensive industries like food and vehicles to service industries like tourism and health and education.
Carvalho et al. (2020)	Introduction of low carbon energy technologies, the development of the bioenergy market and the strengthening of low carbon energy industries.
Chen et al. (2013)	Adjusting the industrial structure by reducing both energy-intensive producing industries (like coal and mining or petroleum refinery) and energy-intensive user industries (like non-metallic products, metals or machinery).
Kim and Tromp (2021)	Shifting production and consumption to cleaner products by using carbon taxes and carbon tariffs.
Köberle et al. (2020)	Introduction of low-carbon sources for all energy carriers, switching from fuel in transportation, fostering energy efficiency in industry and transportation and promoting low-carbon power generation like biomass, wind, and solar.
Lampreia et al. (2011)	Research and development (R&D) investments and technological learning.
Lefèvre et al. (2018)	Introduction of a subsidy for pre-salt oil domestic refining and consumption.
Lucena et al. (2016)	Improvement of professional qualifications in renewable energy.
Teixeira et al. (2020)	Targeting investments in strategic sectors like the forest sector, agriculture, transportation, and some industrial sectors.

Source: Own elaboration.

To the best of our knowledge, there is no study that estimates total energy use at the industry level differentiating between the domestic and foreign origin of the energy used in Brazil. The results of our analysis reveal the existence of different energy use patterns among the Brazilian industries. Thus, for one part, we find high energy-intensive industries that rely mainly on energy produced in the country. For the other part, there are some industries increasingly reliant on energy produced abroad. These results can be useful for national energy policy making. In particular they can serve as a basis for domestic energy use regulation and for adjustments in the international trade structure.

Given the close relationship between energy use and GHG emissions, these results can also help to better design measures aimed at reducing energy-related emissions.

The remainder of the paper is organized as follows. First, we briefly review the literature dealing with energy use, paying special attention to those studies that focus on Brazil. Second, we present the data and methodology employed. Next, we comment on the results obtained. Finally, we summarize the main conclusions reached and elaborate some policy recommendations.

## 5.2. ENERGY USE IN BRAZIL: A REVIEW OF THE LITERATURE

Due to the close relationship between energy and GHG emissions, a high number of studies dealing with energy use have emerged over the last decades. We can trace back the interest in embodied energy flows to the energy crisis of the 1970s (Binder, 1974). Thus, in 1973 Robert Herendeen (Herendeen, 1973) introduced the concept of embodied energy drawing on the physiocratic theory (Quesnay, 1758b). The basic idea was that primary energy enters into society and circulate in the form of embodied energy in the different goods and services. So, to get an accurate estimation of total energy use, it is necessary to take into account that embodied energy flows (Bullard & Herendeen, 1975a, 1975b; Hannon, 2010; Herendeen, 1978, 2004). These models were based on traditional input-output analysis (IOA) (Leontief, 1936) although in some cases they were combined with life cycle analysis (LCA) giving place to hybrid models (Bullard et al., 1978). In the late 1970s and early 1980s decomposition analyses (DA) were developed to examine energy efficiency at the industry level. According Hoekstra and van den Bergh (2003), there are two main types of DA: structural decomposition analysis (SDA) and index decomposition analysis (IDA). While SDA uses input output data IDA does not employ any input output model. IDA can be linked to two main groups of methods: the first one is based on the Laspeyres index and the second one draws on the Divisia index (Ang, 2004).

The new oil crisis that caused the explosion of oil prices in the 1990s brought about a renewed interest in energy flows, and more concretely in embodied energy flows (Adelman, 1990). More recently, the focus has moved to the environmental impact or energy footprint. Different approaches can be distinguished when analyzing embodied

energy flows. The best known is IOA, which has been widely used both at local and global scales (Shaoqing Chen, Kharrazi, et al., 2020). Two other methods are LCA, which is commonly used to evaluate specific products or technologies (Goldstein et al., 2013; Lee & Tzeng, 2008; Nabavi-Pelesaraei et al., 2017; Pehnt, 2006), and ecological network analysis (ENA), which is employed to assess the sustainability of energy systems (Kharrazi et al., 2014; Y. Zhang et al., 2010). Among the most recent studies on energy modelling we can highlight those conducted for agricultural sector (Ghasemi-Mobtaker et al., 2020; Khanali et al., 2021; Mostashari-Rad et al., 2021; Nabavi-Pelesaraei, Azadi, et al., 2021; Nabavi-Pelesaraei, Rafiee, et al., 2021).

Within IOA, MRIO models estimate the energy use and GHG emissions occurring along global supply chain (B. Chen, Li, et al., 2018; G. Q. Chen et al., 2019; G. Q. Chen & Wu, 2017; Shaoqing Chen, Kharrazi, et al., 2020; Z.-M. Chen & Chen, 2013; Z. M. Chen & Chen, 2011b; Gyamfi et al., 2021; Shepard & Pratson, 2020; X. D. Wu, Guo, Ji, et al., 2019; X. D. Wu, Guo, Meng, et al., 2019; X. D. Wu et al., 2020; X. F. Wu & Chen, 2017b; Z. Zhang et al., 2019; G. Zhao & Liu, 2020). In a context of increasing interdependencies of countries, it is essential to take into account that a growing share of the total energy use of a country is composed of the energy use induced by goods and services produced abroad. Many papers on energy footprint include Brazil within the groups of countries analyzed. We can cite as examples the study by Lan et al. (2016) for 186 countries, by Chen et al. (2019) for 40 countries, by Zhang et al. (2019) for the BRICS group or by Gyamfi et al. (2021) for the emerging industrialized seven (E7) economies. However, the number of studies that focus on Brazil is scarcer. They are summarized in Table 5.2. For one part, we can find studies that examine energy use starting from IOA at the industry level (Arbex & Perobelli, 2010; A. L. de Carvalho et al., 2015, 2016; Machado et al., 2001; Machado & Schaeffer, 1997; Tolmasquim & Machado, 2003) and, for the other part, studies that employ DA at the household level (Abrahão & Souza, 2021; Achão & Schaeffer, 2009; Cohen et al., 2005; Sanches-Pereira et al., 2016). Some studies take into consideration both perspectives (L. C. de Freitas & Kaneko, 2011; Wachsmann et al., 2009).

Table 5.2. Studies on energy use in Brazil.

<b>Authors</b>	<b>Period</b>	<b>Method</b>	<b>Sector</b>
Schaeffer and de Sá (1996)	1970-1993	IOA	Industries
Machado and Schaeffer (1997)	1995-2015	IOA	Industries
Machado et al. (2001)	1990-1998	IOA	Industries
Tolmasquim and Machado (2003)	1995-1996	IOA	Industries
Montoya et al. (2014)	2009	IOA	Industries
Arbex and Perobelli (2010)	2009	IOA + other	Industries
Carvalho et al. (2015)	2009	IOA + other	Industries
Carvalho et al. (2016)	2009	IOA + other	Industries
Cohen et al. (2005)	1995	DA	Households
Achão and Schaeffer (2009)	1980-2007	DA	Households
Sanches-Pereira et al. (2016)	2009	DA	Households
Abrahão and Souza (2021)	2000-2018	DA	Households
Wachsmann et al. (2009)	1990-2010	DA	Industries and households
de Freitas and Kaneko (2011)	1970-2009	DA	Industries and households
Montoya et al. (2021)	2015	IOA	Industries and households

Source: Own elaboration.

At the industry level, the paper by Schaeffer and de Sá (1996) estimates the fossil energy associated with the production of Brazilian merchandise exports and imports for the period 1970-1993 by combining international trade data and energy intensities from input-output tables. This energy was converted to carbon emissions by using the carbon content of fuel oil. The results obtained show that while Brazil was a net energy importer over the period 1970-1979, it turned into a substantial net energy exporter between 1980-1993. The study by Machado and Schaeffer (1997) estimates the evolution of energy embodied in Brazilian industrial exports over the period 1995-2015 under different scenarios. They conclude that there is a tradeoff between the effectiveness of those measures aimed at improving an efficient energy use and the growth of the exports of energy-intensive goods. Machado et al. (2001) employ IOA in hybrid units to assess the

impact on total energy embodied in Brazilian exports on CO<sub>2</sub> emissions in 1995. They highlight that Brazil is not only a net exporter of embodied energy but also that each dollar earned with exports embodied more energy and more carbon than each dollar spent on imports. In a complementary way, the analysis of energy and carbon embodied in Brazilian international trade conducted by Tolmasquim and Machado (2003) reveals that the energy and CO<sub>2</sub> embodied in Brazilian exports are concentrated in some energy-intensive industries like pulp and paper, iron and steel, non-ferrous metals, non-metal minerals, chemicals, mining and quarrying products and food and beverages. Montoya et al. (2014) constructed an input-output model in hybrid units starting from the 2008 input-output matrix of Brazil. Arbex and Perobelli (2010) combine IOA with a growth model to simulate energy consumption in eleven industries in Brazil. In a similar way, Carvalho et al. (2015) and Carvalho et al. (2016) combine IOA with multi-objective models to analyze the tradeoffs between the maximization of production and employment and the minimization of energy consumption and emissions in Brazil. An inverse relationship between these two objectives is found.

Rather than on industries, some studies put the emphasis on the energy use of households. Thus, Cohen et al. (2005) examine total energy requirements of Brazilian households in 1995-1996. As expected, they point out the existence of a positive relationship between energy use and income level. However, compared to other countries, mobility accounts for larger share of total energy requirements. Achão and Schaeffer (2009) analyze the evolution of residential electricity consumption by Brazilian households over the period 1980-2007, highlighting the importance of social programs to reduce regional disparities. In this sense, we can note that in a comparative study of Australia, Brazil, Denmark, India and Japan, Lenzen et al. (2006) employ multivariate analysis to examine the importance of socio-demographic characteristics on household energy requirements. They find three key explanatory variables for energy requirements in Brazil, namely, expenditure, education and household size. Sanches-Pereira et al. (2016) examine the evolution of Brazilian residential energy consumption and its impact on emissions over the period 2000-2013, underlying again the importance of regional disparities. More recently, Abrahão and Souza (2021) analyze the drivers of Brazil's residential electricity consumption. They conclude that income does not have a clear impact on consumption in hot climate regions and that consumption decreases with age.



Wachsmann et al. (2009) examine changes in energy use of Brazilian industries and households over the period 1970-1996 using SDA. They conclude that changes in energy use in Brazil were mainly driven by changes in affluence, the number of people and intersectoral dependencies. de Freitas and Kaneko (2011) go beyond energy use, and by applying SDA, estimate the impact of energy consumption on emissions in Brazil over the period 1970-2009. They find that economic activity and demographic growth are the main drivers of emissions and that households play a minor role compared to industries. More recently, Montoya et al. (2021) examine the impact on emissions of renewable and non-renewable energy embodied in international trade. Their results show that Brazilian exports contribute to reduce world emissions as 39.4% of emissions embodied in exports have their origin in renewable energy.

None of the studies mentioned above differentiate between the domestic and foreign origin of the energy used at the industry level. To trace total energy use of a specific industry it is necessary to include the energy embodied in intermediate inputs. In addition, it is important to distinguish whether the energy used is produced in the own country or in the rest of the world. In the following section we describe the data and the methodology employed.

### 5.3. DATA AND METHODOLOGY

#### 5.3.1. Data

Nowadays, various MRIO databases are available with different regional and sectoral classifications, such as the Eora database (Lenzen et al., 2012, 2013), the World Input–Output Database (WIOD) (Timmer et al., 2015, 2016), the Global Trade Analysis Program (GTAP) database (Aguilar et al., 2019), EXIOBASE (Stadler et al., 2018; Wood et al., 2018) which is a product of the EXIOPOL project (Tukker et al., 2013), and the Organization for Economic Co-operation and Development Inter-Country Input–Output (OECD ICIO) database, which is based on the United Nations Uniform of the International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC) (OECD, 2021). In this paper we employ the Eora database, and more concretely its version 1998.82, that include a high number of countries (189) and has a sectoral coverage

of 26 sectors (Eora, 2019). In difference with other databases, Eora's guiding principle is to avoid transformations of the original raw data as much as possible for the sake of transparency (Lenzen et al., 2013). Concerning energy data, energy flows were expressed in Terajoules (TJ) by using energy data from the IEA (IEA, 2020a).

### 5.3.2. Methodology

The IO model for a single country was introduced by Leontief in 1936 (Leontief, 1936) and environmentally extended in the 1970s (Leontief, 1970). In this model the total output required by country  $r$  to satisfy a certain final demand is expressed as follows:

$$x^r = A^r x^r + y^r, \quad (1)$$

where  $x^r$  is a vector of sectoral outputs in country  $r$ ;  $A^r$  is a matrix of intermediate consumptions representing the industry requirements to produce one unit of output; and  $y^r$  is the final demand vector in country  $r$ .

Since imports are usually required to produce exports, direct energy use does not reflect the total energy use. In order to estimate total energy use, it is necessary to incorporate the energy used to produce exports. Thus, as an extension of the economic MRIO table, an energy use MRIO table can be built starting from the monetary flows and the energy resources of Brazil aggregated into  $n$  countries and  $k$  sectors. Table 5.3 shows the structure of the energy use MRIO table.

The energy use MRIO table is composed of five major blocks: the intermediate uses block, the final demand block, the value added block, the output block and the energy use block. Output can be obtained by adding intermediate uses and final demand or by adding intermediate uses and value added. All these blocks can be written in matrix or vector form.

Table 5.3. Structure of the energy use MRIO table.

Input \ Output		Intermediate uses							Final demand					Output	
		Country 1			...	Country n			Country 1			...	Country n		
		Industry 1	...	Industry k	...	Industry 1	...	Industry k	H	...	...	H	...		
Intermediate inputs	Country 1	Industry 1	$z_{11}^{11}$	...	$z_{1k}^{11}$	...	$z_{11}^{1n}$	...	$z_{1k}^{1n}$	$y_1^{11}$	...	$y_1^{1n}$	$x_1^1$		
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
		Industry k	$z_{k1}^{11}$	...	$z_{kk}^{11}$	...	$z_{k1}^{1n}$	...	$z_{kk}^{1n}$	$y_k^{11}$	...	$y_k^{1n}$	$x_k^1$		
		...	...	...	...	$z_{ij}^{sr}$	...	...	...	...	$y_i^{sr}$	...	$x_i^s$		
		Country n	Industry 1	$z_{11}^{n1}$	...	$z_{1k}^{n1}$	...	$z_{11}^{nn}$	...	$z_{1k}^{nn}$	$y_1^{n1}$	...	$y_1^{nn}$	$x_1^n$	
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
		Industry k	$z_{k1}^{n1}$	...	$z_{kk}^{n1}$	...	$z_{k1}^{nn}$	...	$z_{kk}^{nn}$	$y_k^{n1}$	...	$y_k^{nn}$	$x_k^n$		
	Value added	$v_1^1$	...	$v_k^1$	$v_j^s$	$v_1^n$	...	$v_k^n$							
	Output	$x_1^1$	...	$x_k^1$	$x_j^s$	$x_1^n$	...	$x_k^n$							
	Energy use	$e_1^1$	...	$e_k^1$	$e_j^s$	$e_1^n$	...	$e_k^n$							

Source: Own elaboration.

In the intermediate uses matrix,  $Z^{sr}$ , each element  $z_{ij}^{sr}$  shows the intermediate uses from industry  $i$  in country  $s$  to industry  $j$  in country  $r$ . In the final demand matrix,  $Y^{sr}$ , each element  $y_i^{sr}$  represents the final goods from industry  $i$  in country  $s$  to satisfy the final demand in country  $r$ . In the value-added vector,  $v^s$ , each element  $v_j^s$  shows the value added generated in industry  $j$  in country  $s$ . The output vector,  $x^s$ , each element  $x_j^s$  shows the output of industry  $j$  in country  $s$ . Finally, in the energy use vector,  $e^s$ , each element  $e_j^s$  shows the energy use of industry  $j$  in country  $s$ .

We can construct an intermediate consumption matrix  $A^{sr}$  by dividing the intermediate uses matrix  $Z^{sr}$  by a diagonalised output vector  $\hat{x}^r$  as follows:

$$A^{sr} = Z^{sr} (\hat{x}^r)^{-1}. \quad (2)$$

Each element  $a_{ij}^{sr}$  of the matrix  $A^{sr}$  shows the intermediate inputs from industry  $i$  in country  $s$  necessary to produce one unit of output in industry  $j$  in country  $r$ .

Starting from equation (1), the standard IO model can be written as follows:

$$x^s = \sum_{r=1}^n A^{sr} x^r + \sum_{r=1}^n y^{sr} \quad (3)$$

where  $x^s$  is a vector of sectoral outputs in economy  $s$ ;  $A^{sr}$  is a matrix of intermediate consumptions; and  $y^{sr}$  is the final demand vector from economy  $s$  to  $r$ .

Rearranging equation (3), we obtain the following expression:

$$x^s = \sum_{t=1}^n B^{st} y^{tr}, \quad (4)$$

where  $B \equiv (I - A)^{-1}$  is the Leontief inverse matrix. Matrix  $B^{st}$  shows the amount of output in a producing country  $s$  required for a one-unit increase in the final demand in destination country  $r$ .

To estimate the total (direct plus indirect) energy use, we need to construct the energy use vector  $e^s$  in the same manner as we constructed the intermediate consumptions matrix:

$$(e^s)' = (\varepsilon^s)' (\hat{x})^{-1}, \quad (5)$$

where  $\varepsilon^s$  is a vector of direct energy use in country  $s$ . Each element  $e_j^s$  of vector  $e^s$  shows the direct energy use per unit of output in industry  $j$  of country  $s$ .

The total energy use ( $E^{sr}$ ) of country  $s$  from country  $r$  can be obtained by pre-multiplying equation (4) by the direct energy consumption vector as follows:

$$E^{sr} = \sum_{t=1}^n (e^s)' B^{st} y^{tr}. \quad (6)$$

The Leontief inverse matrix  $B$  can be decomposed into two matrices:  $B^d$ , which represents the domestic sectoral relationships, and  $B^a$  which accounts for the sectoral relationships with the rest of the world.

$$B = B^d + B^a \quad (7)$$

The final demand  $Y$  can also be decomposed into two matrices:  $Y^d$ , which represents the domestic final demand, and  $Y^f$  which represents the final demand from the rest of the world.

$$Y = Y^d + Y^f. \quad (8)$$

Using these two decompositions, we can rewrite equation (6) as follows:

$$E_{0j}^{sr} = e_{0j}^{0s} \cdot B_{ij}^{sr} \cdot Y_{i0}^{sr}. \quad (9)$$

If we use the decomposition of energy use associated to final demand, we obtain the following expression:

$$E_i^d = E_{i0}^{dd} + E_{i0}^{da} + E_{i0}^{fd} + E_{i0}^{fa}. \quad (10)$$

The first term  $E_{i0}^{dd}$  shows the domestic use of energy produced domestically. The second term represents  $E_{i0}^{da}$  the domestic use of energy produced abroad. The third term  $E_{i0}^{fd}$  captures the foreign use of energy produced domestically. Finally, the fourth term  $E_{i0}^{fa}$  comprises the foreign use of energy produced abroad. In our case, each of the four terms of the equation (10) can be described as follows:

Firstly, the total energy used and produced in Brazil:

$$E^{dd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^d). \quad (11)$$

Secondly, the total energy used in Brazil but produced abroad:

$$E^{da} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^a \cdot Y_i^d). \quad (12)$$

Thirdly, the total energy used abroad but produced in Brazil:

$$E^{fd} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^d \cdot Y_i^f). \quad (13)$$

Finally, the total energy used and produced abroad:

$$E^{fa} = \sum_{j=1}^n (e_j \cdot B_{ij}^a \cdot Y_i^f). \quad (14)$$

The methodology described is summarized in Table 5.4.

Table 5.4. Schematic table of the methodology.

Direct energy use ( <i>e</i> vector)	Total intermediate use of inputs ( <i>B</i> matrix)	Domestic ( $B^d$ )	By multiplying the different <i>B</i> and <i>Y</i> matrices by the <i>e</i> vector we obtain the total energy use ( <i>E</i> ) which can be decomposed into four terms $E = E^{dd} + E^{da} + E^{fd} + E^{fa}$ where: Energy used and produced in the country ( $E^{dd}$ ) Energy used in the country but produced abroad ( $E^{da}$ ) Energy produced in the country but used abroad ( $E^{fd}$ ) Energy used and produced abroad ( $E^{fa}$ )
		Rest of the world ( $B^a$ )	
	Final demand ( <i>Y</i> matrix)	Domestic ( $Y^d$ )	
		Rest of the world ( $Y^f$ )	

Source: Own elaboration.

#### 5.4. RESULTS AND DISCUSSION

Once described the methodology employed, as a preliminary step before entering into the analysis of total energy use, we examine the evolution experienced by energy production, energy exports and energy imports in Brazil over the period 1995-2019 (IEA, 2020b). Fig. 5.1 also shows the apparent energy consumption, that is, the sum of energy production plus energy imports minus energy exports (Deardorff, 2014).

As can be noticed, energy production increased substantially over the period 1995-2019. On average, it grew at annual rate higher than 4%. The increase in energy imports was much more modest. On average, energy imports grew at annual rate of 1.2%. In contrast, the pace of growth of exports was much higher: 17.6%. These figures confirm the ascending role of Brazil as net energy exporter as well as its growing self-sufficiency in energy use terms: apparent energy consumption was lower than energy production in the last two years.

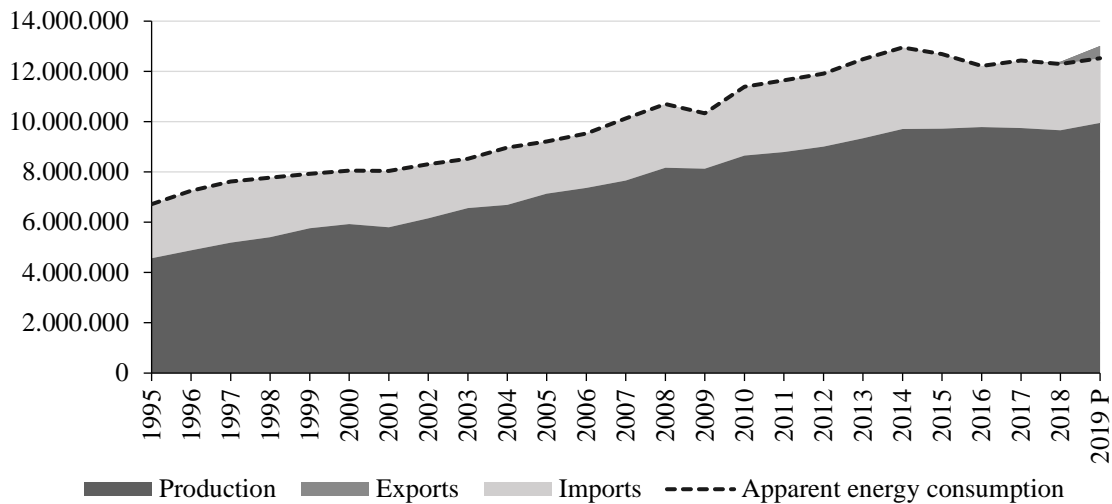


Fig. 5.1. Evolution of production, exports and imports of energy in Brazil, 1995-2019

The trends shown by exports and imports can be explained by the increases or reductions in the international trade of certain energy sources. For instance, Brazilian energy imports are mainly composed of fossil sources and imports of some of these sources, like crude, NGL and feedstocks, experienced a severe drop between 1995 and 2019.

After describing the recent changes in energy production, exports and imports, we focus on the changes experienced by total energy use in Brazil. Conventional analyses on energy use focus on the direct energy use by industries. Fig. 5.2 shows the evolution of total energy use between 1995 and 2015, distinguishing between direct energy use and indirect energy use.

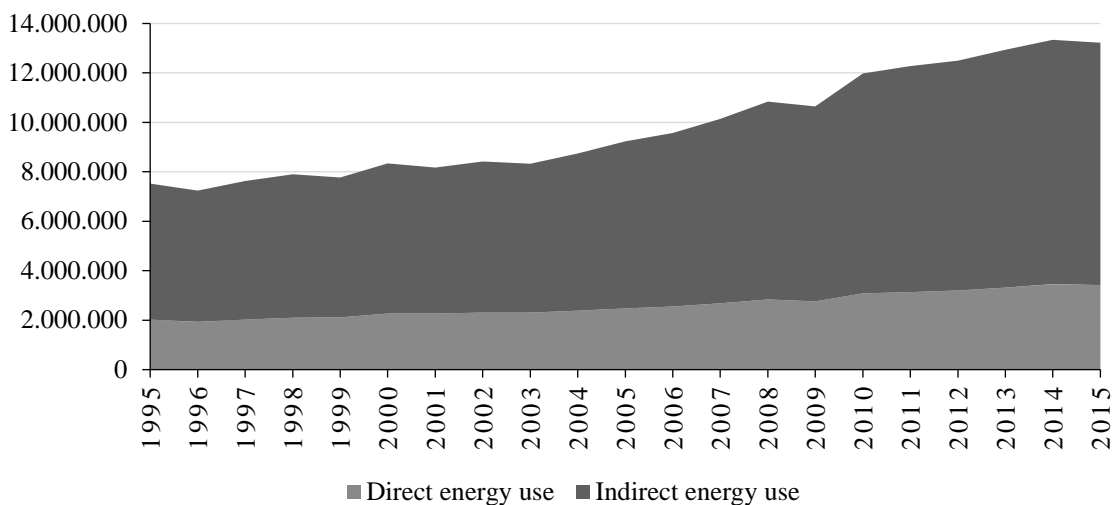


Fig. 5.2. Evolution of total energy use in Brazil, 1995-2019

Overall, total energy use experienced a substantial growth over the period examined: it increased at annual average rate close to 3%. As expected, most of total energy use was indirect. In addition, the annual average growth rate of indirect energy use was slightly higher than the rate of direct energy use (3% compared to 2.7%). As a result, the changes in the contribution of direct and indirect use to total energy use were very low: only one percentage point. Thus, while in 1995 direct energy use accounted for 27% of total energy use and indirect energy use for 73%, the participations in 2015 were 26% and 74%, respectively. According to Wachsmann et al. (2009), the importance of Brazil's indirect energy use can be explained, among other factors, by the increasing complexity of production processes, the rise of mechanization and the development of global value chains.

Entering into the domestic or foreign origin of total energy use, Fig. 5.3 reports the evolution of total energy use in Brazil distinguishing between the four components described above: total energy used and produced in Brazil (DU-PD), total energy used in Brazil but produced abroad (DU-PA), total energy used abroad but produced in Brazil (FU-PD) and total energy used and produced abroad (FU-PA).

As can be noticed, most of total energy is used in Brazil. However, over the period analyzed, the share of energy used abroad grew substantially, from 3.7% in 1995 to 6.1% in 2015. This increase in the share of foreign energy use was explained by the faster pace of growth of foreign energy use compared to domestic energy use. Thus, while domestic energy use grew at annual average rate of 2.8%, the average annual growth rate of foreign energy use was more than double, 6%.

Concerning to the origin of the total energy used, that is, whether it is produced in the country or abroad, we have to note that, while the share of the energy used in Brazil but produced abroad remained quite stable over the period, there was a substantial increase in the share of the energy produced in Brazil but used abroad (that grew from 3.2% of the total energy use in 1995 to 5% in 2015). In contrast, the share of the energy used and produced in Brazil diminished from 83.3% in 1995 to 80.6% in 2015. In their recent analysis of the largest 136 economies over the period 2000-2015, Shepard and Pratson (2020) find that, on average, 23% of world trade in embodied energy in place between countries that do not have apparent energy trade. This reflects a growing dependence on foreign energy systems that have some benefits in terms of security, as energy disruptions in one specific supply chain will have a low impact on the economy.



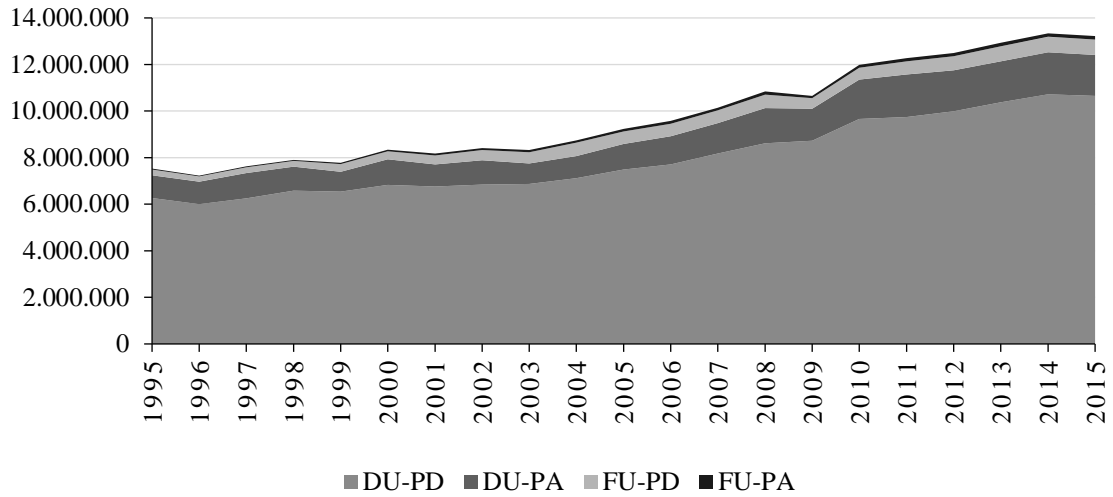


Fig. 5.3. Evolution of domestic and foreign energy use in Brazil, 1995-2015

Turning to analysis of total energy use at the industry level, Fig. 5.4 shows the shares of the four components of total energy use (DU-PD, DU-PA, FU-PD and FU-PA) by industry in 1995, 2002, 2008 and 2015. The list of industries is reported in Appendix A.

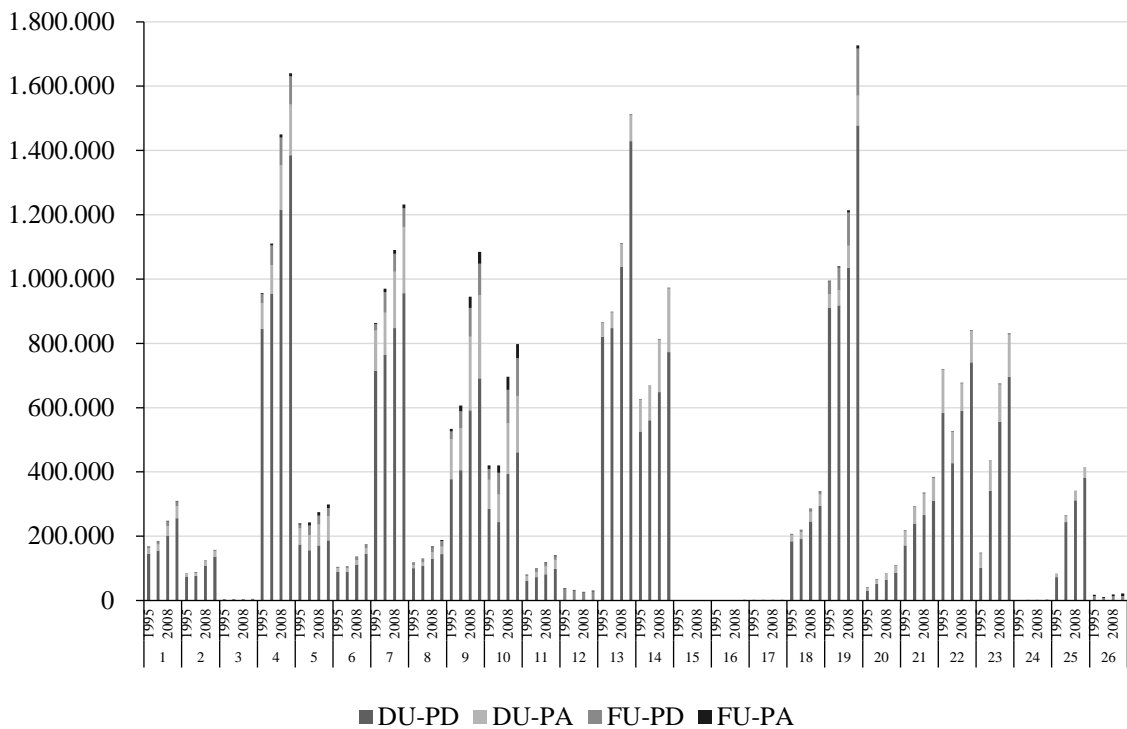


Fig. 5.4. Evolution of domestic and foreign energy use by industry in Brazil, 1995-2015

As can be seen, the three greatest energy user industries were 19 Transport, 4 Food & Beverages, and 13 Electricity, Gas, and Water. These three industries accounted for 37% of total energy use in Brazil in 2015. In addition, we have to note that, over the years examined, their share in total energy use remained stable. In contrast, the fourth highest energy user industry, 7 Petroleum, Chemical, and Non-Metallic Mineral Products, diminished its share in total energy use from 11.5% in 1995 to 9.3% in 2015.

At the opposite end of the scale, we find three industries from the service sector: 15 Maintenance and Repair, 16 Wholesale Trade, and 17 Retail Trade. We have to note, however, the existence of very different patterns among the service industries. Thus, both the greatest increase and the greatest drop in the share in total energy use were reported by services industries. In particular, the strongest rise was reported by 23 Education, Health and Other Services and the most severe drop by 22 Public Administration. These results are in line with previous analyses on total energy use in Brazil conducted at the sectoral level. Thus, Wachsmann et al. (2009) found that the major contributor to the changes in energy use of Brazil over the period 1970-1996 were manufacturing, construction and transport while the contribution of the service sector was more modest. The most recent study by Montoya et al. (2021) confirms that industry and services were the aggregates with the greatest energy footprint in Brazil.

Concerning the distinction between domestic and foreign origin of the energy used, we can observe the existence of some common features among those industries that are the top energy users. Thus, in 19 Transport, 4 Food & Beverages, and 13 Electricity, Gas, and Water, the importance of the energy used and produced in Brazil was much higher than the average in 2015 (85.6%, 84.5% and 94.5%, respectively, compared to 80.6%). In contrast, the domestic use of energy produced abroad was below the average in 2015 (5.4%, 9.6% and 5.4%, respectively, compared to 13.3%). In other words, strong energy users are highly dependent on domestic energy production.

We can highlight the existence of other industries where the domestic use of energy produced abroad plays a key role. These are the industries of 5 Textiles and Wearing Apparel, 9 Electrical and Machinery, 10 Transport Equipment and 14 Construction. In these four industries the domestic use of energy produced abroad accounted for more than 20% of their total energy use in 2015. Some of these industries are characterized by a poor competitiveness and a low degree of integration in global value chains (Callegari et al., 2018; Hollweg & Rocha, 2018). Thus, as Hollweg and

Rocha (2018) note in their study of Brazil in global value chains, Brazil has a very weak performance in the industries of Textiles and Wearing Apparel and Electrical Machinery, reporting very low revealed comparative advantages.

## 5.5. CONCLUSIONS

Recent data from the IEA reveal that Brazil is becoming self-sufficient in energy terms. Its energy exports have risen to the point of surpassing the sum of apparent energy consumption. The aim of this paper was to examine the evolution of total energy use by Brazilian industries over the period 1995-2015. In difference with previous works, we distinguish between the domestic and foreign origin of the total energy used.

The results obtained show a growing importance of the total energy produced in Brazil but used abroad. This confirms the key role of Brazil as world energy provider. The Brazilian production system concentrates its energy use on energy that has a national origin. However, over the last years there was a substantial increase in the energy used for exports. Thus, the pace of growth of the foreign use of energy more than doubled the average growth of the domestic use of energy during the years 1995-2015.

From a sectoral perspective, three industries: 19 Transport, 4 Food & Beverages, and 13 Electricity, Gas, and Water, were found to be the major energy users. These three industries were characterized by an intensive use of energy produced in the own country. In contrast, some service industries, like 15 Maintenance and Repair, 16 Wholesale Trade and 17 Retail Trade, were found to be the weakest energy users.

The dependence of certain activities from global value chains and external trade was reflected into a rising importance of the domestic use of energy produced abroad. This was the case of 5 Textiles and Wearing Apparel, 9 Electrical and Machinery, 10 Transport Equipment and 14 Construction.

In brief, we can affirm that to estimate the total energy use of the different industries and to identify the origin of the energy used is essential for an adequate formulation of energy policies. The production system is a key agent in order to achieve the transition to more socially and environmentally sustainable energy systems. Nonetheless, it is necessary to take into account that the industries that compose the

production system show different energy use patterns. In the case of Brazil, for one part, we found that a reduced group of industries accounts for most of the domestic use of energy produced in Brazil. Sectoral measures, like fostering the introduction of efficient and clean technologies, should be aimed at this specific group of industries. For the other part, we identified the existence of some industries that are increasing reliant of energy produced abroad. This fact extends the problem of mitigation of energy-related GHG emission from the national to the global level. To ensure the sustainability of the energy system it is necessary to enhance the energy efficiency across the different global supply chains.

Obviously, our study has limitations. First, as was noted in the introduction, there is considerable time lag in the release of MRIO tables and MRIO models assume hypotheses on homogeneity, proportionality and imports. Updated MRIO tables could show a more actual picture of total energy use. Second, energy conversion efficiencies could be incorporated to deal with secondary energy production. In addition, sectoral disaggregation is not detailed enough to capture the heterogeneity of products within the different industries. In this sense, the use of commodity-by-industries energy models could be useful in this sense. We also have to note that we have not included household energy use. It also would be interesting to identify the major embodied energy partners. All these issues should be object of study in future works.

#### ACKNOWLEDGMENTS:

We thank support from the project “Adaptation to sustainable energy transition in Europe: Environmental, socio-economic and cultural aspects (ADAPTAS)” as part of the funding for this research. (Ministry of Economy, Industry, and Competitiveness and State Research Agency of Spain, and European Regional Development Fund, No. CSO2017-86975-R).

## APPENDIX A

List of the 26 industries included in the Eora database

<b>Industry</b>	<b>Code</b>
Agriculture	1
Fishing	2
Mining and Quarrying	3
Food & Beverages	4
Textiles and Wearing Apparel	5
Wood and Paper	6
Petroleum, Chemical and Non-Metallic Mineral Products	7
Metal Products	8
Electrical and Machinery	9
Transport Equipment	10
Other Manufacturing	11
Recycling	12
Electricity, Gas and Water	13
Construction	14
Maintenance and Repair	15
Wholesale Trade	16
Retail Trade	17
Hotels and Restaurants	18
Transport	19
Post and Telecommunications	20
Financial Intermediation and Business Activities	21
Public Administration	22
Education, Health and Other Services	23
Private Households	24
Others	25
Re-export & Re-import	26

Source: Own elaboration based on (Eora, 2019)

## CAPÍTULO 6. DETERMINANTES DEL CONSUMO DE ENERGÍA RENOVABLE EN LA UNIÓN EUROPEA: UN ANÁLISIS ENTRE UE-15 Y LOS 13 NUEVOS PAÍSES

**Publicado en la Revista:** “Revista de Estudios Empresariales - Segunda Época” de la Universidad de Jaén.



**JCI (2020):** 0,06, Q4 (264/285 Business)

**Referencia:** da Silva Almeida, L., 2022. Determinantes del consumo de energía renovables en la Unión Europea: un análisis entre UE-15 y los 13 nuevos países. Revista de Estudios Empresariales - Segunda Época.

**Recibido:** 3 de diciembre 2021 | **Aceptado:** 14 de diciembre 2021 | **Previsión de publicación:** 30 de enero de 2022

Lucas da Silva Almeida <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Granada, Granada, 18071, España

<sup>b</sup> Centro Universitário Maria Milza, Governador Mangabeira, 44350, Brasil

### Resumen

El cambio climático es una gran preocupación mundial y está estrechamente relacionado con las estrategias utilizadas para generación y consumo de energía. Así, la búsqueda de fuentes de energías renovables ha crecido exponencialmente en las últimas décadas. A nivel de la Unión Europea (UE) se estableció que para 2020 el porcentaje de EERR debería cubrir un 20% del consumo total de energía y para el 2030, al menos un 32%. En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar el efecto de factores económicos y sociales en el consumo de energías renovables en el período 1995-2018 en los países de la UE, considerando, por un lado, el grupo UE-15, y, por otro, los 13 países que se incorporaron a la UE desde 2004. A través de la técnica de datos de panel se estimaron modelos que permiten concluir que el comportamiento de las variables es distinto al considerar la UE28, el grupo UE-15 y el grupo de los 13 nuevos países miembros. Para cumplir con el objetivo propuesto para 2030 es necesario tener en cuenta la heterogeneidad entre países y elaborar planes que combinen aspectos económicos y sociales.

**Palabras clave:** Energía renovable. Factores económicos. Factores sociales. Unión Europea.

**Códigos JEL:** O52. Q20. Q42.

## **DETERMINANTS OF RENEWABLE ENERGY CONSUMPTION IN EUROPEAN UNION: AN ANALYSIS BETWEEN EU-15 AND THE 13 NEW COUNTRIES**

### **Abstract**

Climate change is a major global concern and is closely related to the strategies used for energy generation and consumption. Thus, the search for renewable energy sources has grown exponentially in recent decades. At the level of the European Union (EU) it was established that by 2020 the percentage of renewable energy should cover 20% of total energy consumption and by 2030, at least 32%. In this sense, the objective of the study was to analyze the effect of economic and social factors on the consumption of renewable energies in EU countries, considering the EU-15 group and the 13 others that incorporated from 2004, for the years of 1995 and 2018. Through the panel data technique, models were estimated, which allow us to conclude that the behavior of the variables is different when considering the entire block, the EU-15 group and the group of 13 new ones, with respect to renewable energy consumption. To meet the 2030 target, it is necessary to take into account the heterogeneity among countries and to elaborate plans that combine economic and social factors.

**Keywords:** Renewable energy. Economic factors. Social factors. Energy transition. Data panel. European Union.

### 6.1. INTRODUCCIÓN

La clave para revertir la situación climática global está en la estrategia definida sobre la forma en que se genera y se consume energía. En ese sentido, las energías renovables (EERR) son la pieza fundamental para ese proceso, dado que contribuyen no sólo a la conservación del medio ambiente, sino también a la mejora de aspectos económicos y sociales (Akizu-Gardoki et al., 2018).

A nivel mundial existe una gran dificultad para cambiar el uso de energía no renovable por fuentes de EERR. Los datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA<sup>28</sup>), indican que el porcentaje de suministro de energía primaria en el mundo por medio de fuentes de EERR, prácticamente no ha cambiado, en las últimas cuatro décadas. Así, en 1971 representaban el 13,1% y en 2018 el 13,8% (IEA, 2020a).

Esta dificultad de cambio se explica por una serie de problemas que obstaculizan la implementación de las fuentes de energía renovables, y que van desde la forma ineficiente en que las personas usan la energía, a la falta de información o conocimiento

---

<sup>28</sup> International Energy Agency.

sobre la importancia de las energías limpias, los fallos del mercado o el acceso a las materias primas para el despliegue de recursos renovables (Owusu & Asumadu-Sarkodie, 2016).

A finales de 2019 el consumo mundial de energía renovable representaba un 19,9% del consumo final de energía (REN21, 2021). La clasificación elaborada por REN21 clasifica a las energías renovables en dos grandes grupos, energías renovables modernas y biomasa tradicional. La participación de cada una de ellas en 2019 fue del 11,2% y el 8,7%, respectivamente. A su vez, las energías renovables modernas se subdividen en: biomasa/solar/calor geotérmico (4,2%); energía hidroeléctrica (3,6%); energía eólica/solar/biomasa/geotérmica/oceánica (2,4%) y biocombustible para el transporte (1,0%) (REN21, 2021).

En el contexto de la UE se resalta la importancia que tiene el consumo de EERR como mecanismo facilitador del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y, más concretamente del séptimo, que se refiere a la energía asequible y no contaminante. Por ello se han fijado metas orientadas a incrementar el consumo de EERR. Así, el objetivo actual para 2030 es que el 32% del consumo total de energía se cubra a través de EERR, como se informa en la Directiva (UE) 2018/2001 (European Union, 2018b).

El cumplimiento del objetivo antes mencionado implica un gran reto para la UE, debido a que, pese a que estaba cerca de cumplir del objetivo fijado para 2020, y en 2019 el porcentaje de demanda de energía de la UE cubierta con EERR fue del 18,9%, muchos de sus países encuentran dificultades en esa transición. De esa forma la Comisión Europea ha demostrado una gran preocupación en este sentido, con los países que se encuentran aún lejos de cumplir los objetivos fijados como es el caso de Bélgica, Francia, Irlanda, Luxemburgo, Países Bajos, Polonia y Reino Unido (Eurostat, 2021).

Para la UE las fuentes de energía renovables son aquellas naturales inagotables, como la eólica, solar, hidroeléctrica, oceánica, geotermal, de la biomasa y de los biocombustibles. Más allá de contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la diversificación del suministro energético, son también la alternativa para disminución de la dependencia de los mercados de combustibles fósiles, externos a la UE y considerados como volátiles y poco fiables (European Parliament, 2019).



La disponibilidad de información relacionada con los determinantes del consumo de EERR es fundamental para la creación de estrategias que permitan el cumplimiento de los objetivos propuestos. En ese sentido, la revisión de la literatura sobre las causas que motivan el uso de EERR, muestra la utilización de diferentes variables a la hora de medir el consumo de energía renovable, como son el Consumo de Energía Renovable total (REC), el Consumo de Energía Renovable per cápita (RECpc), el Consumo de Energía Eléctrica Renovable (REEC) y la Participación de las Fuentes Renovables en el Consumo de Energía (REC%). Esta última, es la empleada en este trabajo.

Uno de los trabajos seminales acerca del consumo de energía es el elaborado por Kraft & Kraft (1978). En él se examina la relación entre consumo bruto de energía y producto nacional bruto, encontrando una causalidad bidireccional entre estas dos variables. Desde comienzos del siglo XXI aumenta el número de investigaciones que relacionan consumo de energía, emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), comercio, inversión extranjera directa y crecimiento económico. Los resultados de estos estudios difieren e incluso son contradictorios, según los períodos de tiempo y/o regiones examinados (Ergun et al., 2019).

Centrándonos en el efecto del consumo de EERR sobre el crecimiento económico y las emisiones de CO<sub>2</sub> hay diversas investigaciones. Sin embargo, existen pocos trabajos acerca de los determinantes del consumo de energía renovable o centrados en los factores relacionados con la participación de las fuentes renovables en el consumo de energía. Entre estos trabajos podemos citar análisis realizados para México (Mele, 2019), Arabia Saudí (Toumi & Toumi, 2019), algunos países del continente africano (Attiaoui et al., 2017; Ergun et al., 2019), y, de modo más amplio, algunos estudios para grupos de países como la UE (Marra & Colantonio, 2021), 42 países en desarrollo (Ito, 2017) o 124 países (Amuakwa-Mensah & Näsström, 2022).

En este trabajo se examinan los principales motores del consumo de energía renovable en la UE, diferenciando entre el grupo que componen el bloque hace más tiempo (UE-15) y el grupo de los 13 “nuevos países miembros” (UE-NEW). En el análisis se tienen en cuenta, no sólo aspectos económicos, sino también político-sociales. La contribución del trabajo es doble. Por un lado, a diferencia de la mayor parte de estudios previos, se utiliza como variable dependiente el porcentaje de consumo de energía renovable en el consumo final de energía total, en lugar de utilizar el valor absoluto de

este consumo. Además, se tienen en cuenta factores tanto económicos como sociales. Por otro, se tratan de identificar las diferencias dentro del bloque de la UE.

El trabajo se divide en cinco secciones. En la segunda sección se lleva a cabo una breve revisión de la literatura sobre los factores determinantes del consumo de energía renovable. La tercera sección presenta los datos y la metodología utilizada para el desarrollo del análisis empírico. En la cuarta sección se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, en la última sección se resumen las principales conclusiones alcanzadas.

## 6.2. REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE ANALIZAN LOS DETERMINANTES DEL CONSUMO DE ENERGÍA RENOVABLE

Dentro de los estudios que examinan los factores determinantes del consumo de energía renovable se identifican cuatro formas de medir el consumo de energía renovable: consumo total (REC); consumo per cápita (RECpc); consumo de electricidad (REEC); porcentaje de consumo (REC%). Como se indicó anteriormente, este estudio se toma como variable dependiente el porcentaje de consumo de energía. La Tabla 6.1 muestra un resumen de los principales trabajos que analizan el consumo de energía renovable.

Como puede observarse, se aplican diferentes métodos econométricos de datos de panel y pruebas de causalidad. Además, la mayoría de los estudios emplean el valor absoluto del consumo de energía renovable como variable dependiente, con estudios en China (Y. Chen, 2018; Lin & Moubarak, 2014; P. Zhao et al., 2020), India (Eren et al., 2019), Túnez (Ben Jebli, 2016; Cherni & Jouini, 2017), Estados Unidos (Sohail et al., 2021), países de la OCDE (Apergis & Payne, 2010a; Salim et al., 2014; Salim & Shafiei, 2014), miembros de la UE de Europa central y oriental (Marinaş et al., 2018), países de la Comunidad de Estados Independientes (Rasoulinezhad & Saboori, 2018), países africanos (Ben Aïssa et al., 2014; Olanrewaju et al., 2019), con nueve países desarrollados (Saidi & Ben Mbarek, 2016), con 19 países desarrollados y en desarrollo (Apergis et al., 2010) y, a nivel global, con 74 países (Doytch & Narayan, 2016) y 107 países (Nguyen & Kakinaka, 2019).

Tabla 6.1 – Resumen de la literatura sobre los determinantes del consumo de energía renovable (continúa...)

Autor	Período	Países estudiados	Método	Resultados
Sadorsky (2009a)	1980-2005	G7	Cointegración de paneles; FMOLS; DOLS.	Impacto en RECpc: PIBpc (+); CO <sub>2</sub> E (+).
Sadorsky (2009b)	1994-2003	18 países emergentes	FMOLS; DOLS; OLS.	Impacto en RECpc: PIBpc (+).
Apergis et al. (2010)	1984-2007	19 países desarrollados y en desarrollo	Modelo dinámico de corrección de errores; Causalidad de Granger.	Impacto en REC: PIBpc (+); CO <sub>2</sub> (-); NEC (-).
Apergis & Payne (2010b)	1985-2005	20 países OECD	VECM; Causalidad de Granger.	Impacto en REC: PIBpc (+); LF (+); GFCF (+).
Apergis & Payne (2010a)	1992-2007	13 países de Eurasia	VECM; Causalidad de Granger.	Impacto en REEC en SR: PIB (+); GFCF (-).
Apergis & Payne (2011)	1990-2007	80 países	Modelos de corrección de errores. ARDL; FMOLS; DOLS; y Causalidad de Granger.	Impacto en REEC en SR: PIB (+); GFCF (+); NREC (+).
Salim & Rafiq (2012)	1980-2006	6 países emergentes	VECM; Dinámicas causales.	Impacto en RECpc: PIBpc (+).
Apergis & Payne (2012)	1990-2007	80 países	FMOLS.	Impacto en REEC: PIB (+); NREEC (-) en SR.
Al-Mulali et al. (2013)	1980-2009	109 países	ARDL; FMOLS, DOLS.	Impacto en REEC: 79% ↔ (+) PIB; 19% no LR causalidad entre PIB; 2% PIB → REC.
Sebri & Ben-Salha (2014)	1971-2010	3 BRICS países	ARDL.	Impacto en REEC: PIB (+) en Brasil; CO <sub>2</sub> E (-) en Brasil, India y Sudáfrica; AC (+) in Brasil y India.
Lin & Moubarak (2014)	1977-2011	China	VECM.	Impacto en REC: CO <sub>2</sub> E (+); LF (+); PIBpc (+).
Ben Aïssa et al. (2014)	1980-2008	11 países africanos	El vector de cointegración a largo plazo utilizando FMOLS.	No SR o LR causalidad entre comercio y REC.
Apergis & Payne (2014)	1980-2010	7 países América Central	Efectos comunes correlacionados. PMG; ARDL.	Impacto en RECpc: PIBpc (+), CO <sub>2</sub> Epc (+), CP (+); OP (+).
Salim & Shafiei (2014)	1980-2011	29 países OECD	Causalidad de Granger.	Impacto en REC: Población (+); Servicios (-).
Salim et al. (2014)	1980-2012	29 países OECD	OLS; efectos fijos y aleatorios; GMM.	Impacto en REC: NREC (-).
Ben Jebli et al. (2015)	1980-2010	24 países de África subsahariana	GMM; Estimador de panel dinámico Blundell-Bond.	Impacto en RECpc: Exportación → (+); Importación → (+).
Omri et al. (2015)	1990-2011	64 países	ARDL.	Impacto en RECpc: PIBpc (+).
Doytch & Narayan (2016)	1985-2012	74 países	Causalidad de Granger; FMOLS; DOLS.	Impacto en REC en todos países: IED (+).
Ben Jebli (2016)	1990-2011	Túnez	VECM; Causalidad de Granger.	Impacto en REC en MIC: IEDfin (-).
Saidi & Ben Mbarek (2016)	1990-2013	9 países desarrollados	GMM; Estimador de panel dinámico Blundell-Bond.	Impacto en REC en HIC: IED (+); IEDfin (+); IEDman (-); IEDserv (+).
Ben Jebli & Ben Youssef (2017)	1980-2011	Túnez	ARDL.	Impacto en REC: PIBpc (+); CO <sub>2</sub> E (+); HI (+); RT (-).
Attiaoui et al. (2017)	1990-2011	22 países africanos	Causalidad de Granger; FMOLS; DOLS.	Impacto en REC: PIBpc (+); CO <sub>2</sub> E (-); NEC (-).
Ito (2017)	2002-2011	42 países en desarrollo	VECM; Causalidad de Granger.	Impacto en RECpc: AVApc (+).
Amri (2017)	1990-2012	72 países	ARDL-PMG; Causalidad de Granger.	Impacto en REC%: CO <sub>2</sub> E (-); NREC (+); PIB (no afecta).
Cherni & Jouini (2017)	1990-2015	Túnez	GMM; PMG.	Impacto en REC%: CO <sub>2</sub> E (-); FEC (-); PIB (-).
			GMM; Estimador de panel dinámico Blundell-Bond.	Impacto en REEC: PIB (+); AC (+); GFCF (+).
			ARDL y Causalidad de Granger.	Impacto en REC: ↔ (+) PIB.

Tabla 6.1 – Resumen de la literatura sobre los determinantes del consumo de energía renovable (conclusión)

Autor	Período	Países estudiados	Método	Resultados
Chen (2018)	1996-2013	China	GMM.	Impacto en REC: PIBpc (+); CO <sub>2</sub> Epc (+); Urbano (+); EXpc (+) en regiones del este, central y nacional, (-) en occidental; IMpc (+) en central, (-) en regiones del este, occidental y nacional.
Marinaş et al. (2018)	1990-2014	10 EU miembros de CEE	PMG.	Impacto en REC en LR: PIB (+).
Rasoulinezhad & Saboori (2018)	1992-2015	países CIS región	FMOLS; DOLS.	Impacto en REC: PIB (+); CO <sub>2</sub> E (+); NREC (+); AC (+), FO (+).
Eren et al. (2019)	1971-2015	India	Quasi-GLS; DOLS; Causalidad de Granger.	Impacto en REC: ↔ (+) PIB; → (+) FD.
Mele (2019)	1980-2017	México	No causalidad de Granger.	Impacto en REC%: PIB (no afecta); GFCF (+); LF (no afecta).
Amri (2019)	1990-2012	72 países	GMM.	Impacto en REEC: AC (+).
Ergun et al. (2019)	1990-2013	21 países africanos	FE y RE GLS.	Impacto en REC%: PIBpc (-); IED (+); AC (-); IDH (-); DEM (no afecta).
Nguyen & Kakinaka (2019)	1990-2013	107 países	FMOLS y DOLS.	Impacto en REC: [PIB (-); CO <sub>2</sub> E (+); OP (+)] en LIC; [PIB (+); CO <sub>2</sub> E (-); OP (-)] en MIC; [PIB (+); CO <sub>2</sub> E (-); OP (+)] en HIC.
Toumi & Toumi (2019)	1990-2014	Reino de Arabia Saudí	Modelo de retardo distribuido autorregresivo no lineal (NARDL).	Impacto en REC% en SR: PIBpc++ (+); PIBpc-- (-); CO <sub>2</sub> Epc++ (-); CO <sub>2</sub> Epc-- (-). Impacto en REC% en LR: PIBpc++ (-); PIBpc-- (+); CO <sub>2</sub> Epc++ (+); CO <sub>2</sub> Epc-- (+).
Olanrewaju et al. (2019)	1990-2015	5 países africanos	Pooled OLS, FE y RE.	Impacto en REC: EI (-); OR (-); CR (-); NGR (+); CI (-).
Zhao et al. (2020)	1980-2016	China	OLS; FMOLS.	Impacto en REC: FD (+); AC (-); PIBpc (+); Tecnología (+).
Khan et al. (2020)	1980-2018	192 países	Modelo de regresión de cuantil de panel.	Impacto en REC%: CO <sub>2</sub> E (-); Urbano (+); AC (-); IED (-); FD (+); LF (+); MT (+).
Anton & Afloarei Nucu (2020)	1990-2015	28 países UE	Modelo de efectos fijos.	Impacto en REC%: PIBpc (-); IED (-); FD (+); CPI (+).
Sohail et al. (2021)	1985-2019	EE.UU.	ARDL; NARDL.	Impacto en REC: MPU (-) en SR-LR; GE (+); PIBpc (+); CPI (+).
Hashemizadeh et al. (2021)	1990-2016	20 países emergentes	DKSE; FGLS; PCSE.	Impacto en RECpc: ↔ (-) PD; AC (-); PIBpc (+); Urbano (+).
Marra & Colantonio (2021)	1990-2015	12 países UE	PVAR; causalidad de Granger.	Impacto en REC%: EP (+); EFN (+); CO <sub>2</sub> E (+); PIBpc (-) IM (-); ED (-).
Amuakwa-Mensah & Näsström (2022)	1998-2012	124 países	GMM.	Impacto en REC%: [MC; AS; ME] (+) en HIC; [RA; MC; FS] (+) en MIC y LIC.

Notas: → unidireccional; ↔ bidireccional; + positivo; - negativo; ++ representa el cambio positivo de la función acumulativa; -- representa el cambio negativo de la función acumulativa; (pc) per cápita; AC apertura comercial; AS calidad de activos; AVA valor agrícola añadido; CI intensidad de carbón; CO<sub>2</sub>E emisiones de CO<sub>2</sub>; CP precio del carbón; CPI índice de precios al consumidor; CR rentas de carbón; DEM democracia; ED educación; EI intensidad energética; EP política ambiental; EX exportaciones; FD desarrollo financiero; FEC consumo de energía de combustibles fósiles; FO apertura financiera; FS estabilidad financiera; GE gastos gubernamentales; GFCF formación bruta de capital fijo; HI indicador de salud; HIC países de altos ingresos; IDH índice de desarrollo humano; IED inversión extranjera directa; IEDfin IED financiera; IEDman IED manufactura; IEDserv IED servicios; IM importaciones; LF fuerza laboral; LIC países de bajos ingresos; LR largo plazo; MC capitalización; ME gestión eficiente; MIC países de ingresos medios; MT comercio de mercancías; NEC consumo de energía nuclear; NGR rentas de gas natural; NREC consumo de energía no renovable; NREEC consumo de energía eléctrica no renovable; OP precio del petróleo; OR rentas petroleras; PD deuda pública; PIB producto interior bruto; REC consumo de energía renovable; REC% participación del REC; REEC consumo de energía eléctrica renovable; RA retorno de los activos; RT transporte ferroviario; SR corto plazo.

Otro grupo de trabajos examina el consumo de energía renovable per cápita para evaluar sus determinantes. Aquí encontramos estudios para Túnez (Ben Jebli & Ben Youssef, 2017), para los países del G7 (Sadorsky, 2009a), para los países emergentes (Hashemizadeh et al., 2021; Sadorsky, 2009b; Salim & Rafiq, 2012), para siete países centroamericanos (Apergis & Payne, 2014), para 24 países del África subsahariana (Ben Jebli et al., 2015) y, a nivel global, para 64 países (Omri et al., 2015)

Entre los trabajos que consideran el consumo de electricidad renovable como variable dependiente, cabe citar los realizados para tres países de grupo BRICS (Sebri & Ben-Salha, 2014), para 13 países de Eurasia (Apergis & Payne, 2010b), y, a nivel global, para 72 países (Amri, 2017, 2019), 80 países (Apergis & Payne, 2011, 2012) y 109 países (Al-Mulali et al., 2013).

Centrándonos en aquellos trabajos que emplean el REC%, cabe destacar la heterogeneidad de los resultados obtenidos. Attiaoui et al. (2017) examinan 22 países africanos. Los resultados mostraron que las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen una relación negativa con el REC%, es decir, a medida que aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub>, hay menos consumo de energía proveniente de fuentes de EERR. El consumo de energía no renovable mostraba una relación positiva con el consumo de energía de fuentes renovables, lo que indica que en estos países hay una relación complementaria entre los dos tipos de fuentes, probablemente debido a que son países en desarrollo con una creciente demanda de energía. Se encontró también que el producto interior bruto (PIB) no afectaba el consumo de energía renovable.

El trabajo de Ito (2017) para 42 países en desarrollo, ubicados en diferentes partes del mundo, concluye las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía de combustibles fósiles y el producto interior bruto, tienen un impacto negativo en estos países. En particular, la energía proveniente de combustibles fósiles tiene una relación de sustitución con la energía de fuentes renovables. Además, el PIB tiene un efecto negativo sobre el consumo de energía renovable, denotando la necesidad por más inversiones en este tipo de fuentes.

El estudio de Mele (2019) para México sugiere que la formación bruta de capital fijo tiene un efecto positivo en el consumo de energía renovable, lo que parece apuntar que las empresas en este país realizan inversión en bienes de capital relacionados con las energías renovables, y que los empresarios son conscientes del retorno positivo de esas inversiones. Por el contrario, el PIB y la fuerza de trabajo no tienen efecto sobre el consumo de energía renovable.

Otro estudio que también considera países del África (21 países) es el de Ergun et al., (2019). En este estudio los resultados indican que el PIB per cápita, la apertura comercial y el desarrollo humano tienen un impacto negativo sobre el consumo de energía renovable, por el contrario, la inversión extranjera directa tiene un efecto positivo y los parámetros considerados para medir la democracia no tienen efecto. Los autores explican la relación negativa entre el PIB y el consumo de energía renovable por tratarse de países en desarrollo, en particular por la utilización de opciones más económicas de generación de energía, como la energía fósil. En lo que se refiere al impacto negativo del índice de desarrollo humano (IDH), los autores explican que la mayor parte de la energía renovable consumida en estos países se genera mediante métodos tradicionales y que con el aumento del IDH los métodos tradicionales son sustituidos por métodos modernos que utilizan combustibles fósiles y que son más baratos en comparación con las tecnologías avanzadas de energía renovable. También señalan que la inversión directa extranjera puede mejorar las tecnologías de energía renovable en África.

Toumi & Toumi (2019) analizan el comportamiento de las variables REC%, PIB per cápita y emisiones de CO<sub>2</sub>, a corto y largo plazo y con cambios positivos y negativos de la función acumulada. Los resultados obtenidos a corto plazo muestran que el PIB per cápita con cambios positivos tiene un efecto positivo en el REC%, mientras que el PIB per cápita con cambios negativos tiene un efecto negativo en el REC%. Aún en el corto plazo, las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita con cambios positivos tiene un efecto negativo en el REC% y las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita con cambios negativos también tiene efecto negativo. Curiosamente, a largo plazo los resultados son opuestos a los obtenidos a corto plazo.

A nivel global, el trabajo de Khan et al. (2020) considera 192 países entre 1980 y 2018 y emplea un modelo de regresión de panel por cuantiles. El estudio analiza la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el desarrollo financiero y el REC%, concluyendo que las emisiones de CO<sub>2</sub> tienen un efecto negativo mientras que el desarrollo financiero tiene un impacto positivo en el REC%. Además, también se consideran otras variables, como la urbanización (con efecto positivo), la IED (con efecto negativo), la fuerza laboral (con efecto positivo) y el comercio de mercancías (con efecto positivo). Además, el estudio de Amuakwa-Mensah & Näsström (2022), considera 124 países y analiza el periodo 1998-2012. El objetivo centrarse en examinar el efecto del desempeño bancario en el REC%, y

concluye que hay efectos heterogéneos de la relación entre desempeño bancario y REC% entre países por nivel de ingresos.

En el ámbito de la UE, encontramos pocas análisis, el realizado por Anton & Afloarei Nucu (2020), y que examina los 28 países de la UE en el periodo 1990-2015 y aplica el modelo de panel de efectos fijos. El objetivo principal del trabajo era analizar el comportamiento del desarrollo financiero en REC%, concluyendo que el desarrollo financiero tiene un impacto positivo en REC%. Además, el estudio encontró que el PIBpc tiene un efecto negativo en el REC% así como en la IED, mientras que el desarrollo financiero y el índice de precios al consumidor tiene un efecto positivo en el REC%. También se encontró que el crecimiento de PIBpc no tiene ningún efecto sobre REC%. Además del estudio de Marra & Colantonio (2021) que examina un grupo de 12 mayores importadores de energía países de la UE en el período 1990-2015. El objetivo fue investigar los impulsores del REC%, centrándose más en el papel de los aspectos socio-técnicos. Concluyen que la combinación de conciencia pública y educación ambiental puede ayudar al despliegue de EERR.

### 6.3. DATOS Y METODOLOGÍA

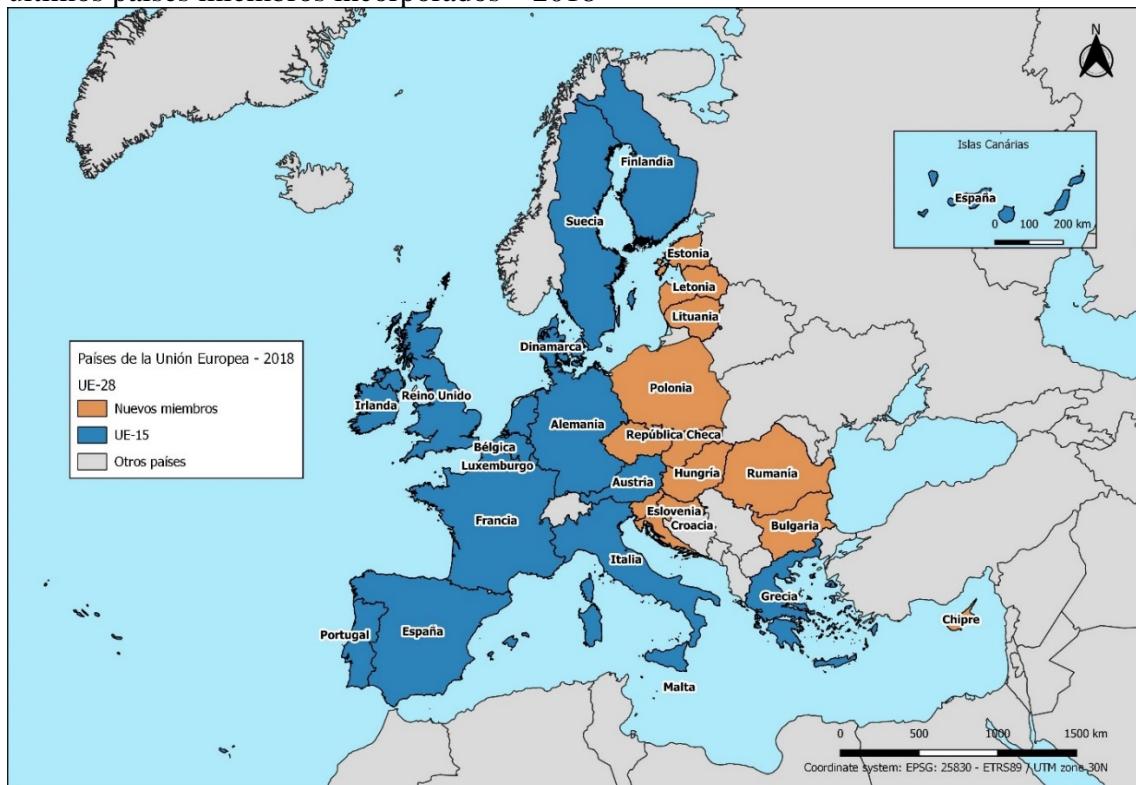
#### 6.3.1 Datos

Este trabajo se examinan los 28 países que formaban la UE hasta el último año de estudiado (2018), diferenciando entre el grupo UE-15 y de los UE-NEW que se agregaron por último al bloque. La UE se establece mediante del Tratado de la Unión Europea firmado en febrero del año de 1992 (Unión Europea, 1992), englobando a 12 países. Más tarde, en el año 1995, se agregaron otros tres países al bloque formando el grupo UE-15, desde entonces hasta al año de 2018, se han incorporado otros 13 países, constituyéndose así la UE-28. Actualmente el bloque es formado por 27 países, con la salida de Reino Unido en febrero de 2020 (Unión Europea, 2021). El período de estudio considerado en este trabajo es el comprendido entre 1995 y 2018. La distribución geográfica de los países, con sus respectivos nombres, se presenta en la Figura 6.1.

Como se ha señalado con anterioridad, la variable dependiente es el porcentaje de participación del Consumo de Energía Renovable en el consumo total de energía (REC%), y las variables explicativas son el Producto Interno Bruto per cápita (PIBpc); la Inversión Extranjera Directa (IED) neta; la Apertura Comercial (AC), un Índice de Educación (EI); un Índice de Esperanza de Vida (LEI) y un Índice de Gobernanza (IG). Los datos se obtuvieron de Agencia Internacional de Energía y del Banco Mundial.

La variable dependiente del estudio, REC%, que se define como el porcentaje de participación del Consumo de Energía Renovable en el consumo total de energía, se obtuvo de la base de datos de la Agencia Internacional de energía (IEA, 2020a).

Figura 6.1 – Países de la Unión Europea identificados entre el grupo UE-15 y los 13 últimos países miembros incorporados – 2018



Fuente: Elaboración propia en base a la Unión Europea (2021).

Desde una perspectiva económica se emplearon tres variables: PIB per cápita, IED y AC. En primer lugar, el PIB per cápita a precios constantes de 2010 (World Bank, 2019a). Esta variable recoge el crecimiento económico y su distribución en un determinado territorio. La segunda variable económica es la IED, también publicada por el Banco Mundial, y definida como los insumos de inversión netas para adquirir una



participación en la gestión duradera (10% o más del capital con derecho a voto) en una empresa que opera en una economía diferente a la del inversionista. Es la suma del capital, la reinversión de beneficios, otro capital a largo plazo y el capital a corto plazo, como se muestra en la balanza de pagos (World Bank, 2019a). La IED es una variable ampliamente utilizada en estudios de impacto sobre el medio ambiente, aunque con resultados diferentes. Los trabajos de Jensen (1996) y Xing & Kolstad (1996) encuentran efecto negativo, pero los de Birdsall & Wheeler (1993); Zarsky (1999); Eskeland & Harrison (2003), obtienen efectos positivos. La tercera variable económica es la Apertura Comercial (AC). Hay diferentes formas de medir la AC (Yanikkaya, 2003), pero la considerada en este trabajo es la que publica el Banco Mundial, que la define como el porcentaje del comercio (suma de importaciones y exportaciones de bienes y servicios) en el PIB (World Bank, 2019a).

Además de las variables económicas, en este trabajo se incorporan tres variables político-sociales: el Índice de Educación (IE) y el Índice de Esperanza de Vida (IEV), que son dos dimensiones utilizadas para la construcción del Índice de Desarrollo Humano (IDH) propuesto por la ONU. La tercera variable es el Índice de Gobernanza (IG), un índice multidimensional obtenido a partir de seis indicadores de gobernanza.

El IDH, elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), está compuesto por tres dimensiones, acceso al conocimiento; una vida larga y saludable y; un nivel de vida digno. Esta última dimensión se mide a través del ingreso nacional bruto per cápita. Teniendo en cuenta que, para el presente estudio, se utiliza como variable independiente el PIB per cápita, con objeto de evitar problemas econométricos, se optó por utilizar solamente aquellas dimensiones referidas al acceso al conocimiento y a una vida larga y saludable del IDH. Así, se utilizan el IE y el IEV como variables independientes.

Estas dos dimensiones del IDH han sido empleadas en trabajos previos aunque de otra temática, como el estudio de Costantini & Monni (2008), que analiza la relación entre medio ambiente, desarrollo humano y crecimiento económico, el de Gürlük (2009) que trata de explicar las diferencias en la degradación ambiental, o los de Dhahri & Omri (2018) y Delahoz-Rosales, Camacho-Ballesta & Tamayo-Torres (2019) que examinar la relación con el emprendimiento.

El IG propuesto en este trabajo se construye a partir de los seis indicadores de gobernanza propuestos por Kaufmann, Kraay, & Mastruzzi (2010) y publicado por el Banco Mundial (World Bank, 2019b):

- **Voz y responsabilidad:** grado en que los ciudadanos de un país pueden participar en la elección de su gobierno, así como la libertad de expresión, la libertad de asociación, y un medio libre;
- **Estabilidad Política:** probabilidad de que el gobierno sea desestabilizado por medios inconstitucionales o violentos, incluido el terrorismo;
- **Efectividad del Gobierno:** calidad de los servicios públicos, la capacidad de la administración pública y su independencia de las presiones políticas; y la calidad de la formulación de políticas;
- **Calidad Regulatoria:** capacidad del gobierno para proporcionar políticas y regulaciones sólidas que permitan y promuevan el desarrollo del sector privado;
- **Estado de Derecho:** medida en que los agentes confían y respetan las normas de la sociedad, incluida la calidad del cumplimiento de los contratos y los derechos de propiedad, la policía y los tribunales, así como la probabilidad de delincuencia y violencia y
- **Control de la Corrupción:** medida en que se ejerce el poder público para obtener ganancias privadas, incluidas las formas de corrupción, tanto pequeñas como grandes, así como la "captura" del estado por parte de las élites y los intereses privados.

Para el cálculo del índice se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP). El Índice de Gobernanza ya ha sido utilizado en estudios previos, aunque con nomenclaturas distintas, pero con la misma metodología de construcción. Como ejemplos cabe citar los estudios de Ariu, Docquier & Squicciarini (2016), que evalúa la relación entre la calidad de la gobernanza y los flujos migratorios, el estudio de Emara & Chiu (2016), que evalúa el impacto de la gobernanza en el crecimiento económico, el estudio de Asongu & Nwachukwu (2017), que trata de analizar el impacto del terrorismo sobre la gobernanza o el estudio de Asongu, Le Roux, Nwachukwu & Pyke (2018), que presenta evidencias empíricas sobre el papel de la telefonía móvil en la promoción de la buena gobernanza.

### 6.3.2 Metodología

En este estudio se emplearon dos métodos estadísticos. El primero de ellos fue un Análisis de Componente Principales (ACP) para obtención del Índice de Gobernanza (IG). El segundo es un modelo econométrico de Datos de Panel que se estima a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (OLS). Mínimos Generalizados Factibles (FGLS) y con Errores Estándar Corregidos (PCSE).

Se optó por utilizar el ACP para construcción de un IG por entender que las seis dimensiones que lo integran están estrechamente relacionadas (Ariu et al., 2016; Emara & Chiu, 2016), y que su efecto se captaría de forma más precisa al considerar los seis aspectos de forma conjunta. El ACP permite reducir un conjunto de variables correlacionadas en un grupo de más pequeño de variables no correlacionadas, que son denominadas componentes (Hair et al., 1999). Los componentes, son independientes entre sí y son una combinación lineal de las variables originales. A través del ACP se resuelve también el problema de ponderación implícita de otras técnicas que atribuyen el mismo peso para los indicadores.

Partiendo de las variables dependiente e independientes descritas, el modelo propuesto para examinar los factores determinantes del consumo de energía renovable es el siguiente:

$$REC\%_{it} = \beta_0 + \beta_1 PIBpc_{it} + \beta_2 IED_{it} + \beta_3 TO_{it} + \beta_4 IE_{it} + \beta_5 IEV_{it} + \beta_6 IG_{it} + e_{it}, \quad (1)$$

donde,  $i$  significa la  $i$ -ésima unidad transversal (país);  $t$  el tiempo (año);  $\beta_0$  es el valor constante,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$ , y  $\beta_6$  son las elasticidades a largo plazo de la variable dependiente;  $e$  denota los términos de error;  $REC\%$  mide la variable relacionada con el consumo de energía renovable;  $PIBpc$  mide el producto interior bruto per cápita;  $IED$  mide la inversión extranjera directa;  $AC$  mide la apertura comercial;  $IE$  mide el nivel de educación;  $IEV$  mide el nivel de esperanza de vida y;  $IG$  mide el nivel de gobernanza de los diferentes países en estudio.

Según Gujarati & Porter (2010), cuando existe información de las mismas unidades de corte transversal en el tiempo es posible diseñar modelos donde se utilice la

combinación de ambos tipos de datos y que se pueden estimar a través de técnicas de datos de panel. Wooldridge (2010), sostiene que una de las principales ventajas de utilizar datos de panel es que permite clasificar los factores no observables que influyen en la variable dependiente en dos tipos: aquellos que son constantes y aquellos que varían con el tiempo. Este mismo argumento ha sido planteado por Plümper, Troeger & Manowb (2005) y Arellano & Bover (1990).

Las estimaciones con panel de datos se pueden realizar principalmente a través de dos vías: modelando efectos fijos, que considera que las diferencias entre las unidades pueden captarse mediante diferencias en el término constante, o usando el modelo de efectos aleatorios, que supone que cada unidad transversal tiene una constante diferente (Wooldridge, 2002). Al estimar las correspondientes regresiones en Stata 15, con los métodos de efectos fijos y efectos aleatorios y aplicar las pruebas F y Breusch-Pagan, se confirmó que para las muestras seleccionadas la técnica de datos de panel era adecuada. La prueba de Hausman (1978), concluyó que se debían estimar efectos fijos. Una vez seleccionado el modelo de efectos fijos, se realizaron las pruebas para validar los supuestos de Gauss – Markov, relacionados con la independencia entre los errores y una distribución con varianza constante. Para ello se realizaron la prueba de Wooldridge (2002) y la prueba modificada de Wald (Greene, 2012).

Las estimaciones a través de datos de panel, frecuentemente presentan problemas de autocorrelación serial, heterocedasticidad e, incluso, correlación contemporánea (Canarella & Gasparyan, 2008). De acuerdo con Jonsson (2005), estos problemas surgen cuando las perturbaciones son dependientes de la sección transversal en el modelo de panel de datos, lo que podría solucionarse con la aplicación del modelo de Mínimos Generalizados Factibles (FGLS). Sin embargo, Beck & Katz (1995) demostraron que los FGLS generan coeficientes de errores estándar que se subestiman gravemente. Por otra parte, los experimentos de Monte Carlo avalan que el modelo de PCSE permite corregir la presencia de autocorrelación serial, heterocedasticidad e incluso correlación contemporánea, con estimaciones de error estándar precisas y con poca o ninguna pérdida de eficiencia en comparación con el modelo de FGLS. De igual forma, sugieren que el estimador PCSE tiene la ventaja de poderse usar cuando  $T < N$ , como es el caso de las muestras seleccionadas en este estudio. Partiendo de la ecuación (1), los modelos FGLS y PCSE se pueden presentar como sigue:

$$REC\%_{it} = v_i + \beta_1 PIBper_{it} + \beta_2 IED_{it} + \beta_3 AC_{it} + \beta_4 IE_{it} + \beta_5 IEV_{it} + \beta_6 IG_{it} + e_{it}, \quad (2)$$

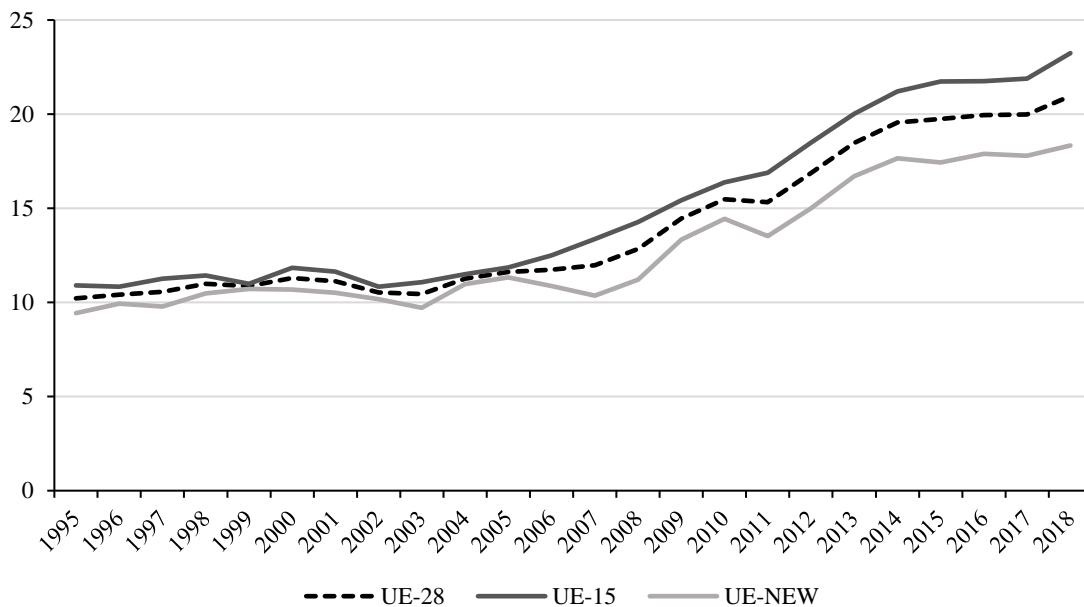
donde,  $v_i$  es un vector de variables dicotómicas para cada país.

#### 6.4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos. La UE, a pesar de no estar entre las tres regiones con mayor porcentaje de consumo de energía renovable del mundo, tiene alto nivel en tecnologías avanzadas para la producción de energía renovable y realiza grandes inversiones en el sector (Lilliestam et al., 2019; Nicolini & Tavoni, 2017). El modelo presentado se estimó para tres grupos distintos, la UE-28, la UE-15 y el grupo UE-NEW incorporados al bloque económico hasta el año de 2018, el último año estudiado.

Aunque en términos de política energética en muchas ocasiones la UE se trata como bloque único, lo cierto es que existen diferencias sustanciales entre sus miembros. La Figura 6.2 muestra el consumo de energía renovable en el bloque de la UE-28, la UE-15 y los UE-NEW.

Figura 6.2 – Evolución de la participación del consumo de energía renovable en la Unión Europea – 1995-2018

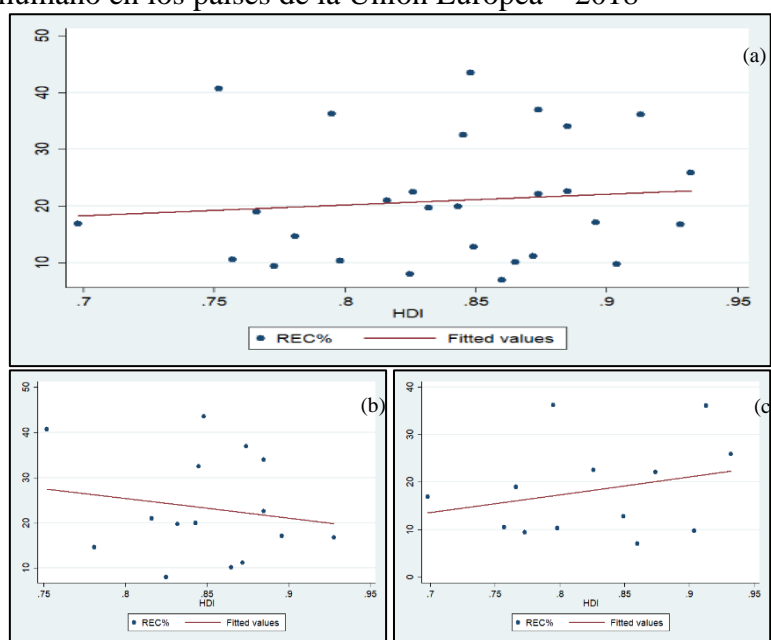


Fuente: Elaboración propia en la a los datos de la IEA (2020).

Como se puede observar, hay una clara diferencia entre la participación del consumo de energía renovable de los países de la UE-15 y la del grupo de UE-NEW, que se incorporaron más tarde. El REC% en los países de la UE-15 se sitúa siempre por encima de la media de la UE-28 durante los años estudiados, mientras que los países UE-NEW se mantienen siempre por debajo. Aunque en los dos grupos el REC% ha crecido, el grupo de UE-15 ha sido el principal impulsor de ese crecimiento.

Siguiendo el comparativo entre los dos grupos de estudio considerados en la UE, al considerar la relación que hay entre la participación del consumo de energía renovable y el IDH (Figura 6.3), se observan comportamientos distintos entre los grupos. Así, aunque en la UE-28 la relación entre el IDH y el REC% es levemente positiva, en el grupo UE-15 la relación es negativa y en el grupo UE-NEW la relación es positiva.

Figura 6.3 – Relación entre la participación del consumo de energía renovable y el índice de desarrollo humano en los países de la Unión Europea – 2018



Notas: Grupo UE-28 (a); grupo UE-15; grupo UE-NEW.  
Fuente: IEA (2020) y UNDP (2020).

El análisis descriptivo de las variables utilizadas en los modelos puede ayudar comprender mejor tanto las variables como su comportamiento. La Tabla 6.2 muestra los estadísticos descriptivos para los tres grupos considerados. El período temporal es 1995-2018, salvo para la variable IG, donde existe información disponible a partir de 1996.

Como era de esperar, el grupo UE-15 supera al grupo UE-NEW en la mayor parte de los factores estudiados. Dentro de los factores económicos hay que destacar la diferencia en PIB per cápita entre los países de la UE-15 y los de la UE-NEW, presentando dichos grupos una renta media de US\$ 44.287,20 y US\$ 14.517,11, respectivamente. Entre las variables económicas el valor es superior en el grupo de UE-NEW en la apertura comercial. De igual forma, al considerar los factores sociales, el grupo UE-15 supera al grupo UE-NEW, estando por encima en nivel de educación, esperanza de vida y nivel de gobernanza.

Tabla 6.2 – Estadísticas descriptivas

	Variable	Obs.	Mean	Des. Est..	Min	Max
UE-28	REC%	672	14,02849	11,32796	0	47,46367
	PIBpc	672	30.465,37	20.440,96	3.784,078	111.968,3
	IED	665	2,25e+10	5,68e+10	-3,45e+11	7,34e+11
	AC	672	110,8503	62,32782	37,10788	408,362
	IE	672	79,4378	7,833873	55,8	94,3
	IEV	672	77,48046	3,477087	66,39122	83,43171
	IG	560	67,09823	21,79568	5,20e-06	100
UE-15	REC%	360	15,05479	12,23425	0,8153072	47,46367
	PIBpc	360	44.287,2	18.141,9	18.059,22	111.968,3
	IED	353	3,80e+10	7,38e+10	-3.45e+11	7,34e+11
	AC	360	100,1805	68,20044	37,10788	408,362
	IE	360	81,13417	7,722537	62,7	94,3
	IEV	360	79,63821	1,884351	75,21268	83,43171
	IG	300	80,06554	16,53332	26,28222	100
UE-NEW	REC%	312	12,8443	10,0727	0	42,61968
	PIBpc	312	14.517,11	6.727,795	3.784,078	32.725,63
	IED	312	4,86e+09	1,15e+10	-6,47e+10	7,51e+10
	AC	312	123,1617	52,23558	43,72196	322,6765
	IE	312	77,48045	7,509435	55,8	89,9
	IEV	312	74,99074	3,221532	66,39122	82,45366
	IG	260	52,13594	17,03623	5,20e-06	79,52482

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6.3 presenta la matriz de correlaciones entre las variables examinadas, considerando los grupos estudiados. La mayoría de las correlaciones son estadísticamente significativas, con niveles de confianza superiores al 99%. Centrándonos en la variable dependiente de los modelos, el porcentaje de consumo de energía renovable, en el grupo UE-28 las correlaciones de PIBpc e IG no son significativas, mientras que las variables económicas IED y AC muestran correlaciones negativas, y las sociales IE e IEV correlaciones positivas. En el grupo de UE-15, el comportamiento es bastante parecido, la correlación del PIBpc tampoco es significativa, el resto de las variables económicas

muestran correlación negativa y todas las sociales presentan correlación positiva. Finalmente, en el grupo UE-NEW todas las variables son significativas, aunque tan sólo el nivel de educación muestra una correlación positiva con el REC%.

Tabla 6.3 – Matriz de correlación

	Variable	REC%	lnPIBpc	lnIED	AC	IE	IEV	IG
UE-28	REC%	1						
	PIBpc	0.0253	1					
	IED	-0.1835***	0.5726***	1				
	AC	-0.2896***	0.2178***	-0.0315	1			
	IE	0.1823***	0.4433***	0.4291***	0.0945**	1		
	IEV	0.1074***	0.8105***	0.5335***	0.1196***	0.4334***	1	
	IG	-0.0064	0.837***	0.4496***	0.2256***	0.4541***	0.5523***	1
	UE-15	REC%	1					
PIBpc	-0.0642	1						
IED	-0.2876***	0.2997***	1					
AC	-0.2483***	0.7466***	0.1563***	1				
IE	0.1609***	0.4252***	0.4577***	0.1066**	1			
IEV	0.3203***	0.1859***	0.2692***	0.1029*	0.4359***	1		
IG	0.117**	0.6633***	0.223***	0.3825***	0.4122***	-0.2859***	1	
UE-NEW	REC%	1						
	PIBpc	-0.1214**	1					
	IED	-0.2812***	0.2293***	1				
	AC	-0.332***	0.5441***	0.0659	1			
	IE	0.1721***	0.4697***	0.256***	0.2037***	1		
	IEV	-0.1515***	0.8404***	0.2837***	0.5826***	0.373***	1	
	IG	-0.3955***	0.7513***	0.0745	0.5849***	0.4207***	0.5258***	1

Notas: \*\*\*P<0,01, \*\*P<0,05, \*P<0,1.

Fuente: Elaboración propia.

Estas correlaciones nos proporcionan una visión inicial del comportamiento de las variables, pero no suficiente para obtener conclusiones. Como se indicó en el apartado anterior, para evaluar el efecto de los factores económicos y sociales se estima un modelo de datos de panel empleando OLS, FGLS y PCSE. Este último modelo corrige la heterocedasticidad, la correlación contemporánea, la autocorrelación, y que proporciona estimaciones de error estándar precisas y con poca o ninguna pérdida de eficiencia en comparación con el modelo FGLS (Beck & Katz, 1995). Los resultados se recogen en la Tabla 6.4.



Tabla 6.4 – Análisis de regresión para la variable dependiente REC%

Variable	UE-28			UE-15			UE-NEW		
	OLS	FGLS	PCSE	OLS	FGLS	PCSE	OLS	FGLS	PCSE
<i>lnPIBpc</i>	2,043 (1,753)	-2,442** (1,065)	0,997 (1,660)	-13,288*** (2,914)	-4,862* (2,680)	-9,827*** (3,332)	12,877*** (2,350)	-1,243 (1,923)	8,361*** (2,587)
<i>lnIED</i>	-2,847*** (0,283)	-0,063 (0,094)	-0,487** (0,198)	-3,946*** (0,332)	-0,860*** (0,211)	-1,827*** (0,313)	-2,758*** (0,323)	-0,294* (0,152)	-0,596** (0,235)
<i>AC</i>	-0,066*** (0,007)	-0,015*** (0,005)	-0,053*** (0,006)	-0,050*** (0,012)	-0,051*** (0,010)	-0,061*** (0,012)	-0,019 (0,012)	-0,019** (0,008)	-0,029*** (0,011)
<i>IE</i>	0,376*** (0,067)	0,309*** (0,050)	0,329*** (0,077)	-0,161* (0,092)	-0,019 (0,081)	-0,275*** (0,104)	0,608*** (0,074)	0,473*** (0,065)	0,406*** (0,089)
<i>IEV</i>	0,625*** (0,236)	0,841*** (0,155)	0,577*** (0,248)	5,340*** (0,386)	3,536*** (0,347)	4,912*** (0,438)	-0,691** (0,293)	0,331 (0,215)	-0,528 (0,342)
<i>IG</i>	-0,033 (0,039)	-0,080*** (0,026)	-0,097** (0,041)	0,617*** (0,051)	0,288*** (0,048)	0,573*** (0,062)	-0,489*** (0,047)	-0,157*** (0,033)	-0,330*** (0,046)
<i>CONS</i>	-10,988 (11,409)	-45,850*** (7,969)	-43,159*** (11,804)	-208,11*** (31,695)	-213,49*** (29,694)	-246,22*** (35,960)	-17,718 (14,099)	-22,434* (11,774)	-24,946 (17,044)
Nº obs.	518	518	518	271	271	271	247	247	247
Grupos		28	28		15	15		13	13
Wald Chi2		2,129.53	2,780.66		142.86	239.14		142.86	61,50
Prob.Chi2		0	0		0	0		0	0
R2	0.574		0.677	0.304		0.3570	0.304		0.2222

Notas: \*\*\*P<0,01, \*\*P<0,05, \*P<0,1; Errores Estándar ( ).

Fuente: Elaboración propia.

Centrándonos en los resultados obtenidos en el modelo PCSE, para el grupo UE-28 encontramos que el PIB per cápita no presenta relación con el consumo de energía renovable, mientras que las otras dos variables económicas presentan un efecto negativo, es decir, a medida que aumenta la inversión extranjera directa y la apertura comercial, el REC% de UE-28 disminuye. Con respecto a las variables sociales, el nivel de educación y la esperanza de vida estimulan el REC%, mientras que el nivel de gobernanza tiene un efecto negativo.

El estudio de Ergun et al. (2019) para países del África obtiene el mismo efecto negativo de la apertura comercial sobre el consumo de energía renovable. En general, los estudios como los de Apergis & Payne (2010b) para 20 países de la OECD, Lin & Moubarak (2014) para China, Ben Jebli (2016) para Túnez, Saidi & Ben Mbarek (2016) para 9 países desarrollados y Rasoulinezhad & Saboori (2018) para países de la región CIS obtienen efectos heterogéneos. Este hecho evidencia que las variables presentan comportamientos distintos por región y, que para establecer determinantes sobre el consumo de energía renovable es preciso tener en cuenta la especificidad de cada lugar.

Entrando en los resultados para los grupos de UE-15 y de UE-NEW, debemos tener en cuenta que éstos últimos países han estado alineados durante muchos años con el modelo político económico soviético, modelo que ha tenido una fuerte influencia en la configuración de sus sistemas energéticos (Bouzarovski, 2009; Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017; Camacho et al., 2021; Frolova et al., 2015b, 2019). Partiendo de esta reflexión, observamos que en el grupo UE-15 las variables económicas (nivel de renta, inversión extranjera directa y apertura comercial), presentan un efecto negativo y estadísticamente significativo sobre el consumo de energía renovable. Por otro lado, las variables sociales, con excepción del nivel de educación, presentan un efecto positivo y estadísticamente significativo sobre el consumo de energía renovable. Por el contrario, para el grupo de los países UE-NEW el nivel de PIB per cápita muestra una relación positiva y bastante significativa, estimándose que para un incremento de un 1% en el PIBpc, el REC% crece más de un 8%.

Como señala el estudio de Marra & Colantonio (2021) los autores que utilizan la renta, en la mayoría utilizando como proxy el PIBpc, igual que nuestro estudio, como influyente sobre el consumo de energía e incluso de REC, esperan que el aumento de la renta puede llevar al aumento de dicho consumo (Omri & Nguyen, 2014; Salim & Rafiq, 2012). Sin embargo, la influencia negativa es encontrada en muchos casos, como

observamos para el grupo UE-15. Por ello, Cadoret & Padovano (2016) apunta que una posible explicación es que una elevada actividad económica genera elevación de la demanda de energía y las fuentes de EERR pueden no ser capaces de atenderla de inmediato, luego su peso relativo disminuye.

Con respecto al impacto de los factores sociales en el grupo UE-NEW, el nivel de educación afecta positivamente el REC%, mientras que la gobernanza tiene un impacto negativo. La esperanza de vida no es significativa. En estos países el impacto de la esperanza de vida no es significativo. Estos resultados implican que para que la Unión Europea logre mejor participación de las energías renovables en el consumo de energía considerando que las variables sociales difieren su comportamiento entre los grupos, es necesario implementar la mejora de aspectos como la educación medioambiental en aquellos países en una fase más atrasada en el proceso de transición energética.

## 6.5 CONCLUSIONES

Este trabajo examina el impacto de factores económicos y sociales sobre la participación del consumo de energía renovable en los 28 países de la Unión Europea, diferenciando entre el grupo de la UE-15 y los denominados como nuevos países miembros.

Considerando las variables económicas, especialmente el PIB per cápita, quedo claro que éste juega un papel fundamental en la participación del consumo de energía renovable, en particular en aquellos países con un menor nivel de desarrollo económico. Así, aunque en el modelo estimado para el conjunto de países de la UE28 el PIB per cápita no es significativo, al considerar los subgrupos se observa un impacto significativo, aunque con efectos contrarios. Así, en el grupo UE-15 el PIB per cápita afecta negativamente al consumo de energía renovable mientras que en el grupo UE-NEW la renta afecta positivamente.

Teniendo en cuenta nuestros hallazgos empíricos y los resultados del comportamiento de la renta y el conjunto de las otras variables económicas, se recomienda que los formuladores de políticas mejoren sus esfuerzos para adaptación de políticas de apertura comercial que incentiven la adopción de infraestructura para la generación de fuentes de energías renovables. Establecer programas de exenciones

arancelarias que promuevan la inversión extranjera directa en tecnologías para la producción de energías renovables, una vez que tanto la apertura comercial, cuanto la inversión extranjera directa son factores que afectaron negativamente el consumo de energía renovable en todos los grupos.

En el ámbito de los factores sociales, cabe señalar que hay que seguir educando a su población en el uso de energía limpia y renovable y promover eficiencia energética, habiendo constatado que para la Unión Europea el nivel de educación de la población es un factor que afecta positivamente sobre el consumo de energía renovable, sobre todo en el grupo UE-NEW, que encuentra mayor dificultad para la transición energética. En esta línea, los gobiernos nacionales son llamados a estimular el nivel de educación trabajando en escuelas, instituciones de entrenamiento y universidades de modo a combinar educación y concienciación pública sobre cuestiones ambientales, podría fornecer una respuesta rápida y efectiva a la implantación de energía renovable.

Esas constataciones permiten concluir que la Unión Europea necesita construir un marco regulatorio e institucional de mayor estímulo hacia las energías renovables, que promueve el desarrollo humano sostenible y mejoría de gobernanza, al final los factores que afectan positivamente el consumo de energía renovable en la Unión Europea, y, además, que sea capaz de recoger las disparidades entre países los bloques de países, al tiempo que reduce las diferencias entre los mismos.



## CAPÍTULO 7. CONSIDERACIONES FINALES

Esta tesis va en línea con el intento global de ofrecer posibles soluciones para frenar los efectos del cambio climático, por medio de la visión económica, social y ambiental, una vez que define como problema de investigación la siguiente cuestión: ¿Qué aspectos determinan el uso energético en diferentes grupos de países?

Con vistas a responder la cuestión mencionada, esta tesis tiene como objetivo principal analizar el uso energético total y los factores económicos y sociales que lo explican. Pero, antes de llegar a la definición de la metodología y aplicación de esta, algunos pasos preliminares han sido importantes para consolidar la investigación y dar luz a su desarrollo.

Uno de estos pasos ha consistido en trazar un marco conceptual y evolutivo respecto al desarrollo sostenible y la energía. En lo referente al desarrollo sostenible, con el rescate de conceptos anteriores que influyeron en su definición, hemos podido concluir que, aunque haya una definición bien difundida, orienta por el Informe de Bruntland (WCED, 1987), no hay una aceptación universal en cuanto a su propósito, visto que hay un grupo de investigadores que lo ven como un concepto controvertido y de clara necesidad de avance para que sea legitimado (J. D. Sachs, 2015; Veiga, 2015). Respecto a la energía, se han presentado una serie de conceptos relacionados y la evolución histórica de su participación en la sociedad. Además, asociado a lo anterior, se ha desarrollado una revisión del marco normativo que regula el uso energético de distintas maneras, considerando las estructuras de los sistemas energéticos de cada territorio.

Todo este recorrido conceptual y normativo ha permitido comprender mejor las necesidades reales de la humanidad, respecto a la transición energética y el desarrollo sostenible, aclarando el modo de análisis a ser considerado para la tesis. Por lo anterior, para atender al objetivo propuesto, el camino metodológico central establecido se ha basado en el modelo input-output de Leontief (1936), para estimar el uso energético, considerando las relaciones globales mediante las tablas MRIO.

Lo que ha quedado claro es que considerar el entorno global es un paso preliminar importante para estimar el uso total de energía en cualquier territorio específico, lo cual permite el modelo MRIO. Este paso atiende al primer objetivo específico propuesto, que ha consistido en estimar el uso total de energía en los sistemas productivos. Lo que, por

consiguiente, ha permitido identificar el uso directo e indirecto de energía en estos sistemas productivos, el origen y el destino de la energía, si es nacional o extranjero y, a nivel más específico, la identificación de las industrias más intensivas en energía.

Como complementación a la metodología input-output, para llevar a cabo la evaluación del estímulo a la transición energética y atender al segundo objetivo específico de evaluar los factores determinantes del consumo de energía renovable considerando aspectos económicos y sociales, se ha adoptado la aplicación de un modelo de panel de datos para los países de la Unión Europea.

La aplicación de los modelos en esta tesis se ha realizado en tres estudios distintos. El primero titulado “*Domestic versus foreign energy use: an analysis for four European countries*” analiza la evolución del uso total de energía en la República Checa, Hungría, Italia y España durante el período 1995–2015, mediante el modelo MRIO, que distingue entre la energía total utilizada en el país y la energía total utilizada por los otros países del mundo. A diferencia de investigaciones anteriores, este estudio también identifica si la energía utilizada fue producida en el país o en el extranjero.

El siguiente estudio “*Domestic versus foreign origin of total energy use: An analysis for Brazil*” examina la evolución del uso total de energía por las industrias brasileñas durante el período 1995-2015, considerando el entorno global con el modelo MRIO. Su diferencia en relación a estudios anteriores es la distinción entre el origen interno y externo del total de energía consumida en Brasil, permitiendo identificar las industrias más intensivas del sistema productivo.

El tercer y último estudio titulado “*Determinantes del consumo de energía renovables en la Unión Europea: Un análisis entre UE-15 y los 13 nuevos países*”, analiza cómo los factores económicos y sociales afectan a la participación del consumo de energía renovable en la UE, haciendo un comparativo entre el bloque completo y dos subgrupos de países, durante el período 1995-2018. Los resultados obtenidos confirman que, para identificar adecuadamente cuáles son los principales factores impulsores del consumo de energía renovable, las regiones y los países deben examinarse teniendo en cuenta sus particularidades, ya que un mismo factor puede tener diferentes impactos según el país o la región examinada.

## 7.1. CONTRIBUCIONES DE LA TESIS

La aplicación de los diferentes métodos propuestos en los estudios que componen la presente tesis doctoral ha permitido contribuir a la literatura con una serie de consideraciones sobre el uso de la energía y el proceso de transición energética. Las aportaciones del ámbito académico tienen una gran relevancia para orientar políticas que puedan ofrecer mejoras para la sociedad y, en este caso, para el medio ambiente. Por ello, en este apartado, se hace un resumen de las contribuciones más relevantes.

La aplicación del modelo MRIO ha permitido desagregar el uso energético total en base al tipo de uso (directo o indirecto) y al origen y destino del uso energético (energía producida nacionalmente y utilizada en el país, producida nacionalmente y exportada, producida en el extranjero y utilizada en el país, y producida en el extranjero y exportada). Gracias a la descomposición mencionada se ha podido identificar la estructura del uso energético en los sistemas productivos de los territorios estudiados, además de observar si se han producido cambios a lo largo del tiempo estudiado.

La aplicación del modelo mencionado ha sido empleada en dos estudios presentados en esta tesis. El primero de ellos fue presentado en el Capítulo 4 “*Domestic versus foreign energy use: an analysis for four European countries*”, donde se analiza la situación de España, Hungría, Italia y República Checa. A pesar de que los cuatro países redujeron su intensidad energética total durante los años 1995–2015, el ritmo de reducción fue considerablemente más rápido en los países del este que en los del sur. Considerando la descomposición del uso total de energía aplicada en el estudio, estas reducciones fueron causadas principalmente por una alta disminución en la importancia del uso doméstico de la energía producida en el país. No obstante, las intensidades energéticas siguen siendo sustancialmente más altas en los países del este que en los del sur, lo que confirma que los países del este aún tienen un largo camino por recorrer, especialmente en lo que respecta a los incentivos que tienen sus industrias para utilizar la energía de manera eficiente.

Al mismo tiempo, también se ha observado una importancia creciente del papel que juega la energía producida en el exterior. A pesar de que el uso doméstico de energía producida en el exterior creció más rápidamente en los países del este que en los del sur. Si comparamos la participación de la energía total utilizada en el país, pero producida



en el extranjero en 2015, podemos confirmar que Italia y España dependen mucho más de la energía producida en el extranjero que la República Checa y Hungría. Además, en todos los casos, el uso exterior total de energía aumentó, lo que confirma la creciente importancia de las cadenas de valor globales y la constante internacionalización del uso de energía.

En este sentido, el artículo del Capítulo 4 presenta algunas implicaciones políticas relacionadas con el cumplimiento de los objetivos energéticos de la UE para 2030 y, más concretamente, respecto a los objetivos y medidas incluidos en los Planes Nacionales de Energía y Clima (PNEC) para el período 2021-2030 que todos los países de la UE deben elaborar. Entre otros aspectos, los PNEC describen cómo los países de la UE pretenden abordar la eficiencia energética.

En el caso de la República Checa y Hungría, los objetivos de reducción del consumo de energía final incluidos en sus PNEC pueden clasificarse como “modestos” o “bajos” y el principio de eficiencia energética no se incluye explícitamente en ninguno de los dos países (Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic & Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2019; Ministry of Innovation and Technology of Hungary, 2019). Al tener intensidades energéticas más altas, en comparación con los países comunitarios del sur, los gobiernos de estos países deben realizar mayores esfuerzos en investigación e inversión para lograr la convergencia con el resto de la UE en 2030. Por el contrario, en Italia y España los objetivos de eficiencia energética son ambiciosos y los gobiernos planean realizar importantes esfuerzos de financiación para la investigación en energías limpias, duplicando los fondos públicos (Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge of Spain, 2020; Ministry of Economic Development of Italy et al., 2019).

En cuanto a la seguridad energética, la dependencia de las importaciones es una variable clave para tener en cuenta. En nuestro estudio encontramos una proporción creciente de la energía producida en el exterior, así como una mayor dependencia de la energía extranjera en los países del sur. Las medidas incluidas en los diferentes PNEC reflejan solo parcialmente este hecho: la República Checa tiene previsto reducir su nivel de dependencia en un 65% en 2030; Hungría solo especifica parcialmente las medidas que apoyan la reducción de la dependencia energética; Italia prevé reducir su dependencia energética del 77,7% actual al 75,4% en 2030; y España, con un nivel inicial bastante similar al italiano (74%), prevé reducir su dependencia energética al 61% en 2030

(Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge of Spain, 2020; Ministry of Economic Development of Italy et al., 2019; Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic & Ministry of the Environment of the Czech Republic, 2019; Ministry of Innovation and Technology of Hungary, 2019).

En resumen, es esencial un compromiso equilibrado de todos los gobiernos para lograr los objetivos energéticos de la UE para 2030. Por ejemplo, los países de Europa del este, que dependen menos de la energía extranjera, deberían aumentar sus esfuerzos en materia de eficiencia energética. Por su parte, en los países del sur, más dependientes del suministro exterior, la diversificación debería ser una prioridad.

El segundo de los estudios donde se aplica el modelo MRIO fue presentado en el Capítulo 5 “*Domestic versus foreign origin of total energy use: An analysis for Brazil*”, donde se analiza el caso específico de Brasil. Con este artículo se ha demostrado una importancia creciente de la energía total producida en Brasil, pero utilizada en el exterior, confirmando así el papel clave de Brasil como proveedor mundial de energía. El sistema de producción brasileño concentra su uso energético en energía de origen nacional. Sin embargo, en los últimos años analizados se produjo un aumento sustancial de la energía utilizada para las exportaciones. De este modo, el ritmo de crecimiento medio del uso externo de energía fue superior al doble del crecimiento medio del uso interno durante los años 1995-2015.

Por otro lado, como el estudio realiza una comparación a nivel sectorial, se encontraron las tres principales industrias usuarias de energía en Brasil: industria del transporte; industria de alimentos y bebidas; e industria de electricidad, gas y agua. Estas tres industrias se caracterizaron por hacer un uso intensivo de la energía producida en el propio país. En contraste, algunas industrias de servicios, como la de mantenimiento y reparación, de comercio mayorista y de comercio minorista, fueron usuarias de menor intensidad energética.

La dependencia de las cadenas de valor mundiales y el comercio exterior en determinadas actividades brasileñas se refleja en la importancia creciente del uso interno de la energía producida en el extranjero. Este fue el caso de la industria textil, la industria de electricidad y maquinaria, la industria de equipos de transporte y la industria de construcción.

Estos resultados demuestran que estimar el uso total de energía de las diferentes industrias e identificar el origen de la energía utilizada es fundamental para llevar a cabo una adecuada formulación de políticas energéticas. El sistema de producción es un agente clave para lograr la transición a sistemas energéticos más sostenibles social y ambientalmente. No obstante, es necesario tener en cuenta que las industrias que componen el sistema productivo presentan patrones de uso de energía diferentes.

En el caso de Brasil, por una parte, se encontró que un grupo reducido de industrias representa la mayor parte del uso doméstico de energía producida en el país. Las medidas sectoriales, como el fomento de la introducción de tecnologías limpias y eficientes, deben estar dirigidas a este grupo específico de industrias. Por otra parte, se identificó la existencia de algunas industrias que dependen cada vez más de la energía producida en el extranjero. Este hecho extiende el problema de la mitigación de las emisiones de GEI relacionadas con la energía del nivel nacional al global. Para garantizar la sostenibilidad del sistema energético, es necesario mejorar la eficiencia energética en las diferentes cadenas de suministro globales.

Como complemento al modelo MRIO, en esta tesis se ha aplicado un modelo de panel de datos para evaluar los factores determinantes del consumo de energía renovables, considerando tanto factores económicos como sociales. Este estudio, presentado en el Capítulo 6 “*Determinantes del consumo de energía renovables en la Unión Europea: Un análisis entre UE-15 y los 13 nuevos países*”, contribuye a la literatura existente sobre el consumo de energía renovable de dos maneras. En primer lugar, incorpora al análisis no solo factores económicos, sino también sociales. Gran parte de la literatura sobre las fuerzas impulsoras del consumo de energía renovable incluye variables económicas, sin embargo, hay una falta de evidencia sobre el impacto de los factores sociales, especialmente en los países de altos ingresos. Por ello, en este estudio se examina el impacto de tres factores sociales: educación, esperanza de vida y gobernanza. En segundo lugar, se realiza un análisis comparado entre los países de la UE-28 y dos subgrupos: la UE-15 y el grupo de los 13 últimos países que ingresaron en el bloque comunitario, para identificar características diferenciales de los resultados obtenidos.

Al analizar la UE en su conjunto, se ha podido constatar que los factores económicos tienen un efecto negativo en el consumo de energía renovable, mientras que los factores sociales tienen un impacto positivo, con excepción del índice de gobernanza. Esto significa que para facilitar la transición energética la UE está llamada a potencializar

los aspectos sociales. En particular, deben realizarse esfuerzos para mejorar el marco institucional y la gobernanza. Además, la UE debe llevar a cabo programas para concienciar sobre la importancia del uso de energías limpias y renovables y para promover la eficiencia energética.

También se ha podido verificar que el impacto de algunos factores difiere entre el conjunto de la UE y los dos subgrupos de países. La esperanza de vida y la gobernanza ejercen un efecto positivo en el consumo de energías renovables en la UE-15, mientras que, en el grupo de los 13 nuevos países de la UE, el impacto de la esperanza de vida no es significativo y el de la gobernanza es negativo. Esto puede explicarse, al menos en parte, por el mayor nivel de desarrollo de los países de la UE-15 en comparación con el grupo de los 13 nuevos. Dadas las diferencias en el impacto de algunos de los factores examinados, los gobiernos nacionales deberían adaptar su política energética a las características específicas de sus países.

Con todo, se puede afirmar que el despliegue de energías renovables está influenciado por una amplia gama de factores. El estudio realizado demuestra que los aspectos sociales juegan un papel clave en la adopción del consumo de energías renovables en la UE. Por lo tanto, es necesario adoptar un enfoque holístico que incluya no solo aspectos económicos sino también sociales para fomentar el consumo de energías renovables. En este sentido, los gobiernos de la UE podrían implementar programas en los diferentes niveles de los sistemas educativos (escuelas y universidades) destinados a desarrollar conocimientos, habilidades y actitudes para aumentar la conciencia ambiental y fomentar cambios en el uso de la energía.

En resumen, tras el desarrollo de esta tesis se puede concluir que los aspectos que determinan el uso de la energía son heterogéneos y varían de acuerdo a la realidad de cada territorio (país). Quedó constatada la necesidad de considerar el total del uso energético, es decir, el uso directo e indirecto de energía, para estimar de forma adecuada la importancia de la energía en los sistemas productivos. Además, respecto a los factores que determinan el uso energético de energías renovables, también se hizo evidente la necesidad de considerar factores tanto económicos como sociales.

En este sentido, en respuesta a los objetivos específicos planteados, se espera que, a medida que aumente la globalización, el uso de energía importada y exportada juegue un papel cada vez más importante en el uso energético total de los países. Dado que los factores que determinan el uso energético ejercen impactos dispares, las políticas

energéticas futuras deberán coordinarse teniendo en cuenta estos aspectos, y, al mismo tiempo, tener en cuenta las diferencias existentes entre economías desarrolladas y emergentes, adaptando las medidas acordadas en aras a lograr un uso más eficiente y sostenible de la energía.

## 7.2. LIMITACIONES DE LA TESIS

Una vez presentadas las contribuciones de la tesis, es importante comentar las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la investigación, para que se tenga en cuenta a la hora de generalizar los resultados, y para que futuros estudios puedan progresar de manera adecuada con la replicación y ajustes de los métodos empleados, sea a respecto del uso de energía o en relación a la identificación de los determinantes del consumo de energía renovable.

Con relación a los estudios donde se ha empleado el modelo MRIO, desde un punto de vista metodológico, las eficiencias de conversión de energía podrían incorporarse al modelo para hacer frente a la producción de energía secundaria. Además, la desagregación sectorial es muy reducida y no permite captar la heterogeneidad de productos dentro de categorías sectoriales. El uso de modelos energéticos de productos básicos por industrias podría ser útil en este sentido (Miller & Blair, 2009). También debemos tener en cuenta que las matrices *Input-Output* en el modelo no incluyen el uso de energía de los hogares. También sería interesante identificar los principales socios de energía incorporada.

Otra limitación relacionada con la aplicación de esta metodología está relacionada con el retraso existente en la publicación de las tablas MRIO y los modelos MRIO asumen hipótesis sobre homogeneidad, proporcionalidad e importaciones. Las tablas MRIO actualizadas podrían mostrar una imagen más real del uso total de energía.

En último lugar, el estudio de los determinantes del consumo de energía renovable está condicionado respecto a la disponibilidad de datos y limitado por los modelos econométricos empleados. Aunque el estudio considera variables económicas y sociales para evaluar el impacto sobre el consumo de energía renovable (lo cual tiene un fuerte impacto medioambiental), no es posible observar todas las variables que influyen sobre esta última en un solo modelo.

### 7.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En general, se resalta que comprender la evolución del uso total de energía, tanto directa como indirecta, por medio del modelo MRIO, es fundamental para la formulación de políticas energéticas adecuadas orientadas a lograr la transición a sistemas energéticos ambientalmente sostenibles. Dado que los sistemas de producción de los diferentes países están cada vez más entrelazados, podría ser interesante aplicar la metodología empleada en ese estudio a otros países para captar los principales cambios en el uso total de energía de los sistemas de producción. Además, la identificación de las industrias usuarias más intensivas en energía en los diferentes países podría ayudar a trazar una imagen más precisa de las interdependencias sectoriales y entre países en términos de energía. Los resultados de esta metodología también podrían servir como punto de partida para el análisis de las emisiones de GEI relacionadas con la energía. Todos estos temas deberían ser objeto de estudio en trabajos futuros.

Al mismo tiempo, a través de modelos de panel de datos, podrían desarrollarse otros estudios sobre los determinantes del consumo de energía renovable aplicados a otras regiones o considerando otros factores económicos, sociales e incluso ambientales, que estén vinculados a dicho consumo o que tomen mayor relevancia con el paso del tiempo.



## REFERENCIAS

- Abrahão, K. C. de F. J., & Souza, R. V. G. de. (2021). What has driven the growth of Brazil's residential electricity consumption during the last 19 years? An index decomposition analysis. *Ambiente Construído*, 21(2), 7–39.  
<https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200513>
- Achão, C., & Schaeffer, R. (2009). Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980–2007 period: Measuring the activity, intensity and structure effects. *Energy Policy*, 37(12), 5208–5220.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.043>
- Adelman, M. A. (1990). The 1990 Oil Shock is Like the Others. *The Energy Journal*, 11(4), 1–13. <https://doi.org/10.5547/issn0195-6574-ej-vol11-no4-1>
- Agostino, A. (1997). Notas em torno do desenvolvimento. *Revista Cadernos do Centro de Estudos e Ação Social – CEAS*, (171), 31–40.
- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E. L., McDougall, R., & van der Mensbrugge, D. (2019). The GTAP Data Base: Version 10. *Journal of Global Economic Analysis*, 4(1), 1–27. <https://doi.org/10.21642/JGEA.040101AF>
- Akizu-Gardoki, O., Bueno, G., Wiedmann, T., Lopez-Guede, J. M., Arto, I., Hernandez, P., & Moran, D. (2018). Decoupling between human development and energy consumption within footprint accounts. *Journal of Cleaner Production*, 202, 1145–1157. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.235>
- Akizu-Gardoki, O., Wakiyama, T., Wiedmann, T., Bueno, G., Arto, I., Lenzen, M., & Lopez-Guede, J. M. (2021). Hidden Energy Flow indicator to reflect the outsourced energy requirements of countries. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123827>
- Al-Mansour, F. (2011). Energy efficiency trends and policy in Slovenia. *Energy*, 36(4), 1868–1877. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.018>
- Al-Mulali, U., Fereidouni, H. G., Lee, J. Y., & Sab, C. N. B. C. (2013). Examining the bi-directional long run relationship between renewable energy consumption and GDP growth. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 209–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.005>



- Alcántara, V., & Duarte, R. (2004). Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 32(2), 177–189. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00263-X](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00263-X)
- Allen, R. (1980). *How to Save the World: Strategy for World Conservation*. London: Kogan Page. Disponible in: <https://stg-wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/29432>. Accessed 8 November 2021
- Allen, R. C. (2013). Energy Transitions in History: The Shift to Coal. *RCC Perspectives*, (2), 11–15. <https://doi.org/doi.org/10.5282/rcc/6216>
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- Amann, E., & Baer, W. (2005). From the developmental to the regulatory state: the transformation of the government's impact on the Brazilian economy. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 45(2–3), 421–431. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2004.12.012>
- Amri, F. (2017). Intercourse across economic growth, trade and renewable energy consumption in developing and developed countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 527–534. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.11.230>
- Amri, F. (2019). Renewable and non-renewable categories of energy consumption and trade: Do the development degree and the industrialization degree matter? *Energy*, 173, 374–383. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.114>
- Amuakwa-Mensah, F., & Näsström, E. (2022). Role of banking sector performance in renewable energy consumption. *Applied Energy*, 306(118023), 1–22. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.118023>
- ANA. (2021). Competências. *Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Ministério do Desenvolvimento Regional*. Disponible in: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/competencias>. Accessed 8 April 2021
- ANEEL. (2021). A ANEEL - Conheça a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. *Agência Nacional de Energia Elétrica*. Disponible in:

- <https://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Accessed 8 April 2021
- Ang, B. . (2004). Decomposition analysis for policymaking in energy: *Energy Policy*, 32(9), 1131–1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)
- Ang, B. W. (2006). Monitoring changes in economy-wide energy efficiency: From energy–GDP ratio to composite efficiency index. *Energy Policy*, 34(5), 574–582. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.011>
- Ang, B. W., Mu, A. R., & Zhou, P. (2010). Accounting frameworks for tracking energy efficiency trends. *Energy Economics*, 32(5), 1209–1219. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.03.011>
- Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25(12), 1149–1176. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(00\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(00)00039-6)
- ANM. (2021). Institucional. *Agência Nacional de Mineração. Ministério de Minas e Energia*. Disponible in: <https://www.gov.br/anm/pt-br/acao-a-informacao/institucional>. Accessed 8 April 2021
- ANP. (2021). Sistema de Legislação da ANP. *Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. Disponible in: <https://atosoficiais.com.br/anp>. Accessed 8 April 2021
- Anstis, R. (1997). *Man of Iron - Man of Steel: The Lives of David and Robert Mushet - Ralph Anstis - Google Livros*. Albion House. Disponible in: [https://books.google.es/books?id=-lxAACAIAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.es/books?id=-lxAACAIAAJ&redir_esc=y). Accessed 9 September 2021
- Anton, S. G., & Afloarei Nucu, A. E. (2020). The effect of financial development on renewable energy consumption. A panel data approach. *Renewable Energy*, 147, 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.005>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010a). Renewable energy consumption and economic growth: Evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656–660. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.002>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010b). Renewable energy consumption and growth in Eurasia. *Energy Economics*, 32(6), 1392–1397. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.06.001>

- Apergis, N., & Payne, J. E. (2011). On the causal dynamics between renewable and non-renewable energy consumption and economic growth in developed and developing countries. *Energy Systems*, 2(3–4), 299–312.  
<https://doi.org/10.1007/s12667-011-0037-6>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2012). Renewable and non-renewable energy consumption-growth nexus: Evidence from a panel error correction model. *Energy Economics*, 34(3), 733–738. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.007>
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2014). Renewable energy, output, CO2 emissions, and fossil fuel prices in Central America: Evidence from a nonlinear panel smooth transition vector error correction model. *Energy Economics*, 42, 226–232.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.01.003>
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological Economics*, 69(11), 2255–2260.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>
- Aquila, G., Pamplona, E. de O., Queiroz, A. R. de, Rotela Junior, P., & Fonseca, M. N. (2017). An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1090–1098.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.013>
- Arbex, M., & Perobelli, F. S. (2010). Solow meets Leontief: Economic growth and energy consumption. *Energy Economics*, 32(1), 43–53.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2009.05.004>
- Arellano, M., & Bover, O. (1990). La econometría de datos de panel. *Investigaciones Económicas (Segunda época)*, XIV(1), 3–45. Disponible in:  
<https://www.cemfi.es/~arellano/arellano-bover-inv-econ-1990.pdf>. Accessed 5 September 2019
- Ariu, A., Docquier, F., & Squicciarini, M. P. (2016). Governance quality and net migration flows. *Regional Science and Urban Economics*, 60, 238–248.  
<https://doi.org/10.1016/J.REGSCIURBECO.2016.07.006>
- Arto, I., Andreoni, V., & Rueda-Cantuche, J. M. (2016). Global use of water resources:

- A multiregional analysis of water use, water footprint and water trade balance. *Water Resources and Economics*, 15, 1–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.wre.2016.04.002>
- Arto, I., Capellán-Pérez, I., Lago, R., Bueno, G., & Bermejo, R. (2016). The energy requirements of a developed world. *Energy for Sustainable Development*, 33, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>
- Asongu, S. A., & Nwachukwu, J. C. (2017). The Impact of Terrorism on Governance in African Countries. *World Development*, 99, 253–270.  
<https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2017.05.023>
- Asongu, S., Le Roux, S., Nwachukwu, J. C., & Pyke, C. (2018). The mobile phone as an argument for good governance in sub-Saharan Africa. *Information Technology & People*, 32, 364–386. <https://doi.org/10.1108/ITP-01-2018-0011>
- Attiaoui, I., Toumi, H., Ammouri, B., & Gargouri, I. (2017). Causality links among renewable energy consumption, CO 2 emissions, and economic growth in Africa: evidence from a panel ARDL-PMG approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(14), 13036–13048. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8850-7>
- Aydin, G. (2014a). Production Modeling in the Oil and Natural Gas Industry: An Application of Trend Analysis. *Petroleum Science and Technology*, 32(5), 555–564. <https://doi.org/10.1080/10916466.2013.825271>
- Aydin, G. (2014b). The Modeling and Projection of Primary Energy Consumption by the Sources. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(1), 67–74. <https://doi.org/10.1080/15567249.2013.771716>
- Aydin, G. (2015a). The Application of Trend Analysis for Coal Demand Modeling. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 10(2), 183–191. <https://doi.org/10.1080/15567249.2013.813611>
- Aydin, G. (2015b). Forecasting Natural Gas Production Using Various Regression Models. *Petroleum Science and Technology*, 33(15–16), 1486–1492. <https://doi.org/10.1080/10916466.2015.1076842>
- Aydin, G., Karakurt, I., & Aydiner, K. (2012). Analysis and Mitigation Opportunities of Methane Emissions from the Energy Sector. *Energy Sources, Part A: Recovery*,

*Utilization, and Environmental Effects*, 34(11), 967–982.

<https://doi.org/10.1080/15567031003716725>

Azadeh, A., & Tarverdian, S. (2007). Integration of genetic algorithm, computer simulation and design of experiments for forecasting electrical energy consumption. *Energy Policy*, 35(10), 5229–5241.

<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2007.04.020>

Azevêdo, V., Candeias, A., & Tiba, C. (2017). Location Study of Solar Thermal Power Plant in the State of Pernambuco Using Geoprocessing Technologies and Multiple-Criteria Analysis. *Energies*, 10(7), 1042. <https://doi.org/10.3390/en10071042>

Bajay, S. V. (2006). Integrating competition and planning: A mixed institutional model of the Brazilian electric power sector. *Energy*, 31(6–7), 865–876.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.10.004>

Banday, U. J., & Aneja, R. (2020). Renewable and non-renewable energy consumption, economic growth and carbon emission in BRICS. *International Journal of Energy Sector Management*, 14(1), 248–260. <https://doi.org/10.1108/IJESM-02-2019-0007>

Banja, M., Jégard, M., Monforti-Ferrario, F., Dallemand, J.-F., Taylor, N., Motola, V., et al. (2018). *Renewables in the EU an overview of support schemes and measures*. Brussels.

Barnett, H. J. (1950). *Energy uses and supplies, 1939, 1947, 1965* (No. No. BM-IC-7582). Washington, DC (USA).

Bastidas, D., & Mc Isaac, F. (2019). Reaching Brazil's Nationally Determined Contributions: An assessment of the key transitions in final demand and employment. *Energy Policy*, 135, 110983.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110983>

Battle, C., Barroso, L. A., & Pérez-Arriaga, I. J. (2010). The changing role of the State in the expansion of electricity supply in Latin America. *Energy Policy*, 38(11), 7152–7160. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.037>

Baumol, W. J. (2000). Leontief's Great Leap Forward: Beyond Quesnay, Marx and von Bortkiewicz. *Economic Systems Research*, 12(2), 141–152.

<https://doi.org/10.1080/09535310050005662>

Baumol, W. J., & Wolff, E. N. (1981). Subsidies to New Energy Sources: Do They Add

- to Energy Stocks? *Journal of Political Economy*, 89(5), 891–913.  
<https://doi.org/10.1086/261012>
- Beck, N. (2001). Time-Series–Cross-Section Data: What Have We Learned in the Past Few Years? *Annual Review of Political Science*, 4(1), 271–293.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.4.1.271>
- Beck, N., & Katz, J. N. (1995). What To Do (and Not to Do) with Time-Series Cross-Section Data. *American Political Science Review*, 89(3), 634–647.  
<https://doi.org/10.2307/2082979>
- Belussi, L., Barozzi, B., Bellazzi, A., Danza, L., Devitofrancesco, A., Fanciulli, C., et al. (2019). A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. *Journal of Building Engineering*, 25, 100772.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100772>
- Ben Aïssa, M. S., Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2014). Output, renewable energy consumption and trade in Africa. *Energy Policy*, 66, 11–18.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.11.023>
- Ben Jebli, M. (2016). On the causal links between health indicator, output, combustible renewables and waste consumption, rail transport, and CO<sub>2</sub> emissions: the case of Tunisia. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(16), 16699–16715.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-016-6850-7>
- Ben Jebli, M., & Ben Youssef, S. (2017). Renewable energy consumption and agriculture: evidence for cointegration and Granger causality for Tunisian economy. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 24(2), 149–158. <https://doi.org/10.1080/13504509.2016.1196467>
- Ben Jebli, M., Ben Youssef, S., & Ozturk, I. (2015). The Role of Renewable Energy Consumption and Trade: Environmental Kuznets Curve Analysis for Sub-Saharan Africa Countries. *African Development Review*, 27(3), 288–300.  
<https://doi.org/10.1111/1467-8268.12147>
- Bernal, A. P., dos Santos, I. F. S., Moni Silva, A. P., Barros, R. M., & Ribeiro, E. M. (2017). Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO<sub>2</sub> emissions. *Journal of Cleaner Production*, 151, 260–271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.064>

- Bernardes, F., Vieira, D., Palade, V., & Saldanha, R. (2018). Winds of Change: How Up-To-Date Forecasting Methods Could Help Change Brazilian Wind Energy Policy and Save Billions of US\$. *Energies*, *11*(11), 2952.  
<https://doi.org/10.3390/en11112952>
- Berndt, E. R. (1978). AGGREGATE ENERGY, EFFICIENCY, AND PRODUCTIVITY MEASUREMENT. *Annual Review of Energy*, *3*(1), 225–273.  
Disponibile in: [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org). Accessed 31 May 2020
- Bhadbhade, N., Yilmaz, S., Zuberi, J. S., Eichhammer, W., & Patel, M. K. (2020). The evolution of energy efficiency in Switzerland in the period 2000–2016. *Energy*, *191*, 116526. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116526>
- Bhat, J. A. (2018). Renewable and non-renewable energy consumption—impact on economic growth and CO2 emissions in five emerging market economies. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–16.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3523-8>
- Binder, D. (1974). The Energy Crisis, the Environment and the Consumer: A Solomonian Task. *Ohio Northern University Law Review*, *1*(2), 215–333.  
Disponibile in: <https://heinonline.org/HOL/P?h=hein.journals/onulr1&i=227>
- Birdsall, N., & Wheeler, D. (1993). Trade Policy and Industrial Pollution in Latin America: Where Are the Pollution Havens? *The Journal of Environment & Development*, *2*(1), 137–149. <https://doi.org/10.1177/107049659300200107>
- Birol, F. (2007). Energy Economics: A Place for Energy Poverty in the Agenda? *The Energy Journal*, *28*(3), 1–6. <https://doi.org/10.5547/ISSN0195-6574-EJ-VOL28-NO3-1>
- Bjelle, E. L., Kuipers, K., Verones, F., & Wood, R. (2021). Trends in national biodiversity footprints of land use. *Ecological Economics*, *185*(107059), 1–11.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107059>
- Bluszcz, A. (2017). European economies in terms of energy dependence. *Quality & Quantity*, *51*(4), 1531–1548. <https://doi.org/10.1007/s11355-016-0350-1>
- Boardman, B. (1991). *Fuel Poverty: from cold homes to affordable warmth*. London, UK: Belhaven Press. Disponibile in:  
<https://www.energy-poverty.eu/publication/fuel-poverty-cold-homes-affordable->

- warmth. Accessed 3 June 2020
- Borges, C. P., Sobczak, J. C., Silberg, T. R., Uriona-Maldonado, M., & Vaz, C. R. (2021). A systems modeling approach to estimate biogas potential from biomass sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 138*, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110518>
- Bosseboeuf, D., Chateau, B., & Lapillonne, B. (1997). Cross-country comparison on energy efficiency indicators: the on-going European effort towards a common methodology. *Energy Policy, 25*(7–9), 673–682. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00059-1)
- Bouzarovski, S. (2009). East-Central Europe's changing energy landscapes: a place for geography. *Area, 41*(4), 452–463. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2009.00885.x>
- Bouzarovski, S., Herrero, S. T., Petrova, S., Frankowski, J., Matoušek, R., & Maltby, T. (2017). Multiple transformations: Theorizing energy vulnerability as a socio-spatial phenomenon. *Geografiska Annaler, Series B: Human Geography, 99*(1), 20–41. <https://doi.org/10.1080/04353684.2016.1276733>
- Bouzarovski, S., & Petrova, S. (2015). A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty–fuel poverty binary. *Energy Research & Social Science, 10*, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>
- Bouzarovski, S., & Tirado Herrero, S. (2017). The energy divide: Integrating energy transitions, regional inequalities and poverty trends in the European Union. *European Urban and Regional Studies, 24*(1), 69–86. <https://doi.org/10.1177/0969776415596449>
- BP. (2021). Statistical Review of World Energy 2021. 70th Edition. Disponible in: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Accessed 17 August 2021
- Bradshaw, A. (2017). Regulatory change and innovation in Latin America: The case of renewable energy in Brazil. *Utilities Policy, 49*, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.01.006>
- Bradshaw, A., & de Martino Jannuzzi, G. (2019). Governing energy transitions and regional economic development: Evidence from three Brazilian states. *Energy*



- Policy*, 126, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.025>
- Bradshaw, M. J. (2010). Global energy dilemmas: A geographical perspective. *Geographical Journal*, 176(4), 275–290. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00375.x>
- Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., & Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy Policy*, 53, 331–340. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>
- Brookes, L. (2000). Energy efficiency fallacies revisited. *Energy Policy*, 28(6–7), 355–366. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00030-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00030-6)
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Boca Raton, Florida.
- Bullard, C. W., & Herendeen, R. A. (1975a). The energy cost of goods and services. *Energy Policy*, 3(4), 268–278. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(75\)90035-X](https://doi.org/10.1016/0301-4215(75)90035-X)
- Bullard, C. W., & Herendeen, R. A. (1975b). Energy impact of consumption decisions. *Proceedings of the IEEE*, 63(3), 484–493. <https://doi.org/10.1109/PROC.1975.9775>
- Bullard, C. W., Penner, P. S., & Pilati, D. A. (1978). Net energy analysis: Handbook for combining process and input-output analysis. *Resources and Energy*, 1(3), 267–313. [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(78\)90008-7](https://doi.org/10.1016/0165-0572(78)90008-7)
- Bunsen, J., Berger, M., Ward, H., & Finkbeiner, M. (2021). Germany's global water consumption under consideration of the local safe operating spaces of watersheds worldwide. *Cleaner and Responsible Consumption*, 3(100034), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2021.100034>
- Cadoret, I., & Padovano, F. (2016). The political drivers of renewable energies policies. *Energy Economics*, 56, 261–269. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.03.003>
- Callegari, J., Melo, T. M., & Carvalho, C. E. (2018). The peculiar insertion of Brazil into global value chains. *Review of Development Economics*, 22(3), 1321–1342. <https://doi.org/10.1111/rode.12386>
- Camacho, J. A., da Silva Almeida, L., Rodríguez, M., & Molina, J. (2021). Domestic versus foreign energy use: an analysis for four European countries. *Environment*,

- Development and Sustainability*, 1–21. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01622-7>
- Campos, A. F., da Silva, N. F., Pereira, M. G., & Vasconcelos Freitas, M. A. (2017). A review of Brazilian natural gas industry: Challenges and strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1207–1216. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.104>
- Canarella, G., & Gasparyan, A. (2008). New insights into executive compensation and firm performance: Evidence from a panel of “new economy” firms, 1996-2002. *Managerial Finance*, 34(8), 537–554. <https://doi.org/10.1108/03074350810874064>
- Carpio, L. G. T., & Simone de Souza, F. (2017). Optimal allocation of sugarcane bagasse for producing bioelectricity and second generation ethanol in Brazil: Scenarios of cost reductions. *Renewable Energy*, 111, 771–780. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.015>
- Carstens, D. D. dos S., & Cunha, S. K. da. (2019). Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy*, 125, 396–404. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>
- Carvalho, A. L. de, Antunes, C. H., Freire, F., & Henriques, C. O. (2015). A hybrid input–output multi-objective model to assess economic–energy–environment trade-offs in Brazil. *Energy*, 82, 769–785. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.089>
- Carvalho, A. L. de, Henggeler Antunes, C., Freire, F., & Oliveira Henriques, C. (2016). A multi-objective interactive approach to assess economic-energy-environment trade-offs in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1429–1442. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.064>
- Carvalho, M., & Delgado, D. (2017). Potential of photovoltaic solar energy to reduce the carbon footprint of the Brazilian electricity matrix. *LALCA: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida*, 1(1), 64–85. <https://doi.org/10.18225/lalca.v1i1.3779>
- Carvalho, N. B., Berrêdo Viana, D., Muylaert de Araújo, M. S., Lampreia, J., Gomes, M. S. P., & Freitas, M. A. V. (2020). How likely is Brazil to achieve its NDC commitments in the energy sector? A review on Brazilian low-carbon energy

- perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110343.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110343>
- Carvalho, V. S., & Vieira, F. V. (2013). EXPORTAÇÕES EM ECONOMIAS EMERGENTES SELECIONADAS (BRASIL, RÚSSIA, ÍNDIA, CHINA E ÁFRICA DO SUL): MODELOS VAR E VEC. *Análise Econômica*, 31(60), 7–34.  
<https://doi.org/10.22456/2176-5456.20983>
- Casler, S., & Wilbur, S. (1984). Energy input-output analysis. *Resources and Energy*, 6(2), 187–201. [https://doi.org/10.1016/0165-0572\(84\)90016-1](https://doi.org/10.1016/0165-0572(84)90016-1)
- Cavaliero, C. K. N., & Da Silva, E. P. (2005). Electricity generation: regulatory mechanisms to incentive renewable alternative energy sources in Brazil. *Energy Policy*, 33(13), 1745–1752. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.012>
- Cazcarro, I., García-Gusano, D., Iribarren, D., Linares, P., Romero, J. C., Arocena, P., et al. (2022). Energy-socio-economic-environmental modelling for the EU energy and post-COVID-19 transitions. *Science of The Total Environment*, 805, 150329.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150329>
- CCEE. (2021). CCEE - Setor elétrico. *Câmara de Comercialização de Energia Elétrica*. Disponível in: [https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/onde-atuamos/setor\\_eletrico?\\_adf.ctrl-state=tdddixdtp\\_43&\\_afLoop=14373018078889#!%40%40%3F\\_afLoop%3D14373018078889%26\\_adf.ctrl-state%3Dtdddixdtp\\_47](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/setor_eletrico?_adf.ctrl-state=tdddixdtp_43&_afLoop=14373018078889#!%40%40%3F_afLoop%3D14373018078889%26_adf.ctrl-state%3Dtdddixdtp_47). Accessed 8 April 2021
- Cellura, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2012). Application of the Structural Decomposition Analysis to assess the indirect energy consumption and air emission changes related to Italian households consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1135–1145.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.016>
- Ćetković, S., & Buzogány, A. (2016). Varieties of capitalism and clean energy transitions in the European Union: When renewable energy hits different economic logics. *Climate Policy*, 16(5), 642–657.  
<https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1135778>
- Chandrashekeran, S. (2016). Multidimensionality and the multilevel perspective: Territory, scale, and networks in a failed demand-side energy transition in

- Australia. *Environment and Planning A*, 48(8), 1636–1656.  
<https://doi.org/10.1177/0308518X16643728>
- Chang, Y., Ries, R. J., & Wang, Y. (2010). The embodied energy and environmental emissions of construction projects in China: An economic input–output LCA model. *Energy Policy*, 38(11), 6597–6603.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.030>
- Chen, B., Han, M. Y., Peng, K., Zhou, S. L., Shao, L., Wu, X. F., et al. (2018). Global land-water nexus: Agricultural land and freshwater use embodied in worldwide supply chains. *Science of The Total Environment*, 613–614, 931–943.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.138>
- Chen, B., Li, J. S., Chen, G. Q., Wei, W. D., Yang, Q., Yao, M. T., et al. (2017). China's energy-related mercury emissions: Characteristics, impact of trade and mitigation policies. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1259–1266.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.200>
- Chen, B., Li, J. S., Wu, X. F., Han, M. Y., Zeng, L., Li, Z., & Chen, G. Q. (2018). Global energy flows embodied in international trade: A combination of environmentally extended input–output analysis and complex network analysis. *Applied Energy*, 210, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.113>
- Chen, G. Q., & Han, M. Y. (2015). Global supply chain of arable land use: Production-based and consumption-based trade imbalance. *Land Use Policy*, 49, 118–130.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.07.023>
- Chen, G. Q., Li, J. S., Chen, B., Wen, C., Yang, Q., Alsaedi, A., & Hayat, T. (2016). An overview of mercury emissions by global fuel combustion: The impact of international trade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 345–355.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.049>
- Chen, G. Q., Wu, X. D., Guo, J., Meng, J., & Li, C. (2019). Global overview for energy use of the world economy: Household-consumption-based accounting based on the world input-output database (WIOD). *Energy Economics*, 81, 835–847.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.05.019>
- Chen, G. Q., & Wu, X. F. (2017). Energy overview for globalized world economy: Source, supply chain and sink. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69,

735–749. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.151>

- Chen, Shaoqing, & Chen, B. (2015). Urban energy consumption: Different insights from energy flow analysis, input–output analysis and ecological network analysis. *Applied Energy*, *138*, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.055>
- Chen, Shaoqing, Kharrazi, A., Liang, S., Fath, B. D., Lenzen, M., & Yan, J. (2020). Advanced approaches and applications of energy footprints toward the promotion of global sustainability. *Applied Energy*, *261*, 114415. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114415>
- Chen, Shaoqing, Long, H., Chen, B., Feng, K., & Hubacek, K. (2020). Urban carbon footprints across scale: Important considerations for choosing system boundaries. *Applied Energy*, *259*, 114201. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114201>
- Chen, Shaoqing, Zhu, F., Long, H., & Yang, J. (2019). Energy footprint controlled by urban demands: How much does supply chain complexity contribute? *Energy*, *183*, 561–572. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.167>
- Chen, Shuo, Zhang, G., Xia, X., Setunge, S., & Shi, L. (2020). A review of internal and external influencing factors on energy efficiency design of buildings. *Energy and Buildings*, *216*, 109944. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109944>
- Chen, W., Lei, Y., Feng, K., Wu, S., & Li, L. (2019). Provincial emission accounting for CO<sub>2</sub> mitigation in China: Insights from production, consumption and income perspectives. *Applied Energy*, *255*, 113754. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113754>
- Chen, Y.-H. H., Timilsina, G. R., & Landis, F. (2013). Economic implications of reducing carbon emissions from energy use and industrial processes in Brazil. *Journal of Environmental Management*, *130*, 436–446. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.049>
- Chen, Y. (2018). Factors influencing renewable energy consumption in China: An empirical analysis based on provincial panel data. *Journal of Cleaner Production*, *174*, 605–615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.011>
- Chen, Z.-M., & Chen, G. Q. (2013). Demand-driven energy requirement of world economy 2007: A multi-region input–output network simulation. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, *18*(7), 1757–1774.

- <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2012.11.004>
- Chen, Z. M., & Chen, G. Q. (2011a). Embodied carbon dioxide emission at supra-national scale: A coalition analysis for G7, BRIC, and the rest of the world. *Energy Policy*, 39(5), 2899–2909. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.068>
- Chen, Z. M., & Chen, G. Q. (2011b). An overview of energy consumption of the globalized world economy. *Energy Policy*, 39(10), 5920–5928. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.046>
- Cherni, A., & Jouini, S. E. (2017). An ARDL approach to the CO2 emissions, renewable energy and economic growth nexus: Tunisian evidence. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(48), 29056–29066. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.08.072>
- Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E., & Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research and Social Science*, 37, 175–190. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.09.015>
- Chilvers, J., & Longhurst, N. (2016). Participation in transition(s): Reconceiving public engagements in energy transitions as co-produced, emergent and diverse. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 18(5), 585–607. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2015.1110483>
- Climate Watch. (2021). Historical GHG Emissions. Washington, DC: WRI - World Resources Institute. Disponible in: [https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=ABSOLUTE\\_VALUE&chartType=line&end\\_year=2018&gases=all-ghg&start\\_year=1990](https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&calculation=ABSOLUTE_VALUE&chartType=line&end_year=2018&gases=all-ghg&start_year=1990). Accessed 8 September 2021
- CMMAD. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo - Nuestro futuro común*. Nueva York. Disponible in: <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=es>
- CMSE. (2021). Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico. *Ministério de Minas e Energia*. Disponible in: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cmse>. Accessed 8 April 2021
- CNPE. (2021). Conselho e Comitês. *Conselho Nacional de Política Energética*. *Ministério de Minas e Energia*. Disponible in: <https://www.gov.br/mme/pt->

- br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpe. Accessed 8 April 2021
- Coelho, S. T., Sanches-Pereira, A., Tudeschini, L. G., & Goldemberg, J. (2018). The energy transition history of fuelwood replacement for liquefied petroleum gas in Brazilian households from 1920 to 2016. *Energy Policy*, *123*, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.041>
- Cohen, C., Lenzen, M., & Schaeffer, R. (2005). Energy requirements of households in Brazil. *Energy Policy*, *33*(4), 555–562. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.08.021>
- Cornillie, J., & Fankhauser, S. (2004). The energy intensity of transition countries. *Energy Economics*, *26*(3), 283–295. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.04.015>
- Corsatea, T. D., Lindner, S., Arto, I., Román, M. V., Rueda-Cantuche, J. M., Velázquez Afonso, A., et al. (2019). *World input-output database environmental accounts: update 2000-2016*. (No. JRC116234). Luxembourg. Disponible in: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC116234>. Accessed 9 December 2021
- Costantini, V., & Monni, S. (2008). Environment, human development and economic growth. *Ecological Economics*, *64*(4), 867–880. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2007.05.011>
- Costanza, R. (1980). Embodied energy and economic valuation. *Science*, *210*(4475), 1219–1224. <https://doi.org/10.1126/science.210.4475.1219>
- Cotella, G., Crivello, S., & Karatayev, M. (2016). European Union Energy Policy Evolutionary Patterns. In P. Lombardi & M. Gruenig (Eds.), *Low-carbon Energy Security from a European Perspective* (pp. 13–42). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802970-1.00002-4>
- CPRM. (2021). Nossa História. *Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Serviço Geológico do Brasil*. Disponible in: <http://www.cprm.gov.br/publique/Sobre/Nossa-Historia-18>. Accessed 8 April 2021
- Creutzig, F., Baiocchi, G., Bierkandt, R., Pichler, P.-P., & Seto, K. C. (2015). Global typology of urban energy use and potentials for an urbanization mitigation wedge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *112*(20), 6283–6288. <https://doi.org/10.1073/pnas.1315545112>
- da Silva, C. M. S., Carneiro, A. de C. O., Vital, B. R., Figueiró, C. G., Fialho, L. de F.,

- de Magalhães, M. A., et al. (2018). Biomass torrefaction for energy purposes – Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2426–2432.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.095>
- da Silva César, A., Conejero, M. A., Barros Ribeiro, E. C., & Batalha, M. O. (2019). Competitiveness analysis of “social soybeans” in biodiesel production in Brazil. *Renewable Energy*, 133, 1147–1157. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.108>
- Daemen, J. J. K. (2004, January 1). Coal Industry, History of. In *Encyclopedia of Energy*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00043-7>
- Daniels, P. L., Lenzen, M., & Kenway, S. J. (2011). The ins and outs of water use – a review of multi-region input–output analysis and water footprints for regional sustainability analysis and policy. *Economic Systems Research*, 23(4), 353–370. <https://doi.org/10.1080/09535314.2011.633500>
- Darmstadter, J. (1971). *Energy in the World Economy. Resources for the Future*. Baltimore: The John Hopkins Press.
- Davis, J. (1957). *Canadian energy prospects* (13th ed.). Ottawa: Royal Commission on Canada’s Economic Prospects.
- de Assis Tavares, L. F., Shadman, M., de Freitas Assad, L. P., Silva, C., Landau, L., & Estefen, S. F. (2020). Assessment of the offshore wind technical potential for the Brazilian Southeast and South regions. *Energy*, 196, 117097. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117097>
- de Faria, F. A. M., & Jaramillo, P. (2017). The future of power generation in Brazil: An analysis of alternatives to Amazonian hydropower development. *Energy for Sustainable Development*, 41, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2017.08.001>
- de Freitas, L. C., & Kaneko, S. (2011). Decomposition of CO<sub>2</sub> emissions change from energy consumption in Brazil: Challenges and policy implications. *Energy Policy*, 39(3), 1495–1504. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.023>
- de Jong, P., Dargaville, R., Silver, J., Utembe, S., Kiperstok, A., & Torres, E. A. (2017). Forecasting high proportions of wind energy supplying the Brazilian Northeast electricity grid. *Applied Energy*, 195, 538–555. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.058>



- de Melo, C. A., Jannuzzi, G. D. M., & Bajay, S. V. (2016). Nonconventional renewable energy governance in Brazil: Lessons to learn from the German experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *61*, 222–234.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.054>
- de Oliveira, A. (2007). Political economy of the Brazilian power industry reform. In D. G. Victor & T. C. Heller (Eds.), *The Political Economy of Power Sector Reform: The Experiences of Five Major Developing Countries* (pp. 31–75). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511493287.003>
- de Oliveira, A. P., Lorenzini, G., Shah, Z., Klunk, M. A., de Carvalho Lima, J. E., Rocha, L. A. O., & Caetano, N. R. (2020). Hierarchical Criticality Analysis of Clean Technologies Applied to a Coal-Fired Power Plant. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, *15*(5), 609–619.  
<https://doi.org/10.18280/ijdne.150501>
- De Oliveira, F. C., & Coelho, S. T. (2017). History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *75*, 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.060>
- De Oliveira, L. G. S., & Negro, S. O. (2019). Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *107*, 462–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.030>
- de Oliveira Noronha, M., Zanini, R. R., & Souza, A. M. (2019). The impact of electric generation capacity by renewable and non-renewable energy in Brazilian economic growth. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(32), 33236–33259.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-06241-4>
- de Souza Dias, V., Pereira da Luz, M., Medero, G., & Tarley Ferreira Nascimento, D. (2018). An Overview of Hydropower Reservoirs in Brazil: Current Situation, Future Perspectives and Impacts of Climate Change. *Water*, *10*(5), 592.  
<https://doi.org/10.3390/w10050592>
- Deardorff, A. V. (2014). *Terms of Trade: Glossary of International Economics. Terms of Trade* (2 ed.). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/8847>
- Debeir, J.-C., Deléage, J.-P., & Hémerly, D. (1986). *Les servitudes de la puissance: une histoire de l'énergie*. Flammarion.

- del Castillo Cuervo-Arango, F. (1988). La evolución del análisis input-output regional y la experiencia española. *Ekonomiaz: Revista vasca de economía*, (11), 105–140. Disponible in: <https://www.euskadi.eus/web01-a2reveko/es/k86aEkonomiazWar/ekonomiaz/abrirArticulo?idpubl=8&registro=95>. Accessed 8 December 2021
- Delahoz-Rosales, B., Camacho-Ballesta, J. A., & Tamayo-Torres, I. (2019). EFECTOS DEL DESARROLLO HUMANO EN EL EMPRENDIMIENTO: UN ANÁLISIS INTERNACIONAL. *DYNA Management*, 7(1), 1–14. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6036/MN9319>
- Deng, G., & Xu, Y. (2017). Accounting and structure decomposition analysis of embodied carbon trade: A global perspective. *Energy*, 137, 140–151. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.064>
- Descovi, P. L., & Vieira, F. P. (2019). Regions of anomalous geothermal fields in the State of Tocantins, Central Brazil. *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applications*, 2(1), 30–36. <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v2i1.27>
- Devine-Wright, P. (Ed.). (2011). *Renewable Energy and the Public: From NIMBY to Participation* (1st ed.). London: Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849776707>
- Dhahri, S., & Omri, A. (2018). Entrepreneurship contribution to the three pillars of sustainable development: What does the evidence really say? *World Development*, 106, 64–77. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2018.01.008>
- Dias, C. L. de A., Castelo Branco, D. A., Arouca, M. C., & Loureiro Legey, L. F. (2017). Performance estimation of photovoltaic technologies in Brazil. *Renewable Energy*, 114(PB), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.033>
- Domar, E. D. (1946). Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*, 14(2), 137–147. <https://doi.org/10.2307/1905364>
- dos Santos Alves, C. E., Belarmino, L. C., & Padula, A. D. (2017). Feedstock diversification for biodiesel production in Brazil: Using the Policy Analysis Matrix (PAM) to evaluate the impact of the PNPB and the economic competitiveness of alternative oilseeds. *Energy Policy*, 109, 297–309. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.009>
- dos Santos, M. G. B., Duarte, R. L., Maciel, A. M., Abreu, M., Reis, A., & de

- Mendonça, H. V. (2021). Microalgae Biomass Production for Biofuels in Brazilian Scenario: A Critical Review. *BioEnergy Research*, *14*(1), 23–42.  
<https://doi.org/10.1007/s12155-020-10180-1>
- Doytch, N., & Narayan, S. (2016). Does FDI influence renewable energy consumption? An analysis of sectoral FDI impact on renewable and non-renewable industrial energy consumption. *Energy Economics*, *54*, 291–301.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.010>
- Dresselhaus, M. S., & Thomas, I. L. (2001). Alternative energy technologies. *Nature*, *414*(6861), 332–337. <https://doi.org/10.1038/35104599>
- Egilmez, G., Oztanriseven, F., & Gedik, R. (2020). The Energy Climate Water Nexus: A Global Sustainability Impact Assessment of U.S. Manufacturing. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1758539>, *32*(4), 298–315.  
<https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1758539>
- Eletrobras. (2021). História. *Centrais Elétricas Brasileiras S.A.* Disponible in: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Historia.aspx>. Accessed 8 April 2021
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *39*, 748–764.  
<https://doi.org/10.1016/J.RSER.2014.07.113>
- Elliott, D. (2015). Sustainable Futures: What Kind of Mix? In *Green Energy Futures: A Big Change for the Good* (1st ed., pp. 99–113). London: Palgrave Macmillan.  
[https://doi.org/10.1057/9781137584434\\_6](https://doi.org/10.1057/9781137584434_6)
- Emara, N., & Chiu, I.-M. (2016). The Impact of Governance on Economic Growth: The Case of Middle Eastern and North African Countries. *Topics in Middle Eastern and African Economies*, *18*(1), 126–144. Disponible in: <http://www.luc.edu/orgs/meea/>. Accessed 25 June 2019
- Eora. (2019). The Eora Global Supply Chain Database. KGM & Associates. Disponible in: <https://worldmrio.com/>. Accessed 30 March 2020
- EPE. (2020). Balanço Energético Nacional 2020 - Ano Base 2019. *Empresa de Pesquisa Energética*. Disponible in: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Accessed 4 April 2021

- EPE. (2021). Quem Somos. *Empresa de Pesquisa Energética*. Disponible in: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Accessed 8 April 2021
- Eren, B. M., Taspinar, N., & Gokmenoglu, K. K. (2019). The impact of financial development and economic growth on renewable energy consumption: Empirical analysis of India. *Science of The Total Environment*, 663, 189–197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.323>
- Ergun, S. J., Owusu, P. A., & Rivas, M. F. (2019). Determinants of renewable energy consumption in Africa. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(15), 15390–15405. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04567-7>
- Eskeland, G. S., & Harrison, A. E. (2003). Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis. *Journal of Development Economics*, 70(1), 1–23. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00084-6](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00084-6)
- Estanislau, F. B. G. L., Costa, A. L., Velasquez, C. E., & Pereira, C. (2021). Integrated analysis of the Brazilian nuclear energy system. *International Journal of Energy Research*, 45(8), 11526–11537. <https://doi.org/10.1002/er.6452>
- European Commission. (1995a). *For a European Union energy policy - Green Paper*. Luxembourg - Brussels: Publications Office of the European Communities. Disponible in: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/f3a9af74-f359-4d06-9361-c0b06f0fbe61>. Accessed 10 February 2021
- European Commission. (1995b). *White Paper - An energy policy for the European Union*. Brussels. Disponible in: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bc335af2-4ed1-4690-8a0d-797613dbd5f0/language-en>. Accessed 10 February 2021
- European Commission. (2000). *Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply*. Publications Office of the European Union. Brussels. Disponible in: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0ef8d03f-7c54-41b6-ab89-6b93e61fd37c/language-en>. Accessed 2 November 2021
- European Commission. (2006). *Green Paper: A European strategy for sustainable, competitive and secure energy*. Brussels. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52006DC0105>. Accessed 2 November 2021

- European Commission. (2007). *A European strategic energy technology plan (SET-Plan): Towards a low carbon future*. Brussels. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1411399552757&uri=CELEX:52007DC0723>. Accessed 2 November 2021
- European Commission. (2011). *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050*. Brussels. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52011DC0112>. Accessed 3 November 2021
- European Commission. (2012). *Energy roadmap 2050 Energy*. Luxembourg. <https://doi.org/10.2833/10759>
- European Commission. (2013). *Member States' Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment* (No. BE-1049). Brussels. <https://doi.org/10.2765/41957>
- European Parliament. (2019). La energía renovable | Fichas temáticas sobre la Unión Europea | Parlamento Europeo. Disponible in: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/70/la-energia-renovable>. Accessed 26 September 2019
- European Union. (2018a). *DIRECTIVE (EU) 2018/2002 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 11 December 2018 - amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>. Accessed 12 June 2019
- European Union. (2018b). *DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 11 December 2018 - on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>. Accessed 6 June 2019
- European Union. (2018c). *REGULATION (EU) 2018/1999 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 11 December 2018 - on the Governance of the Energy Union and Climate Action*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1999&from=EN>. Accessed 26 September 2019

- European Union. (2018d). *DIRECTIVE (EU) 2018/844 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 30 May 2018 - amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency* . Disponible in: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.156.01.0075.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG). Accessed 3 November 2021
- European Union. (2019a). *REGULATION (EU) 2019/941 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 5 June 2019 - on risk-preparedness in the electricity sector and repealing Directive 2005/89/EC*. Disponible in: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2019.158.01.0001.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2019.158.01.0001.01.ENG). Accessed 3 November 2021
- European Union. (2019b). *REGULATION (EU) 2019/943 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 5 June 2019 - on the internal market for electricity*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0943>. Accessed 3 November 2021
- European Union. (2019c). *DIRECTIVE (EU) 2019/944 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0944>. Accessed 3 November 2021
- European Union. (2019d, June 5). *REGULATION (EU) 2019/942 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL - of 5 June 2019 - establishing a European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators*. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0942>. Accessed 3 November 2021
- Eurostat. (2020). Glossary: Energy dependency rate - Statistics Explained. Disponible in: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Energy\\_dependency\\_rate](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Energy_dependency_rate). Accessed 1 June 2020
- Eurostat. (2021, February 15). Renewable energy statistics - Statistics Explained. *European Commission*. Disponible in: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable\\_energy\\_statistics#Share\\_of\\_renewable\\_energy\\_m](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_m)

- ore\_than\_doubled\_between\_2004\_and\_2019. Accessed 23 April 2021
- Fan, Y. Van, Klemeš, J. J., & Alwi, S. R. W. (2021). The Environmental Footprint of Renewable Energy Transition with Increasing Energy Demand: Eco-cost. In *Chemical Engineering Transactions* (Vol. 86, pp. 199–204).  
<https://doi.org/10.3303/CET2186034>
- Feng, C., Qu, S., Jin, Y., Tang, X., Liang, S., Chiu, A. S. F., & Xu, M. (2019). Uncovering urban food-energy-water nexus based on physical input-output analysis: The case of the Detroit Metropolitan Area. *Applied Energy*, 252(113422), 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113422>
- Feng, K., Hubacek, K., Siu, Y. L., & Li, X. (2014). The energy and water nexus in Chinese electricity production: A hybrid life cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 342–355.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.080>
- Feng, Y. Y., & Zhang, L. X. (2012). Scenario analysis of urban energy saving and carbon abatement policies: A case study of Beijing city, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 632–644.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROENV.2012.01.055>
- Ferng, J.-J. (2002). Toward a scenario analysis framework for energy footprints. *Ecological Economics*, 40(1), 53–69. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00270-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00270-1)
- Ferreira, A., Kunh, S. S., Fagnani, K. C., De Souza, T. A., Tonezer, C., Dos Santos, G. R., & Coimbra-Araújo, C. H. (2018). Economic overview of the use and production of photovoltaic solar energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.102>
- Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Silva, F. P., De Souza, S. N. M., De Souza, S. S., & Ando Junior, O. H. (2018). Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 440–455. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.034>
- Fialho, L. de F., Carneiro, A. de C. O., Carvalho, A. M. M. L., Figueiró, C. G., Silva, C. M. S. da, Magalhães, M. A., & Peres, L. C. (2019). Bio-coal production with agroforestry biomasses in Brazil. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 21(3), 357–366.

<https://doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000308>

Fichter, T., Soria, R., Szklo, A., Schaeffer, R., & Lucena, A. F. P. (2017). Assessing the potential role of concentrated solar power (CSP) for the northeast power system of Brazil using a detailed power system model. *Energy*, *121*, 695–715.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.012>

Floch, S. Le, & Fortin, M. J. (2011). Le souci de l'acceptabilité sociale des projets énergétiques éoliens: entre consentement passif et adhésion volontaire des populations. In *International conference "Landscapes of everyday life: Intersecting perspectives on research and action"* (p. 8). Perpignan (French) and Girona (Spain). Disponible in: <https://hal.inrae.fr/hal-02594808>. Accessed 2 November 2021

Fouquet, R. (2016). Historical energy transitions: Speed, prices and system transformation. *Energy Research & Social Science*, *22*, 7–12.

<https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.014>

Franco, A. de. (2000). *Porque precisamos de desenvolvimento local integrado e sustentável* (4th ed.). Brasilia: Instituto de Política Millennium.

Frankfurt School. (2018). *Global Trends in Renewable Energy Investment 2018*.

Frankfurt. Disponible in: <https://drive.google.com/file/d/1SmhAI-WAcEMqR8R9oL5Fxn0cZ0kfY8Z/view>. Accessed 3 November 2021

Freitas, F. F., De Souza, S. S., Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Alessio, F. J., De Souza, S. N. M., et al. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *101*, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>

Frolova Ignateva, M., Espejo Marin, C., Baraja Rodriguez, E., & Prados Velasco, M. J. (2014). Paisajes emergentes de las energías renovables en España. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, *0(66)*, 223–252.

<https://doi.org/10.21138/bage.1788>

Frolova, M., Frantál, B., Ferrario, V., Centeri, C., Herrero-Luque, D., Grónás, V., et al. (2019). Diverse energy transition patterns in Central and Southern Europe: A comparative study of institutional landscapes in the Czech Republic, Hungary, Italy, and Spain. *Journal of Landscape Ecology*, *17*(Especial Issue), 65–89.



Disponible in:

[http://tajokologiaailapok.szie.hu/pdf/2019\\_SpecialIssue/SpecialIssue2019.pdf](http://tajokologiaailapok.szie.hu/pdf/2019_SpecialIssue/SpecialIssue2019.pdf).

Accessed 21 February 2020

- Frolova, M., Prados, M. J. M.-J., & Nadaï, A. (2015a). Emerging renewable energy landscapes in southern European countries. In M. Frolova, M. J. Prados, & A. Nadaï (Eds.), *Renewable Energies and European Landscapes: Lessons from Southern European Cases* (pp. 3–24). Dordrecht: Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-017-9843-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9843-3_1)
- Frolova, M., Prados, M. J., & Nadaï, A. (2015b). *Renewable energies and European landscapes: Lessons from southern European cases*. (M. Frolova, M.-J. Prados, & A. Nadaï, Eds.) *Renewable Energies and European Landscapes: Lessons from Southern European Cases*. Dordrecht: Springer Netherlands.  
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9843-3>
- Gales, B., Kander, A., Malanima, P., & Rubio, M. (2007). North versus South: Energy transition and energy intensity in Europe over 200 years. *European Review of Economic History*, *11*(2), 219–253. <https://doi.org/10.1017/S1361491607001967>
- Galindo, A. (2021, August 2). What is Nuclear Energy? The Science of Nuclear Power. *IAEA - International Atomic Energy Agency*. Disponible in:  
<https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-energy-the-science-of-nuclear-power>. Accessed 5 October 2021
- Galindo Noguera, A. L., Mendoza Castellanos, L. S., Silva Lora, E. E., & Melian Cobas, V. R. (2018). Optimum design of a hybrid diesel-ORC / photovoltaic system using PSO: Case study for the city of Cujubim, Brazil. *Energy*, *142*, 33–45.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.012>
- García Kerdan, I., Giarola, S., & Hawkes, A. (2019). A novel energy systems model to explore the role of land use and reforestation in achieving carbon mitigation targets: A Brazil case study. *Journal of Cleaner Production*, *232*, 796–821.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.345>
- García Kerdan, I., Jalil-Vega, F., Toole, J., Gulati, S., Giarola, S., & Hawkes, A. (2019). Modelling cost-effective pathways for natural gas infrastructure: A southern Brazil case study. *Applied Energy*, *255*, 113799.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113799>

- Garlet, T. B., Ribeiro, J. L. D., de Souza Savian, F., & Mairesse Siluk, J. C. (2019). Paths and barriers to the diffusion of distributed generation of photovoltaic energy in southern Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *111*, 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.013>
- Ge, M., Friedrich, J., & Vigna, L. (2020, February 6). 4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors. *World Resources Institute*. Disponible in: <https://www.wri.org/insights/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-and-sectors>. Accessed 8 September 2021
- Geels, F. W., Schwanen, T., Sorrell, S., Jenkins, K., & Sovacool, B. K. (2018). Reducing energy demand through low carbon innovation: A sociotechnical transitions perspective and thirteen research debates. *Energy Research and Social Science*, *40*, 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.003>
- Geller, H., Harrington, P., Rosenfeld, A. H., Tanishima, S., & Unander, F. (2006). Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries. *Energy Policy*, *34*(5), 556–573. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.010>
- General Assembly. RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development (2015). United Nations - UN. Disponible in: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>. Accessed 19 February 2020
- Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, *12*(1), 78–104. <https://doi.org/10.1080/09692290500049805>
- Ghasemi-Mobtaker, H., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K. wing, & Nabavi-Pelesaraei, A. (2020). Application of photovoltaic system to modify energy use, environmental damages and cumulative exergy demand of two irrigation systems- A case study: Barley production of Iran. *Renewable Energy*, *160*, 1316–1334. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2020.07.047>
- Giacone, E., & Mancò, S. (2012). Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy*, *38*(1), 331–345. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.054>
- Gielen, D., & Taylor, P. (2009). Indicators for industrial energy efficiency in India.

- Energy*, 34(8), 962–969. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.11.008>
- Goldstein, B., Birkved, M., Quitzau, M.-B., & Hauschild, M. (2013). Quantification of urban metabolism through coupling with the life cycle assessment framework: concept development and case study. *Environmental Research Letters*, 8(3), 1–14. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035024>
- Gomes, A. J. de L., & Gomes, J. L. dos S. (2018). Deep-seated Geothermal Resources of the Parana Basin. *International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applications*, 1(1), 52–58. <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v1i1.24>
- Gomes Relva, S., Oliveira da Silva, V., Peyerl, D., Veiga Gimenes, A. L., & Molares Udaeta, M. E. (2020). Regulating the electro-energetic use of natural gas by gas-to-wire offshore technology: Case study from Brazil. *Utilities Policy*, 66, 101085. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101085>
- Gómez-Calvet, R., & Martínez-Duart, J. M. (2019). On the Assessment of the 2030 Power Sector Transition in Spain. *Energies*, 12(7), 1369. <https://doi.org/10.3390/en12071369>
- González-Eguino, M. (2015). Energy poverty: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.013>
- González, M. O. A., Gonçalves, J. S., & Vasconcelos, R. M. (2017). Sustainable development: Case study in the implementation of renewable energy in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 142, 461–475. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.052>
- Greene, W. H. (2012). *Econometric analysis*. (Donna Battista, Ed.) (7th ed.). New York: Prentice Hall.
- Grübler, A., Nakićenović, N., & Victor, D. G. (1999). Dynamics of energy technologies and global change. *Energy Policy*, 27(5), 247–280. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(98\)00067-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(98)00067-6)
- Grubler, A., Wilson, C., & Nemet, G. (2016). Apples, oranges, and consistent comparisons of the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 22, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.015>
- Guerini Filho, M., Lumi, M., Hasan, C., Marder, M., Leite, L. C. S., & Konrad, O.

- (2018). Energy recovery from wine sector wastes: A study about the biogas generation potential in a vineyard from Rio Grande do Sul, Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 29, 44–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.006>
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2010). *Econometría* (5<sup>a</sup>). Ciudad de México: McGraw-Hill. Disponible in:  
[https://scalleruizunp.files.wordpress.com/2015/04/econometria\\_-\\_damodar\\_n-\\_gujarati.pdf](https://scalleruizunp.files.wordpress.com/2015/04/econometria_-_damodar_n-_gujarati.pdf). Accessed 5 September 2019
- Gurgel, A. C., Paltsev, S., & Breviglieri, G. V. (2019). The impacts of the Brazilian NDC and their contribution to the Paris agreement on climate change. *Environment and Development Economics*, 24(04), 395–412.  
<https://doi.org/10.1017/S1355770X1900007X>
- Gürlük, S. (2009). Economic growth, industrial pollution and human development in the Mediterranean Region. *Ecological Economics*, 68(8–9), 2327–2335.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2009.03.001>
- Gyamfi, B. A., Adedoyin, F. F., Bein, M. A., Bekun, F. V., & Agozie, D. Q. (2021). The anthropogenic consequences of energy consumption in E7 economies: Juxtaposing roles of renewable, coal, nuclear, oil and gas energy: Evidence from panel quantile method. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126373.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126373>
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1999). *Análisis Multivariante* (Vol. 491.). Madrid: Prentice Hall.
- Han, S., Zhang, B., Sun, X., Han, S., & Höök, M. (2017). China's energy transition in the power and transport sectors from a substitution perspective. *Energies*, 10(5), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en10050600>
- Hannon, B. (1973). The structure of ecosystems. *Journal of Theoretical Biology*, 41(3), 535–546. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(73\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0022-5193(73)90060-X)
- Hannon, B. (2010). The role of input-output analysis of energy and ecologic systems: In the early development of ecological economics - A personal perspective. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1185(1), 30–38.  
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05165.x>

- Harrod, R. F. (1939). An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 49(193), 14–33. <https://doi.org/10.2307/2225181>
- Harun, M., Ahmad, S. A., Sulaiman, N., & Tria, D. (2021). Sectoral Energy-CO2 Emissions Using an Environmental Input-Output Framework. *International Journal of Business and Society*, 22(2), 1066–1075. <https://doi.org/10.33736/ijbs.3782.2021>
- Hashemizadeh, A., Bui, Q., & Kongbuamai, N. (2021). Unpacking the role of public debt in renewable energy consumption: New insights from the emerging countries. *Energy*, 224, 120187. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120187>
- Hastuti, S. H., Hartono, D., Putranti, T. M., & Imansyah, M. H. (2021). The drivers of energy-related CO2 emission changes in Indonesia: structural decomposition analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9965–9978. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11414-7>
- Hatsopoulos, G. N., Keenan, J. H., & Gyftopoulos, E. P. (1974). The Fuel Shortage and Thermodynamics: The Entropy Crisis. In M. S. Macrakis (Ed.), *Energy Demand, Conservation and Institutional Problems* (pp. 455–466). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hausman, J. A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. <https://doi.org/10.2307/1913827>
- He, H., Reynolds, C. J., Li, L., & Boland, J. (2019). Assessing net energy consumption of Australian economy from 2004–05 to 2014–15: Environmentally-extended input-output analysis, structural decomposition analysis, and linkage analysis. *Applied Energy*, 240, 766–777. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.081>
- Herendeen, R. A. (1973). *An Energy Input-Output Matrix for the United States, 1963: User's Guide*. University of Illinois. Disponible in: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=An Energy Input-Output Matrix for the United States%2C 1963%3A User%27s Guide&author=R. Herendeen&publication\\_year=1973](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=An+Energy+Input-Output+Matrix+for+the+United+States%2C+1963%3A+User%27s+Guide&author=R.+Herendeen&publication_year=1973). Accessed 20 February 2020
- Herendeen, R. A. (1978). Input-output techniques and energy cost of commodities. *Energy Policy*, 6(2), 162–165. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(78\)90039-3](https://doi.org/10.1016/0301-4215(78)90039-3)
- Herendeen, R. A. (2004). Energy analysis and EMERGY analysis—a comparison.

- Ecological Modelling*, 178(1–2), 227–237.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.017>
- Herrera, S., & Wilkinson, J. (2021). Sugar-Cane Bioelectricity in Brazil: Reinforcing the Meta-Discourses of Bioeconomy and Energy Transition. In *Bioeconomy and Global Inequalities* (pp. 151–171). Cham: Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-68944-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-68944-5_8)
- Herring, H. (2006). Energy efficiency—a critical view. *Energy*, 31(1), 10–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2004.04.055>
- Hinrichs-Rahlwes, R. (2013). *Sustainable Energy Policies for Europe: Towards 100% Renewable Energy* (1st ed.). London: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b15934>
- Hobsbawm, E. J. (1999). *Industry and Empire: From 1750 to the Present Day*. (C. Wrigley, Ed.). London: The New Press. Disponible in:  
[https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=WPRaJIK5LNoC&oi=fnd&pg=PA34&dq=Hobsbawm,+Eric+J.+Industry+and+Empire+The+Birth+of+the+Industrial+Revolution&ots=CHWLhhm4Nn&sig=P2SZ7IFn8YkRXjlOnQGHBLreygw&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Hobsbawm%2C+Eric+J.+Industry+a](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=WPRaJIK5LNoC&oi=fnd&pg=PA34&dq=Hobsbawm,+Eric+J.+Industry+and+Empire+The+Birth+of+the+Industrial+Revolution&ots=CHWLhhm4Nn&sig=P2SZ7IFn8YkRXjlOnQGHBLreygw&redir_esc=y#v=onepage&q=Hobsbawm%2C+Eric+J.+Industry+a). Accessed 9 September 2021
- Hobsbawm, E. J. (2010). *Age Of Revolution: 1789-1848*. London: Hachette UK Company. Disponible in: [https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=aaOyLRezGKgC&oi=fnd&pg=PT4&dq=Eric+Hobsbawm,+The+Age+of+Revolution:+Europe+1789-1848,+Weidenfeld+%26+Nicolson+Ltd.&ots=\\_rQYZiV9nW&sig=7dYCqffd2GUEzmVE1mhx6MIG2ps&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=aaOyLRezGKgC&oi=fnd&pg=PT4&dq=Eric+Hobsbawm,+The+Age+of+Revolution:+Europe+1789-1848,+Weidenfeld+%26+Nicolson+Ltd.&ots=_rQYZiV9nW&sig=7dYCqffd2GUEzmVE1mhx6MIG2ps&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). Accessed 9 September 2021
- Hochstetler, K., & Ricardo Tranjan, J. (2016). Environment and Consultation in the Brazilian Democratic Developmental State. *Comparative Politics*, 48(4), 497–516.  
<https://doi.org/10.5129/001041516819197593>
- Hoekstra, R. (2005). *Economic growth, material flows and the environment: new applications of structural decomposition analysis and physical input-output tables*. Edward Elgar Publishing. Disponible in:  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=4TcnJ4F7rDUC&oi=fnd&pg=PP15&dq=Economic+Growth,+Material+Flows+And+the+Environment:+New+Applic>

ations+of+Structural+Decomposition+Analysis+And+Physical+Input-  
Output+Tables.&ots=Xn\_8dWTYgr&sig=FZhkUAx-vx\_f9JJQn3mVQ

- Hoekstra, Rutger, & van den Bergh, J. C. J. M. (2003). Comparing structural decomposition analysis and index. *Energy Economics*, 25(1), 39–64.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(02\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(02)00059-2)
- Hollweg, C. H., & Rocha, N. (2018). *GVC Participation and Deep Integration in Brazil* (No. 8646). (World Bank Group, Ed.) *Policy Research Working Paper*. Washington, D.C.: World Bank, Washington, DC. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-8646>
- Horowitz, M. J., & Bertoldi, P. (2015). A harmonized calculation model for transforming EU bottom-up energy efficiency indicators into empirical estimates of policy impacts. *Energy Economics*, 51, 135–148.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.05.020>
- IBGE. (2020). Contas nacionais. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. IBGE. Disponible in: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais.html>. Accessed 21 December 2020
- IEA. (2004). *Energy Statistics Manual*. *OECDiLibrary*. Paris: OECD.  
<https://doi.org/10.1787/9789264033986-EN>
- IEA. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. *Agencia Internacional de Energía*. Paris. Disponible in: <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00333.pdf>
- IEA. (2017). Meeting climate change goals through energy efficiency. International Energy Agency. Disponible in: <https://webstore.iea.org/download/direct/471?fileName=MeetingClimateChangeGoalsEnergyEfficiencyInsightsBrief.pdf>. Accessed 3 June 2020
- IEA. (2019a). World Energy Outlook 2019. Disponible in: [www.iea.org/weo](http://www.iea.org/weo). Accessed 18 August 2021
- IEA. (2019b). Energy security - Areas of work. Disponible in: <https://www.iea.org/areas-of-work/energy-security>. Accessed 2 June 2020
- IEA. (2020a). Data & Statistics - International Energy Agency. Disponible in: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Accessed 11 February 2020

- IEA. (2020b). World Energy Balances Highlights (2020 edition). International Energy Agency. Disponível in: <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics>. Accessed 4 February 2021
- IEA. (2020c). World Energy Outlook 2020. Disponível in: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Accessed 18 August 2021
- IEA, IRENA, UNSD, World Bank, & WHO. (2021). Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. *Energy Sector Management Assistance Programme - ESMAP*. Washington DC. Disponível in: [https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/2021\\_tracking\\_sdg7\\_report.pdf](https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/2021_tracking_sdg7_report.pdf). Accessed 16 September 2021
- INB. (2021a). História. *Indústrias Nucleares do Brasil S.A.* Disponível in: <https://www.inb.gov.br/A-INB/Quem-somos/História>. Accessed 8 April 2021
- INB. (2021b). Institucional. *Indústrias Nucleares do Brasil S.A.* Disponível in: <http://www.inb.gov.br/Acesso-a-Informacao/Institucional>. Accessed 8 April 2021
- Inikori, J. E. (2002). *Africans and the Industrial Revolution in England: A Study in International Trade and Economic Development*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. Disponível in: [https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=IRJDv5tmF1MC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Africans+and+the+Industrial+Revolution+in+England,+Cambridge+University+Press&ots=1hqmm3DEv2&sig=nMHoQmcFE7WDUvdYa9jnwSvyiQU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Africans and the Industrial Re](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=IRJDv5tmF1MC&oi=fnd&pg=PP2&dq=Africans+and+the+Industrial+Revolution+in+England,+Cambridge+University+Press&ots=1hqmm3DEv2&sig=nMHoQmcFE7WDUvdYa9jnwSvyiQU&redir_esc=y#v=onepage&q=Africans+and+the+Industrial+Re). Accessed 9 September 2021
- IPEA. (2020). Base de dados macroeconômica, regional e social. *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada*. IPEA. Disponível in: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Accessed 21 December 2020
- Isoaho, K., & Karhunmaa, K. (2019). A critical review of discursive approaches in energy transitions. *Energy Policy*, 128, 930–942. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.043>
- Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, 151, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2017.02.001>
- IUCN, UNEP, & WWF. (1980). World conservation strategy: Living resource



conservation for sustainable development. Gland, Switzerland. Disponible in: <https://www.iucn.org/es/content/world-conservation-strategy-living-resource-conservation-sustainable-development>. Accessed 10 September 2021

Jacobsen, H. K. (2000). Energy Demand, Structural Change and Trade: A Decomposition Analysis of the Danish Manufacturing Industry. *Economic Systems Research*, 12(3), 319–343. <https://doi.org/10.1080/09535310050120916>

Jaiswal, D., De Souza, A. P., Larsen, S., LeBauer, D. S., Miguez, F. E., Sparovek, G., et al. (2017). Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. *Nature Climate Change*, 7(11), 788–792. <https://doi.org/10.1038/nclimate3410>

Jenne, C. A., & Cattell, R. K. (1983). Structural change and energy efficiency in industry. *Energy Economics*, 5(2), 114–123. [https://doi.org/10.1016/0140-9883\(83\)90018-X](https://doi.org/10.1016/0140-9883(83)90018-X)

Jensen, V. M. H. (1996). *Trade and the environment: The pollution haven hypothesis and the industrial flight hypothesis; Some perspectives on theory and empirics*. Oslo: University of Oslo, Centre for Development and the Environment.

Jonsson, K. (2005). Cross-sectional Dependency and Size Distortion in a Small-sample Homogeneous Panel Data Unit Root Test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 67(3), 369–392. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2005.00124.x>

Joppert, C. L., dos Santos, M. M., Costa, H. K. M., dos Santos, E. M., & Simões Moreira, J. R. (2017). Energetic shift of sugarcane bagasse using biogas produced from sugarcane vinasse in Brazilian ethanol plants. *Biomass and Bioenergy*, 107, 63–73. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.09.011>

Kapp, K. W. (1978). *The Social Costs of Business Enterprise*. Nottingham: Spokesman Books. Disponible in: [http://www.kwilliam-kapp.de/documents/SCOBE\\_000.pdf](http://www.kwilliam-kapp.de/documents/SCOBE_000.pdf). Accessed 1 February 2019

Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2010). *The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues* (No. 5430). Disponible in: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=1682130](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1682130). Accessed 10 June 2019

Keenan, J. H., Hatsopoulos, G. N., & Gyftopoulos, E. P. (1974). Principles of

- thermodynamics. *The New Encyclopaedia Britannica*, 15, 290–315. Disponible in: <http://elias-gyftopoulos-memorial-collection.unibs.it/EPGyftopoulos-papers/m32-KeenanHatsopoulosGyftopoulos-EncyclopaediaBritannica-1974.pdf>. Accessed 31 May 2020
- Kern, F., Kivimaa, P., & Martiskainen, M. (2017). Policy packaging or policy patching? The development of complex energy efficiency policy mixes. *Energy Research & Social Science*, 23, 11–25. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.11.002>
- Khan, H., Khan, I., & Binh, T. T. (2020). The heterogeneity of renewable energy consumption, carbon emission and financial development in the globe: A panel quantile regression approach. *Energy Reports*, 6, 859–867. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.04.002>
- Khanali, M., Akram, A., Behzadi, J., Mostashari-Rad, F., Saber, Z., Chau, K. wing, & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Multi-objective optimization of energy use and environmental emissions for walnut production using imperialist competitive algorithm. *Applied Energy*, 284, 116342. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.116342>
- Kharrazi, A., Kraines, S., Hoang, L., & Yarime, M. (2014). Advancing quantification methods of sustainability: A critical examination energy, exergy, ecological footprint, and ecological information-based approaches. *Ecological Indicators*, 37(PART A), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.003>
- Khosravi, A., Machado, L., & Nunes, R. O. (2018). Time-series prediction of wind speed using machine learning algorithms: A case study Osorio wind farm, Brazil. *Applied Energy*, 224, 550–566. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.043>
- Kim, T.-J., & Tromp, N. (2021). Carbon emissions embodied in China-Brazil trade: Trends and driving factors. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126206. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126206>
- Kindleberger, C. P. (1977). *Economic Development*. (B. Herrick, Ed.) (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Klessmann, C., Held, A., Rathmann, M., & Ragwitz, M. (2011). Status and perspectives of renewable energy policy and deployment in the European Union—What is needed to reach the 2020 targets? *Energy Policy*, 39(12), 7637–7657.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.038>

- Köberle, A. C., Rochedo, P. R. R., Lucena, A. F. P., Szklo, A., & Schaeffer, R. (2020). Brazil's emission trajectories in a well-below 2 °C world: the role of disruptive technologies versus land-based mitigation in an already low-emission energy system. *Climatic Change*, *162*(4), 1823–1842. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02856-6>
- Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., et al. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, *31*, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>
- Köne, A. I., & Büke, T. (2010). Forecasting of CO2 emissions from fuel combustion using trend analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *14*(9), 2906–2915. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2010.06.006>
- Koumparou, D. (2018a). The Governance of the Sociogenic Climate Change: Perspectives and Challenges. *Review of Social Studies*, *5*(1), 25–43. <https://doi.org/10.21586/ross0000055>
- Koumparou, D. (2018b). Energy Transition: when energy politics meets community. In *3rd HAEE Energy Transition Symposium*. Athens, Greece: Hellenic Association for Energy Economics. Disponible in: [https://www.haee.gr/media/4139/energy-transition\\_publish\\_14\\_5\\_2018.pdf](https://www.haee.gr/media/4139/energy-transition_publish_14_5_2018.pdf). Accessed 19 October 2021
- Kraft, J., & Kraft, A. (1978). On the Relationship Between Energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, *3*(2), 401–403. <https://doi.org/10.2307/24806805>
- Krauss, W., Dracklé, D., & Hinkalbein, O. (2011). Infrastructures of German Wind Power Landscapes. In *International Conference “Landscapes of everyday life: Intersecting perspectives on research and action.”* Perpignan (French) and Girona (Spain).
- Kuznets, S. (1955). Economic Growth and Income Inequality. *The American Economic Review*, *45*(1), 1–28. Disponible in: <https://www.jstor.org/stable/1811581>. Accessed 8 November 2018
- Lampreia, J., de Araújo, M. S. M., de Campos, C. P., Freitas, M. A. V., Rosa, L. P.,

- Solari, R., et al. (2011). Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7), 3432–3444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.022>
- Lan, J., Malik, A., Lenzen, M., McBain, D., & Kanemoto, K. (2016). A structural decomposition analysis of global energy footprints. *Applied Energy*, 163, 436–451. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.178>
- Lara Filho, M. O. de, Unsihuay-Vila, C., & Silva, V. R. G. R. da. (2019). Technical and economic viability of the installation of a hybrid solar-wind generation system in a Brazilian industry. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 62(spe), 19190005. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2019190005>
- Leach, G. (1992). The energy transition. *Energy Policy*, 20(2), 116–123. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(92\)90105-B](https://doi.org/10.1016/0301-4215(92)90105-B)
- Leal, F. I., Rego, E. E., & de Oliveira Ribeiro, C. (2017). Levelized cost analysis of thermoelectric generation in Brazil: A comparative economic and policy study with environmental implications. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 44, 191–201. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2017.04.017>
- Leal, F. I., Rego, E. E., & Ribeiro, C. de O. (2019). Natural gas regulation and policy in Brazil: Prospects for the market expansion and energy integration in Mercosul. *Energy Policy*, 128, 817–829. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.030>
- Lee, Y.-M., & Tzeng, Y.-E. (2008). Development and Life-Cycle Inventory Analysis of Wind Energy in Taiwan. *Journal of Energy Engineering*, 134(2), 53–57. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9402\(2008\)134:2\(53\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9402(2008)134:2(53))
- Lefèvre, J., Wills, W., & Hourcade, J.-C. (2018). Combining low-carbon economic development and oil exploration in Brazil? An energy–economy assessment. *Climate Policy*, 18(10), 1286–1295. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1431198>
- Lenhard, L. G., Andersen, S. M., & Coimbra-Araújo, C. H. (2018). Energy-Environmental Implications Of Shale Gas Exploration In Paraná Hydrological Basin, Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.042>
- Lenz, A. M., Colle, G., de Souza, S. N. M., Prior, M., Camargo Nogueira, C. E., dos

- Santos, R. F., et al. (2017). Evaluation of three systems of solar thermal panel using low cost material, tested in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 167, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.149>
- Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., & Geschke, A. (2012). Mapping the Structure of the World Economy. *Environmental Science & Technology*, 46(15), 8374–8381. <https://doi.org/10.1021/es300171x>
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). Building eora: a global multi-region input–output database at high country and sector resolution. *Economic Systems Research*, 25(1), 20–49. <https://doi.org/10.1080/09535314.2013.769938>
- Lenzen, M., Pade, L.-L., & Munksgaard, J. (2004). CO 2 Multipliers in Multi-region Input-Output Models. *Economic Systems Research*, 16(4), 391–412. <https://doi.org/10.1080/0953531042000304272>
- Lenzen, M., Wier, M., Cohen, C., Hayami, H., Pachauri, S., & Schaeffer, R. (2006). A comparative multivariate analysis of household energy requirements in Australia, Brazil, Denmark, India and Japan. *Energy*, 31(2–3), 181–207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.01.009>
- Leontief, W. W. (1936). Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. *The Review of Economics and Statistics*, 18(3), 105–125. <https://doi.org/10.2307/1927837>
- Leontief, W. W. (1941). *The structure of the American economy, 1919-1939: an empirical application of equilibrium analysis*. Cambridge: Harvard University Press. Disponible in: [https://www.jstor.org/stable/1906819?casa\\_token=gUV0gW9mfq4AAAAA:rTRF7pbQZLsgwt-a9GbS\\_XI7ZySdfNBBnjYcM7t\\_kdkebQyaiTmEJl8XW0BoXcPczNU3jGv5xS3cvH1NXzbqgbFU0KGEznSjWASFnaahpqbZ3PNqYX\\_s](https://www.jstor.org/stable/1906819?casa_token=gUV0gW9mfq4AAAAA:rTRF7pbQZLsgwt-a9GbS_XI7ZySdfNBBnjYcM7t_kdkebQyaiTmEJl8XW0BoXcPczNU3jGv5xS3cvH1NXzbqgbFU0KGEznSjWASFnaahpqbZ3PNqYX_s)
- Leontief, W. W. (1970). Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3), 262–271. <https://doi.org/10.2307/1926294>
- Leontief, W. W., & Ford, D. (1972). Air pollution and economic structure: empirical

- results of input-output computations. In A. Bródy & A. P. Carter (Eds.), *Input-output techniques* (pp. 9–30). Amsterdam: North Holland.
- Li, B., Zhou, M., & Bai, Y. (2021). The relationship and trend of interregional virtual water trade based on MRIO model. *Water Supply*, 00(0).  
<https://doi.org/10.2166/ws.2021.361>
- Li, J. S., Xia, X. H., Chen, G. Q., Alsaedi, A., & Hayat, T. (2016). Optimal embodied energy abatement strategy for Beijing economy: Based on a three-scale input-output analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1602–1610.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.090>
- Li, Yilin, Chen, B., Chen, G., Meng, J., & Hayat, T. (2020). An embodied energy perspective of urban economy: A three-scale analysis for Beijing 2002–2012 with headquarter effect. *Science of The Total Environment*, 732, 139097.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139097>
- Li, Yumeng, Chen, L., Liang, S., Qi, J., Zhou, H., Feng, C., et al. (2020). Spatially Explicit Global Hotspots Driving China’s Mercury Related Health Impacts. *Environmental Science and Technology*, 54(22), 14547–14557.  
[https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C04658/SUPPL\\_FILE/ES0C04658\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACS.EST.0C04658/SUPPL_FILE/ES0C04658_SI_001.PDF)
- Liang, S., Chang, W., Zhou, H., Qi, J., Li, Y., Feng, C., & Wang, S. (2021). Global Economic Structure Transition Boosts Atmospheric Mercury Emissions in China. *Earth’s Future*, 9(6), 1–17. <https://doi.org/10.1029/2021EF002076>
- Libanori, G. H. D., Pinheiro, V. de C. N., & Francato, A. L. (2018). Hybrid power plants as an alternative to fit pumped-storage hydro in Brazilian electricity sector regulatory framework. *International Journal of Energy Research*, 42(15), 4898–4908. <https://doi.org/10.1002/er.4224>
- Liberato, R. de C. (2008). Revisando os modelos e as teorias da análise regional. *Caderno de Geografia*, 18(29), 127–135. Disponible in:  
<http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/3562>. Accessed 10 November 2021
- Lidelöw, S., Örn, T., Luciani, A., & Rizzo, A. (2019). Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. *Sustainable Cities and Society*, 45, 231–

242. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.029>

- Lilliestam, J., Thonig, R., Späth, L., Caldés, N., Lechón, Y., Del Río, P., et al. (2019). *Policy pathways for the energy transition in Europe and selected European countries. Deliverable 7.2 (MUSTEC), Deliverable 1 (SCCER JA IDEA)*. Zürich. Disponible in: [http://mustec.eu/sites/default/files/reports/Lilliestam\\_et\\_al\\_2019\\_Policy\\_pathways\\_for\\_the\\_energy\\_transition\\_in\\_Europe\\_and\\_selected\\_European\\_countries.pdf](http://mustec.eu/sites/default/files/reports/Lilliestam_et_al_2019_Policy_pathways_for_the_energy_transition_in_Europe_and_selected_European_countries.pdf). Accessed 11 March 2019
- Lima, L. P. de, Ribeiro, G. B. de D., & Perez, R. (2018). The energy mix and energy efficiency analysis for Brazilian dairy industry. *Journal of Cleaner Production*, *181*, 209–216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.221>
- Lima, M. A., Mendes, L. F. R., Mothé, G. A., Linhares, F. G., de Castro, M. P. P., da Silva, M. G., & Sthel, M. S. (2020). Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, *33*, 100504. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504>
- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption - Economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *40*, 111–117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.128>
- Liu, H., Lackner, K., & Fan, X. (2020). Value-added involved in CO2 emissions embodied in global demand-supply chains. *Journal of Environmental Planning and Management*, *64*(1), 76–100. <https://doi.org/10.1080/09640568.2020.1750352>
- Liu, X., Yu, L., Cai, W., Ding, Q., Hu, W., Peng, D., et al. (2021). The land footprint of the global food trade: Perspectives from a case study of soybeans. *Land Use Policy*, *111*(105764), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105764>
- Lowitzsch, J. (Ed.). (2019). *Energy transition: Financing consumer co-ownership in renewables* (1st ed.). Cham: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93518-8>
- Lucena, A. F. P., Clarke, L., Schaeffer, R., Szklo, A., Rochedo, P. R. R., Nogueira, L. P. P., et al. (2016). Climate policy scenarios in Brazil: A multi-model comparison for energy. *Energy Economics*, *56*, 564–574. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.02.005>
- Lucena, J. de A. Y., & Lucena, K. Â. A. (2019). Wind energy in Brazil: an overview

- and perspectives under the triple bottom line. *Clean Energy*, 3(2), 69–84.  
<https://doi.org/10.1093/ce/zkz001>
- Machado, G., Schaeffer, R., & Worrell, E. (2001). Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input–output approach. *Ecological Economics*, 39(3), 409–424. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00230-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00230-0)
- Machado, G. V., & Schaeffer, R. (1997). Patterns of energy use in the Brazilian economy: Can the profile of Brazilian exports determine the future energy efficiency of its industry? In *Summer Study on Energy Efficiency in Industry: How Industry Will Procure Energy Efficiency Services in the 21st Century* (pp. 173–184). Washington, DC (United States): ACEEE. Disponible in: [https://www.aceee.org/files/proceedings/1997/data/papers/SS97\\_Panel1\\_Paper15.pdf](https://www.aceee.org/files/proceedings/1997/data/papers/SS97_Panel1_Paper15.pdf). Accessed 28 January 2021
- Maciel De Melo, F., Silvestre, A., & Carvalho, M. (2019). Carbon footprints associated with electricity generation from biomass syngas and diesel. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(7), 1391–1397. Disponible in: <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/>; <http://www.eemj.eu>. Accessed 12 April 2021
- Marconi, N., Rocha, I. L., & Magacho, G. R. (2016). Sectoral capabilities and productive structure: An input-output analysis of the key sectors of the Brazilian economy. *Brazilian Journal of Political Economy*, 36(3), 470–492.  
<https://doi.org/10.1590/0101-31572016v36n03a02>
- Marinaş, M.-C., Dinu, M., Socol, A.-G., & Socol, C. (2018). Renewable energy consumption and economic growth. Causality relationship in Central and Eastern European countries. *PLOS ONE*, 13(10), 1–29.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202951>
- Markandya, A., Pedroso-Galinato, S., & Streimikiene, D. (2006). Energy intensity in transition economies: Is there convergence towards the EU average? *Energy Economics*, 28(1), 121–145. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2005.10.005>
- Marlay, R. C. (1984). Trends in industrial use of energy. *Science*, 226(4680), 1277–1283. <https://doi.org/10.1126/science.226.4680.1277>
- Marra, A., & Colantonio, E. (2021). The path to renewable energy consumption in the European Union through drivers and barriers: A panel vector autoregressive



- approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 76(100958), 1–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100958>
- Marta-Almeida, M., Cirano, M., Guedes Soares, C., & Lessa, G. C. (2017). A numerical tidal stream energy assessment study for Baía de Todos os Santos, Brazil. *Renewable Energy*, 107, 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.047>
- Marx, K. (1867). Capital: A Critique of Political Economy (I): The Process of Capitalist Production. In *History of Economic Thought Books* (Vol. 1). McMaster University Archive for the History of Economic Thought. Disponible in:  
<https://socialsciences.mcmaster.ca/econ/ugcm/3ll3/marx/cap1/index.html>.  
Accessed 12 November 2021
- Maurício Araújo, A., Antônio Coutinho Silva, A., Requião Ferreira, C., Cordeiro de Araujo Bezerra, C., Leal dos Santos, C., Corte Real Fernandes, E., et al. (2017). Optimization of a standalone PV-wind-diesel-battery hybrid system feasible for a university restaurant in Recife, Brazil. In *Proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering*. Curitiba, PR, Brazil: ABCM. <https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEM2017.COB17-0238>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books. Disponible in:  
<https://www.clubofrome.org/publication/the-limits-to-growth/>. Accessed 9 November 2021
- Meisen, P., & Hubert, J. (2010). *Renewable Energy Potential of Brazil*. Disponible in:  
[www.geni.orgpeter@geni.org](http://www.geni.orgpeter@geni.org). Accessed 5 April 2021
- Mele, M. (2019). Renewable Energy Consumption: The Effects on Economic Growth in Mexico. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(3), 269–273. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7460>
- Mendes, L. F. R., & Sthel, M. S. (2017). Thermoelectric Power Plant for Compensation of Hydrological Cycle Change: Environmental Impacts in Brazil. *Case Studies in the Environment*, 1(1), 1–7. <https://doi.org/10.1525/cse.2017.000471>
- Mendoza Martinez, C. L., Alves Rocha, E. P., Oliveira Carneiro, A. de C., Borges Gomes, F. J., Ribas Batalha, L. A., Vakkilainen, E., & Cardoso, M. (2019).

- Characterization of residual biomasses from the coffee production chain and assessment the potential for energy purposes. *Biomass and Bioenergy*, 120, 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.11.003>
- Meng, J., Hu, X., Chen, P., Coffman, D., & Han, M. (2020). The unequal contribution to global energy consumption along the supply chain. *Journal of Environmental Management*, 268, 110701. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110701>
- Miller, C. A., Iles, A., & Jones, C. F. (2013). The Social Dimensions of Energy Transitions. *Science as Culture*, 22(2), 135–148. <https://doi.org/10.1080/09505431.2013.786989>
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input–Output Analysis. Input-Output Analysis: Foundations and Extensions, Second Edition* (Second Edi.). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>
- Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge of Spain. (2020). *Integrated National Energy and Climate Plan 2021-2030 - Spain*. European Commission. Disponible in: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_final_necp_main_en.pdf). Accessed 21 June 2021
- Ministry of Economic Development of Italy, Ministry of the Environment and Protection of Natural Resources and the Sea of Italy, & Ministry of Infrastructure and Transport of Italy. (2019). *Integrated National Energy and Climate Plan - Italy*. European Commission. Disponible in: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/it\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/it_final_necp_main_en.pdf). Accessed 21 June 2021
- Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic, & Ministry of the Environment of the Czech Republic. (2019). *National Energy and Climate Plan of the Czech Republic*. European Commission. Disponible in: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/cs\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/cs_final_necp_main_en.pdf). Accessed 21 June 2021
- Ministry of Innovation and Technology of Hungary. (2019). *National Energy and Climate Plan of Hungary*. European Commission. Disponible in: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu\\_final\\_necp\\_main\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/hu_final_necp_main_en.pdf). Accessed 21 June 2021

- Miranda, A. C., da Silva Filho, S. C., Tambourgi, E. B., CurveloSantana, J. C., Vanalle, R. M., & Guerhardt, F. (2018). Analysis of the costs and logistics of biodiesel production from used cooking oil in the metropolitan region of Campinas (Brazil). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88, 373–379.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.028>
- MME. (2020a). Brazilian Energy Balance - EPE. *Ministério de Minas e Energia*.  
Disponível in: <https://www.epe.gov.br/en/publications/publications/brazilian-energy-balance>. Accessed 1 June 2021
- MME. (2020b). Atlas of Energy Efficiency. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível in: [https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-221/Atlas\\_English\\_04\\_02\\_2021.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-en/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-221/Atlas_English_04_02_2021.pdf). Accessed 31 May 2021
- MME. (2021a). Estrutura Organizacional. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível in: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/estrutura-organizacional>. Accessed 8 April 2021
- MME. (2021b). Lei nº 13.575 de 26 de dezembro de 2017. Publicado no DOU de 27 de dezembro de 2017. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível in: [https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei\\_n\\_13-575-2017.pdf/view](https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei_n_13-575-2017.pdf/view). Accessed 8 April 2021
- MME. (2021c). Legislação. *Ministério de Minas e Energia - Governo Federal*.  
Disponível in: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao>.  
Accessed 6 April 2021
- MME. (2021d). Lei nº 3.890 de 25 de abril de 1961. Publicado no DOU de 28 de abril de 1961. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível in: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/legislacao/leis/lei-3-890-de-25-04-1961-publicado-no-dou-de-28-04-1961.pdf/view>. Accessed 8 April 2021
- MME. (2021e, March 10). O Ministério. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível in: <https://www.gov.br/mme/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/ministerio>.  
Accessed 8 April 2021
- Mondal, M. A. H., Bryan, E., Ringler, C., Mekonnen, D., & Rosegrant, M. (2018). Ethiopian energy status and demand scenarios: Prospects to improve energy

- efficiency and mitigate GHG emissions. *Energy*, 149, 161–172.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.067>
- Montoya, Marco Antônio, Allegretti, G., Sleimann Bertussi, L. A., & Talamini, E. (2021). Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade. *Journal of Cleaner Production*, 127700. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127700>
- Montoya, Marco Antonio, Lopes, R. L., & Guilhoto, J. J. M. (2014). Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: uma avaliação metodológica. *Economia Aplicada*, 18(3), 379–419. <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea463>
- Moore, J. W. (2014). The End of Cheap Nature. Or How I Learned to Stop Worrying about “The” Environment and Love the Crisis of Capitalism. In C. Suter & C. Chase-Dunn (Eds.), *Structures of the World Political Economy and the Future Global Conflict and Cooperation* (p. 360). Berlin: Lit Verlag. Disponível in: <https://jasonwmoore.com/wp-content/uploads/2017/08/Moore-The-end-of-cheap-nature-2014.pdf>. Accessed 19 October 2021
- Morais, R. A., Ferreira, C. E. L., & Floeter, S. R. (2017). Spatial patterns of fish standing biomass across Brazilian reefs. *Journal of Fish Biology*, 91(6), 1642–1667. <https://doi.org/10.1111/jfb.13482>
- Morais, T. S. O., & Tsuha, C. H. C. (2018). In-situ measurements of the soil thermal properties for energy foundation applications in São Paulo, Brazil. *Bulgarian Chemical Communications*, 50(Special Issue G), 34–41.
- Mostashari-Rad, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Taki, M., Ghahderijani, M., Kaab, A., Chau, K. wing, & Nabavi-Pelesaraei, A. (2021). Exergoenvironmental damages assessment of horticultural crops using ReCiPe2016 and cumulative exergy demand frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123788. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123788>
- Mota, F. A. S., Costa Filho, J. T., & Barreto, G. A. (2019). The Nile tilapia viscera oil extraction for biodiesel production in Brazil: An economic analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.035>

- Murshed, M., Ahmed, R., Kumpamool, C., Bassim, M., & Elheddad, M. (2021). The effects of regional trade integration and renewable energy transition on environmental quality: Evidence from South Asian neighbors. *Business Strategy and the Environment*, bse.2862. <https://doi.org/10.1002/bse.2862>
- Mussini, M. (2020). Inequality and convergence in energy intensity in the European Union. *Applied Energy*, 261(114371), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114371>
- Mzavanadze, N., Kelemen, A., & Üрге-Vorsatz, D. (2015). *Literature review on social welfare impacts of energy efficiency improvement actions*. Manchester, UK. Disponible in: <https://www.researchgate.net/publication/321293104>. Accessed 31 May 2020
- Nabavi-Pelesaraei, A., Azadi, H., Van Passel, S., Saber, Z., Hosseini-Fashami, F., Mostashari-Rad, F., & Ghasemi-Mobtaker, H. (2021). Prospects of solar systems in production chain of sunflower oil using cold press method with concentrating energy and life cycle assessment. *Energy*, 223, 120117. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2021.120117>
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Afrasyabi, H., & Chau, K. wing. (2017). Modeling of energy consumption and environmental life cycle assessment for incineration and landfill systems of municipal solid waste management - A case study in Tehran Metropolis of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 148, 427–440. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.01.172>
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Hosseini-Fashami, F., & Chau, K. (2021). Artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system in energy modeling of agricultural products. *Predictive Modelling for Energy Management and Power Systems Engineering*, 299–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817772-3.00011-2>
- Nadaleti, W. C., Borges dos Santos, G., & Lourenço, V. A. (2020). The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 1373–1384. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.199>
- Nascimento, G., R. Saavedra, O., A. Feitosa, S., & S. da Silva Junior, G. (2020). The

- Role of Natural Gas Power Plants in Mitigation of High Variability of Renewable Energy Sources in the North and Northeast of Brazil. In *Anais do Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos 2020* (Vol. 1). sbabra.  
<https://doi.org/10.48011/sbse.v1i1.2390>
- Neto, P. B. L., Saavedra, O. R., & de Souza Ribeiro, L. A. (2017). Analysis of a Tidal Power Plant in the Estuary of Bacanga in Brazil Taking Into Account the Current Conditions and Constraints. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(3), 1187–1194. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2017.2666719>
- Neto, P. B. L., Saavedra, O. R., & Oliveira, D. Q. (2020). The effect of complementarity between solar, wind and tidal energy in isolated hybrid microgrids. *Renewable Energy*, 147, 339–355.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.134>
- Nguyen, K. H., & Kakinaka, M. (2019). Renewable energy consumption, carbon emissions, and development stages: Some evidence from panel cointegration analysis. *Renewable Energy*, 132, 1049–1057.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.069>
- Nicolini, M., & Tavoni, M. (2017). Are renewable energy subsidies effective? Evidence from Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 412–423.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.032>
- Nogueira, L. A. H., & Cardoso, R. B. (2007). Perspectivas da Matriz Energética mundial e do Brasil. *O Setor Elétrico*, 2(22), 32–43. Disponible in:  
<https://www.researchgate.net/publication/273773356>. Accessed 7 October 2021
- NUCLEP. (2021). Sobre a NUCLEP - Institucional. *Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.* Disponible in: <https://www.nuclep.gov.br/pt-br/institucional/sobre-a-nuclep>. Accessed 8 April 2021
- Nussbaumer, P., Bazilian, M., & Modi, V. (2012). Measuring energy poverty: Focusing on what matters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 231–243.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.150>
- OECD. (2021). OECD Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables. Disponible in:  
<https://www.oecd.org/sti/ind/inter-country-input-output-tables.htm>. Accessed 9 December 2021

- Olanrewaju, B. T., Olubusoye, O. E., Adenikinju, A., & Akintande, O. J. (2019). A panel data analysis of renewable energy consumption in Africa. *Renewable Energy*, *140*, 668–679. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.061>
- Oliveira, A. C. L. de, Milagres, R. S., Orlando Junior, W. de A., & Renato, N. dos S. (2020). Evaluation of Brazilian potential for generating electricity through animal manure and sewage. *Biomass and Bioenergy*, *139*, 105654. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105654>
- Oliveira Tiezzi, R. de, Vieira, N. D. B., Simoes, A. F., Filho, H. F., Viana, E., Mouette, D., & Domingues, M. S. (2018). Impacts of Climate Change on Hydroelectric Power Generation – A Case Study Focused in the Paranapanema Basin, Brazil. *Journal of Sustainable Development*, *11*(1), 140–149. <https://doi.org/10.5539/jsd.v11n1p140>
- Omri, A., Daly, S., & Nguyen, D. K. (2015). A robust analysis of the relationship between renewable energy consumption and its main drivers. *Applied Economics*, *47*(28), 2913–2923. <https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1011312>
- Omri, A., & Nguyen, D. K. (2014). On the determinants of renewable energy consumption: International evidence. *Energy*, *72*, 554–560. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.081>
- ONS. (2021). O que é ONS. *Operador Nacional do Sistema Elétrico*. Disponible in: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>. Accessed 8 April 2021
- Owen, A., Brockway, P., Brand-Correa, L., Bunse, L., Sakai, M., & Barrett, J. (2017). Energy consumption-based accounts: A comparison of results using different energy extension vectors. *Applied Energy*, *190*, 464–473. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.089>
- Owen, A. D. (2006). Renewable energy: Externality costs as market barriers. *Energy Policy*, *34*(5), 632–642. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.11.017>
- Owen, A., Steen-Olsen, K., Barrett, J., Wiedmann, T., & Lenzen, M. (2014). A structural decomposition approach to comparing MRIO databases. *Economic Systems Research*, *26*(3), 262–283. <https://doi.org/10.1080/09535314.2014.935299>
- Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, *3*(1).

- <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- Pachauri, S., Mueller, A., Kemmler, A., & Spreng, D. (2004). On Measuring Energy Poverty in Indian Households. *World Development*, 32(12), 2083–2104. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.08.005>
- Pachauri, S., & Spreng, D. (2011). Measuring and monitoring energy poverty. *Energy Policy*, 39(12), 7497–7504. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.008>
- Pain, S. (2017). Power through the ages: From elbow grease to electricity, horsepower to hydropower, energy has played a crucial part in shaping society. *Nature*, 551(7682), S134–S137. <https://doi.org/10.1038/D41586-017-07506-Z>
- Painuly, J. . (2001). Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis. *Renewable Energy*, 24(1), 73–89. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(00\)00186-5](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(00)00186-5)
- Palm, J., & Backman, F. (2020). Energy efficiency in SMEs: overcoming the communication barrier. *Energy Efficiency*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s12053-020-09839-7>
- Pao, H.-T., & Fu, H.-C. (2013). Renewable energy, non-renewable energy and economic growth in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.004>
- Passos de Aragão, A., Teixeira Leite Asano, P., & de Andrade Lira Rabêlo, R. (2020). A Reservoir Operation Policy Using Inter-Basin Water Transfer for Maximizing Hydroelectric Benefits in Brazil. *Energies*, 13(10), 2564. <https://doi.org/10.3390/en13102564>
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency? *Energy Policy*, 24(5), 377–390. [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(96\)00017-1](https://doi.org/10.1016/0301-4215(96)00017-1)
- PBL. (2020). History database of the Global Environment (HYDE). *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*. Disponible in: <https://dataportaal.pbl.nl/downloads/HYDE/?C=D;O=A>. Accessed 8 September 2021
- Pehnt, M. (2006). Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 31(1), 55–71. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.03.002>



- Pellerin-carlin, T., Vinois, J.-A., Rubio, E., & Fernandes, S. (2017). *Making the energy transition a european success - Tackling the Democratic, Innovation, Financing and Social Challenges of the Energy Union*. Disponible in: <https://institutdelors.eu/wp-content/uploads/2018/01/makingtheenergytransitionaeuropeansuccess-study-pellerincarlinfernandesrubio-june2017-bd.pdf>. Accessed 4 December 2018
- Peña, A. C., & Sánchez, J. M. G. (2012). *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. Madrid: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. Disponible in: [www.aenor.es](http://www.aenor.es). Accessed 28 May 2020
- Penna, A. N. (2019). *A History of Energy Flows : From Human Labor to Renewable Power. A History of Energy Flows: From Human Labor to Renewable Power* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429492389>
- Pereira, F. S. G., de Sobral, A. D., da Silva, A. M. R. B., & da Rocha, M. A. G. (2018). Moringa oleifera: a promising agricultural crop and of social inclusion for Brazil and semi-arid regions for the production of energetic biomass (biodiesel and briquettes). *OCL*, 25(1), D106. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017047>
- Pereira, I. Z., Santos, I. F. S. dos, Barros, R. M., Castro e Silva, H. L. de, Tiago Filho, G. L., & Moni e Silva, A. P. (2020). Vinasse biogas energy and economic analysis in the state of São Paulo, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121018>
- Pereira, M. G., Camacho, C. F., Freitas, M. A. V., & Silva, N. F. Da. (2012). The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3786–3802. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.024>
- Pereira, W. de S., Kelecom, A. G. A. C., da Silva, A. X., do Carmo, A. S., & Py Júnior, D. de A. (2018). Assessment of uranium release to the environment from a disabled uranium mine in Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, 188, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.11.012>
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Velázquez, D. (2013). Revisiting energy efficiency fundamentals. *Energy Efficiency*, 6(2), 239–254. <https://doi.org/10.1007/s12053-012-9180-8>

- Pes, M. P., Pereira, E. B., Marengo, J. A., Martins, F. R., Heinemann, D., & Schmidt, M. (2017). Climate trends on the extreme winds in Brazil. *Renewable Energy*, *109*, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.101>
- Petrobras. (2021). Lei de Criação da Petrobras. *Petróleo Brasileiro S.A.* Disponible in: <https://www.investidorpetrobras.com.br/governanca-corporativa/lei-de-criacao-da-petrobras/>. Accessed 8 April 2021
- Peyerl, D., Moretto, M. E., dos Santos, S. R. S., Figueirôa, M. S. F. de, Mouette, D., & Dos Santos, E. M. (2018). Brazil and the Problem of Domestic Supply of Fossil Fuels. *Oil-Industry History*, *19*(1), 97–106. Disponible in: <http://archives.datapages.com/data/phi/v19-2018/peyerl.htm>. Accessed 12 April 2021
- Phylipsen, G.J.M., Blok, K., & Worrell, E. (1997). International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry. *Energy Policy*, *25*(7–9), 715–725. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(97\)00063-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(97)00063-3)
- Phylipsen, Gerardina Josephina Maria, Blok, K., & Worrell, E. (1998). *Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry*. Netherlands: Utrecht University. Disponible in: [www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/proc0.pdf](http://www2.cieedac.sfu.ca/media/publications/proc0.pdf). Accessed 30 May 2020
- Pina, E. A., Lozano, M. A., & Serra, L. M. (2018). Opportunities for the Integration of Solar Thermal Heat, Photovoltaics and Biomass in a Brazilian Hospital. In *Proceedings of EuroSun 2018* (pp. 1–12). Freiburg, Germany: International Solar Energy Society. <https://doi.org/10.18086/eurosun2018.05.03>
- Plümper, T., Troeger, V. E., & Manow, P. (2005). Panel data analysis in comparative politics: Linking method to theory. *European Journal of Political Research*, *44*(2), 327–354. <https://doi.org/10.1111/j.1475-6765.2005.00230.x>
- PNUD. (2021). Objetivos de Desarrollo del Milenio. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Disponible in: [https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/mdg\\_goals.html](https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/mdg_goals.html). Accessed 9 November 2021
- Popescu, M., & Bitoleanu, A. (2019). A Review of the Energy Efficiency Improvement in DC Railway Systems. *Energies*, *12*(6), 1092.

<https://doi.org/10.3390/en12061092>

- PPSA. (2021). Arcabouço Normativo. *Pré-Sal Petróleo S.A.* Disponible in: <https://www.presalpetroleo.gov.br/ppsa/legislacao/arcabouco-normativo>. Accessed 8 April 2021
- PRB. (2021). Home - Population Reference Bureau. *Population Reference Bureau*. Disponible in: <https://interactives.prb.org/2021-wpds/>. Accessed 8 September 2021
- Prisecaru, P. (2016). Challenges Of The Fourth Industrial Revolution. *Knowledge Horizons - Economics*, 8(1), 57–62. Disponible in: <http://orizonturi.ucdc.ro/arhiva/khe-vol8-nr1-2016/09.PetrePrisecaru.pdf>. Accessed 9 September 2021
- Progênio, M. F., Costa Filho, F. A. M., Crispim, D. L., Raiol Souza, M. J., Pimentel da Silva, G. D., & Fernandes, L. L. (2020). Ranking sustainable areas for the development of tidal power plants: A case study in the northern coastline of Brazil. *International Journal of Energy Research*, 44(12), 9772–9786. <https://doi.org/10.1002/er.5716>
- Proskuryakova, L., & Kovalev, A. (2015). Measuring energy efficiency: Is energy intensity a good evidence base? *Applied Energy*, 138, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.060>
- Quesnay, F. (1758a). *Tableau Economique*. Disponible in: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Tableau économique&author=F. Quesnay&publication\\_year=1758](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Tableau%20%C3%A9conomique&author=F.Quesnay&publication_year=1758). Accessed 20 February 2020
- Quesnay, F. (1758b). *Tableau Economique*. Disponible in: [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Tableau économique&author=F. Quesnay&publication\\_year=1758](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Tableau%20%C3%A9conomique&author=F.Quesnay&publication_year=1758). Accessed 20 February 2020
- Rao, N. D., Min, J., & Mastrucci, A. (2019). Energy requirements for decent living in India, Brazil and South Africa. *Nature Energy*, 4(12), 1025–1032. <https://doi.org/10.1038/s41560-019-0497-9>
- Rasoulinezhad, E., & Saboori, B. (2018). Panel estimation for renewable and non-renewable energy consumption, economic growth, CO<sub>2</sub> emissions, the composite trade intensity, and financial openness of the commonwealth of independent states. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(18), 17354–17370.

- <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1827-3>
- REN21. (2021). *Renewables 2021 Global Status Report*. Paris. Disponível in:  
[https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf).  
Accessed 25 August 2021
- Rigo, P. D., Siluk, J. C. M., Lacerda, D. P., Rosa, C. B., & Rediske, G. (2019). Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? *Journal of Cleaner Production*, 240, 118243.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118243>
- Rodrigues, M. C. P. (1993). O índice do desenvolvimento humano (IDH) da ONU. *Revista Conjuntura Econômica*, 47(7), 20–20. Disponível in:  
<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rce/article/view/53360>. Accessed 10 November 2021
- Roll, E. (2014). *Historia de la doctrinas económicas* (online.). México, D.F.: FCE - Fondo de Cultura Económica. Disponível in:  
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/ugr/detail.action?docID=4559836>
- Roser, M., Hannah, & Esteban Ortiz-Ospina. (2019, May). World Population Growth. *Our World in Data*. Disponível in: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>. Accessed 8 September 2021
- Ruzzenenti, F., & Basosi, R. (2009). Evaluation of the energy efficiency evolution in the European road freight transport sector. *Energy Policy*, 37(10), 4079–4085.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.050>
- Sachs, I. (1986a). *Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir*. São Paulo: Vértice.
- Sachs, I. (1986b). *Espaços, tempos e estratégias do desenvolvimento*. São Paulo: Vértice.
- Sachs, I. (2004). *Desenvolvimento: includente, sustentável, sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond.
- Sachs, J. D. (2015). *The Age of Sustainable Development. The Age of Sustainable Development*. New York: Columbia University Press.  
<https://doi.org/10.7312/SACH17314/HTML>
- Sachs, J. D. (2017). *A era do desenvolvimento sustentável* (1st ed.). Lisboa: Actual.

- Sadorsky, P. (2009a). Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and oil prices in the G7 countries. *Energy Economics*, 31(3), 456–462.  
<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2008.12.010>
- Sadorsky, P. (2009b). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy Policy*, 37(10), 4021–4028.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
- Saidi, K., & Ben Mbarek, M. (2016). Nuclear energy, renewable energy, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth for nine developed countries: Evidence from panel Granger causality tests. *Progress in Nuclear Energy*, 88, 364–374.  
<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2016.01.018>
- Saint Akadiri, S., Alola, A. A., Akadiri, A. C., & Alola, U. V. (2019). Renewable energy consumption in EU-28 countries: Policy toward pollution mitigation and economic sustainability. *Energy Policy*, 132, 803–810.  
<https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.06.040>
- Salim, R. A., Hassan, K., & Shafiei, S. (2014). Renewable and non-renewable energy consumption and economic activities: Further evidence from OECD countries. *Energy Economics*, 44, 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.05.001>
- Salim, R. A., & Rafiq, S. (2012). Why do some emerging economies proactively accelerate the adoption of renewable energy? *Energy Economics*, 34(4), 1051–1057. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2011.08.015>
- Salim, R. A., & Shafiei, S. (2014). Urbanization and renewable and non-renewable energy consumption in OECD countries: An empirical analysis. *Economic Modelling*, 38, 581–591. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.02.008>
- Sampaio, C. A. C., Ceberio De León, I., Dallabrida, I. S., & Pellin, V. (2008). Arranjos socioprodutivos de base comunitária: arranjos produtivos locais pensados como arranjos institucionais. O caso da mondragón corporação cooperativa. *Organizações & Sociedade*, 15(46), 77–98. <https://doi.org/10.1590/S1984-92302008000300004>
- Sampaio, C. A. C., & Dallabrida, I. S. (2009). Ecosocioeconomia das organizações: gestão que privilegia uma outra economia. *Revista da FAE*, 12(2), 17–33.  
Disponível in: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/296>. Accessed 10

November 2021

- Sanches-Pereira, A., Tudeschini, L. G., & Coelho, S. T. (2016). Evolution of the Brazilian residential carbon footprint based on direct energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *54*, 184–201. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.024>
- Sanchez Guzmán, J., Sanz López, L., & Ocaña Robles, L. (2011). *Evaluación del potencial de energía geotérmica: Estudio Técnico PER 2011-2020*. Madrid. Disponible in: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e9\\_geotermia\\_A\\_db72b0ac.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf). Accessed 14 December 2021
- Sant'Anna de Sousa Gomes, M., Faulstich de Paiva, J. M., Aparecida da Silva Moris, V., & Nunes, A. O. (2019). Proposal of a methodology to use offshore wind energy on the southeast coast of Brazil. *Energy*, *185*, 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.057>
- Santos, I. F. S. dos, Gonçalves, A. T. T., Borges, P. B., Barros, R. M., & da Silva Lima, R. (2018). Combined use of biogas from sanitary landfill and wastewater treatment plants for distributed energy generation in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, *136*, 376–388. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.011>
- Saygin, D., Worrell, E., Patel, M. K., & Gielen, D. J. (2011). Benchmarking the energy use of energy-intensive industries in industrialized and in developing countries. *Energy*, *36*(11), 6661–6673. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.025>
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., Monforti-Ferrario, F., Banja, M., & Motola, V. (2015). Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union – An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *51*, 969–985. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.062>
- Schaeffer, R., & de Sá, A. (1996). The embodiment of carbon associated with Brazilian imports and exports. *Energy Conversion and Management*, *37*(6–8), 955–960. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00283-9](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00283-9)
- Schaeffer, R., Lucena, A. F. P., Costa, I. V. L., Vásquez, E., Viviescas, C., & Huback, V. (2019). Climate Change and the Energy Sector in Brazil. In *Climate Change*

- Risks in Brazil* (pp. 143–179). Cham: Springer International Publishing.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_6)
- Schwab, K. (2017). *The Fourth Industrial Revolution*. New York: Crown Business.  
Disponibile in: [https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=ST\\_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=three+industrial+revolution&ots=DUiv6UqBTK&sig=oK8XJUtljsOq93FfRIzf6FF\\_odE&redir\\_esc=y#v=onepage&q=three industrial revolution&f=false](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=ST_FDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=three+industrial+revolution&ots=DUiv6UqBTK&sig=oK8XJUtljsOq93FfRIzf6FF_odE&redir_esc=y#v=onepage&q=three industrial revolution&f=false). Accessed 9 September 2021
- Sebri, M., & Ben-Salha, O. (2014). On the causal dynamics between economic growth, renewable energy consumption, CO<sub>2</sub>emissions and trade openness: Fresh evidence from BRICS countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 14–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.033>
- Sen, A. (2010). *Desenvolvimento como liberdade*. São Paulo: Companhia das Letras.
- Sen, S., & Ganguly, S. (2017). Opportunities, barriers and issues with renewable energy development – A discussion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1170–1181. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.137>
- Shadman, M., Silva, C., Faller, D., Wu, Z., de Freitas Assad, L., Landau, L., et al. (2019). Ocean Renewable Energy Potential, Technology, and Deployments: A Case Study of Brazil. *Energies*, 12(19), 3658. <https://doi.org/10.3390/en12193658>
- Shepard, J. U., & Pratson, L. F. (2020). Hybrid input-output analysis of embodied energy security. *Applied energy*, 279.  
<https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2020.115806>
- Shove, E. (2018). What is wrong with energy efficiency? *Building Research & Information*, 46(7), 779–789. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1361746>
- Silva dos Santos, I. F., Braz Vieira, N. D., de Nóbrega, L. G. B., Barros, R. M., & Tiago Filho, G. L. (2018). Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 54–63.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.012>
- Silva Filho, S. C. da, Miranda, A. C., Silva, T. A. F., Calarge, F. A., Souza, R. R. de, Santana, J. C. C., & Tambourgi, E. B. (2018). Environmental and techno-economic considerations on biodiesel production from waste frying oil in São Paulo city.

- Journal of Cleaner Production*, 183, 1034–1042.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.199>
- Silva Neto, J. V., & Gallo, W. L. R. (2021). Potential impacts of vinasse biogas replacing fossil oil for power generation, natural gas, and increasing sugarcane energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110281.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110281>
- Slessor, M. (1978). *Energy in the economy*. London: The Macmillan Press LTD.
- Smil, V. (1994). *Energy in World History* (1st ed.). New York: Routledge.  
<https://doi.org/10.4324/9780429038785>
- Smil, V. (2004, March 18). World History and Energy. In (C. J. Cleveland, Ed.) *Encyclopedia of Energy*. Boston: Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00025-5>
- Smil, V. (2010). *Energy Transitions: History, Requirements, Prospects*. Santa Barbara: ABC-CLIO. Disponible in: [https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=vLuT4BS\\_25MC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Energy+Transitions:+History,+Requirements,+Prospects+&ots=\\_EFAWIBX74&sig=a2ws\\_OLwjezqsNYU37O-1XM0u3w&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Energy+Transitions%3A+History%2C+Requirements%2C+Prosp.](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=vLuT4BS_25MC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Energy+Transitions:+History,+Requirements,+Prospects+&ots=_EFAWIBX74&sig=a2ws_OLwjezqsNYU37O-1XM0u3w&redir_esc=y#v=onepage&q=Energy+Transitions%3A+History%2C+Requirements%2C+Prosp.) Accessed 14 October 2021
- Smil, V. (2016). Examining energy transitions: A dozen insights based on performance. *Energy Research & Social Science*, 22, 194–197.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.017>
- Smil, V. (2017). *Energy and Civilization: a history*. JSTOR (2nd ed.). Cambridge: The MIT Press. Disponible in: <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1pwt6jj>. Accessed 13 October 2021
- Sohail, M. T., Xiuyuan, Y., Usman, A., Majeed, M. T., & Ullah, S. (2021). Renewable energy and non-renewable energy consumption: assessing the asymmetric role of monetary policy uncertainty in energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12867-0>
- Solomon, B. D., & Krishna, K. (2011). The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*, 39(11), 7422–7431.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>



- Song, C., Li, M., Wen, Z., He, Y.-L., Tao, W.-Q., Li, Y., et al. (2014). Research on energy efficiency evaluation based on indicators for industry sectors in China. *Applied Energy*, 134, 550–562. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.049>
- Song, L., Fu, Y., Zhou, P., & Lai, K. K. (2017). Measuring national energy performance via Energy Trilemma Index: A Stochastic Multicriteria Acceptability Analysis. *Energy Economics*, 66, 313–319. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.07.004>
- Souza, N. de J. de. (1993). *Desenvolvimento econômico*. São Paulo: Atlas.
- Souza, P. J. de O. P. de, Farias, V. D. da S., Lima, M. J. A. de, Ramos, T. F., & Sousa, A. M. L. de. (2017). Cowpea leaf area, biomass production and productivity under different water regimes in castanhal, Pará, Brazil. *Revista Caatinga*, 30(3), 748–759. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n323rc>
- Souza, S. P., Seabra, J. E. A., & Nogueira, L. A. H. (2018). Feedstocks for biodiesel production: Brazilian and global perspectives. *Biofuels*, 9(4), 455–478. <https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1278931>
- Sovacool, B. K. (2012). The political economy of energy poverty: A review of key challenges. *Energy for Sustainable Development*, 16(3), 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.05.006>
- Sovacool, B. K. (2016). How long will it take? Conceptualizing the temporal dynamics of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 13, 202–215. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.020>
- Sovacool, B. K., & Geels, F. W. (2016). Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. *Energy Research & Social Science*, 22, 232–237. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.08.013>
- Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C. J., Simas, M., Schmidt, S., et al. (2018). EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 502–515. <https://doi.org/10.1111/jiec.12715>
- Stern, N. (2002). *A Strategy for Development. A Strategy for Development*. Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-4980-5>
- Stiubiener, U., Carneiro da Silva, T., Trigo, F. B. M., Benedito, R. da S., & Teixeira, J. C. (2020). PV power generation on hydro dam's reservoirs in Brazil: A way to

- improve operational flexibility. *Renewable Energy*, 150, 765–776.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.003>
- Su, B., & Ang, B. W. (2013). Input–output analysis of CO<sub>2</sub> emissions embodied in trade: Competitive versus non-competitive imports. *Energy Policy*, 56, 83–87.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.01.041>
- Su, B., & Ang, B. W. (2014). Input–output analysis of CO<sub>2</sub> emissions embodied in trade: A multi-region model for China. *Applied Energy*, 114, 377–384.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.036>
- Su, B., & Ang, B. W. (2017). Multiplicative structural decomposition analysis of aggregate embodied energy and emission intensities. *Energy Economics*, 65, 137–147. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.002>
- Su, B., & Ang, B. W. (2020). Demand contributors and driving factors of Singapore’s aggregate carbon intensities. *Energy Policy*, 146, 111817.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111817>
- Su, B., Ang, B. W., & Li, Y. (2019). Structural path and decomposition analysis of aggregate embodied energy and emission intensities. *Energy Economics*, 83, 345–360. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.07.020>
- Su, B., Ang, B. W., & Low, M. (2013). Input–output analysis of CO<sub>2</sub> emissions embodied in trade and the driving forces: Processing and normal exports. *Ecological Economics*, 88, 119–125.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.017>
- Suh, S., & Nakamura, S. (2007, September). Five years in the area of input-output and hybrid LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Springer.  
<https://doi.org/10.1065/lca2007.08.358>
- Suri, V., & Chapman, D. (1998). Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 195–208.  
[https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(97\)00180-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(97)00180-8)
- Talavera, D. L., Muñoz-Cerón, E., Ferrer-Rodríguez, J. P., & Nofuentes, G. (2016). Evolution of the cost and economic profitability of grid-connected PV investments in Spain: Long-term review according to the different regulatory frameworks approved. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66, 233–247.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.012>

Tanaka, K. (2008). Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. *Energy Policy*, 36(8), 2887–2902.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.03.032>

Tang, X., Snowden, S., & Höök, M. (2013). Analysis of energy embodied in the international trade of UK. *Energy Policy*, 57, 418–428.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.009>

Teixeira, M. D. de J., Nogueira, J. M., Imbroisi, D., & Faria, A. M. de M. (2020). Strategic sectors for greenhouse gas mitigation investment: assessment based upon the Brazil's input-output matrix. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(2), 261–283. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09873-6>

Teixeira, T. R., Soares Ribeiro, C. A. A., Rosa dos Santos, A., Marcatti, G. E., Lorenzon, A. S., de Castro, N. L. M., et al. (2018). Forest biomass power plant installation scenarios. *Biomass and Bioenergy*, 108, 35–47.

<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.006>

Tessmer, H. (2002). Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. *Revista Liberato*, 3(3). Disponible in:

<http://www.revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/43>. Accessed 8 October 2021

Thompson, B. C., Schurr, S. H., & Netschert, B. C. (1961). Energy in the American Economy, 1850-1975: An Economic Study of Its History and Prospects.

*Technology and Culture*, 2(3), 285. <https://doi.org/10.2307/3101043>

Tian, X., Chen, B., Geng, Y., Zhong, S., Gao, C., Wilson, J., et al. (2019). Energy footprint pathways of China. *Energy*, 180, 330–340.

<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.103>

Timmer, M. P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R., & de Vries, G. J. (2015). An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: the Case of Global Automotive Production. *Review of International Economics*, 23(3), 575–605.

<https://doi.org/10.1111/roie.12178>

Timmer, M. P., Los, B., Stehrer, R., & De Vries, G. J. (2016). *An Anatomy of the Global Trade Slowdown based on the WIOD 2016 Release* (No. 162). GGDC

- research memorandum*. University of Groningen. Disponible in:  
[https://www.rug.nl/ggdc/html\\_publications/memorandum/gd162.pdf](https://www.rug.nl/ggdc/html_publications/memorandum/gd162.pdf). Accessed 18 February 2020
- Tolmasquim, M. T., & Machado, G. (2003). Energy and Carbon Embodied in the International Trade of Brazil. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 8(2), 139–155. <https://doi.org/10.1023/A:1026013814547>
- Tosun, J., Biesenbender, S., & Schulze, K. (Eds.). (2015). *Energy Policy Making in the EU: Building the Agenda* (Vol. 28). London: Springer Verlag.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6645-0>
- Toumi, S., & Toumi, H. (2019). Asymmetric causality among renewable energy consumption, CO2 emissions, and economic growth in KSA: evidence from a non-linear ARDL model. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(16), 1–12.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04955-z>
- Tryon, F. G. (1927). An Index of Consumption of Fuels and Water Power. *Journal of the American Statistical Association*, 22(159), 271–282.  
<https://doi.org/10.2307/2276799>
- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J., et al. (2013). EXIOPOL – Development and illustrative analyses of a detailed global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research*, 25(1), 50–70.  
<https://doi.org/10.1080/09535314.2012.761952>
- Turnheim, B., Berkhout, F., Geels, F., Hof, A., McMeekin, A., Nykvist, B., & van Vuuren, D. (2015). Evaluating sustainability transitions pathways: Bridging analytical approaches to address governance challenges. *Global Environmental Change*, 35, 239–253. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.08.010>
- UNDP. (2000). *World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability*. (J. Goldemberg, Ed.). New York. Disponible in:  
[https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/sustainable\\_energy/world\\_energy\\_assessmentenergyandthechallengeofsustainability.html](https://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/sustainable_energy/world_energy_assessmentenergyandthechallengeofsustainability.html). Accessed 2 June 2020
- UNDP. (2020). Human Development Reports - Human Development Index (HDI). *United Nations Development Programme*. Disponible in:

- <http://hdr.undp.org/en/indicators/137506>. Accessed 30 November 2021
- UNDP. (2021). Sustainable Development Goals. *United Nations Development Programme*. Disponible in: <https://www.undp.org/sustainable-development-goals#affordable-and-clean-energy>. Accessed 16 September 2021
- UNFCCC. (2015). Paris Agreement. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Paris. Disponible in: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf). Accessed 10 September 2021
- UNFCCC. (2021a). Paris Agreement - Status of Ratification. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponible in: <https://unfccc.int/process/the-paris-agreement/status-of-ratification>. Accessed 22 October 2021
- UNFCCC. (2021b). Nationally Determined Contributions (NDCs). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponible in: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs#eq-1>. Accessed 22 October 2021
- UNFCCC. (2021c). The Kyoto Protocol - Status of Ratification. *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponible in: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/status-of-ratification>. Accessed 22 October 2021
- Unión Europea. (1992). *Tratado de la Unión Europea (92/C 191/01)*. Maastricht. Disponible in: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:11992M/TXT&from=PT>. Accessed 1 December 2021
- Unión Europea. (2021). Historia de la UE. Disponible in: [https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/history-eu\\_es](https://european-union.europa.eu/principles-countries-history/history-eu_es). Accessed 2 December 2021
- United Nations. (1972, June). Report of the United Nations Conference on the Human Environment. *United Nations*. Stockholm. Disponible in: <https://undocs.org/en/A/CONF.48/14/Rev.1>. Accessed 10 September 2021

- United Nations. (1992, June 3). United Nations Conference on Environment & Development - Agenda 21. Rio de Janeiro. Disponible in:  
<http://www.un.org/esa/sustdev/agenda21.htm>. Accessed 10 September 2021
- United Nations. (2000, March 27). We the peoples: the role of the United Nations in the twenty-first century. New York. Disponible in: <https://undocs.org/en/A/54/2000>. Accessed 10 September 2021
- United Nations. (2002). *Plan of Implementation of the World Summit on Sustainable Development - A/CONF.199/20 Chapter 1, Resolution 2 - UN Documents: Gathering a body of global agreements*. Johannesburg. Disponible in:  
<http://www.un-documents.net/jburgpln.htm>. Accessed 8 November 2021
- United Nations. (2015a). United Nations Summit on Sustainable Development, 25-27 September 2015, New York. *Conferences | Environment and sustainable development*. United Nations. Disponible in:  
<https://www.un.org/en/conferences/environment/newyork2015>. Accessed 9 November 2021
- United Nations. (2015b, September 25). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. New York. Disponible in:  
<https://undocs.org/en/A/RES/70/1>. Accessed 10 September 2021
- United Nations. (2018). *International Recommendations for Energy Statistics* (No. 93). New York. Disponible in:  
<https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/documents/IRES-web.pdf>. Accessed 4 October 2021
- United Nations. (2021a). What Is Climate Change? *United Nations*. Disponible in:  
<https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. Accessed 8 September 2021
- United Nations. (2021b). Objetivos de Desarrollo Sostenible - Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura sostenible y moderna. *United Nations*. Disponible in: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>. Accessed 16 September 2021
- Urry, J. (2015). Climate Change and Society. In J. Michie & C. Cooper (Eds.), *Why the Social Sciences Matter* (1st ed., pp. 45–59). London: Palgrave Macmillan.

[https://doi.org/10.1057/9781137269928\\_4](https://doi.org/10.1057/9781137269928_4)

- Vale, A. M., Borba, B. S. M. C., Fortes, M. Z., & Maciel, R. S. (2018). Techno-economic evaluation of hybrid diesel/PV/wind/battery electricity generation systems for a timber industry in north of Brazil. In *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)* (pp. 1–6). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/SBSE.2018.8395893>
- Vasco, G., Silva, J. S., Beluco, A., Rossini, E. G., & Souza, J. de. (2019). A Hydro PV Hybrid System as a New Concept for an Abandoned Dam in Southern Brazil. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*, *08*(02), 41–56.  
<https://doi.org/10.4236/cweee.2019.82003>
- Vasco, G., Silva, J. S., Canales, F. A., Beluco, A., de Souza, J., & Rossini, E. G. (2019). A Hydro PV Hybrid System for the Laranjeiras Dam (in Southern Brazil) Operating with Storage Capacity in the Water Reservoir. *Smart Grid and Renewable Energy*, *10*(04), 83–97. <https://doi.org/10.4236/sgre.2019.104006>
- Vasques, T. L., Moura, P., & de Almeida, A. (2019). A review on energy efficiency and demand response with focus on small and medium data centers. *Energy Efficiency*, *12*(5), 1399–1428. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9753-2>
- Veiga, J. E. da. (2006). *Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond.
- Veiga, J. E. da. (2015). *Para entender o Desenvolvimento Sustentável* (1st ed.). São Paulo: Editora 34.
- Verbong, G., & Geels, F. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960-2004). *Energy Policy*, *35*(2), 1025–1037. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.02.010>
- Verbruggen, A., Fishedick, M., Moomaw, W., Weir, T., Nadaï, A., Nilsson, L. J., et al. (2010). Renewable energy costs, potentials, barriers: Conceptual issues. *Energy Policy*, *38*(2), 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.036>
- Vieira de Souza, L. E., & Gilmanova Cavalcante, A. M. (2017). Concentrated Solar Power deployment in emerging economies: The cases of China and Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *72*, 1094–1103.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.027>

- Vieira, F. V., & Veríssimo, M. P. (2009). Crescimento econômico em economias emergentes selecionadas: Brasil, Rússia, Índia, China (BRIC) e África do Sul. *Economia e Sociedade*, 18(3), 513–546. <https://doi.org/10.1590/S0104-06182009000300004>
- Vilaça Gomes, P., Knak Neto, N., Carvalho, L., Sumaili, J., Saraiva, J. T., Dias, B. H., et al. (2018). Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues. *Energy Policy*, 115, 199–206. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.014>
- Wachsmann, U., Wood, R., Lenzen, M., & Schaeffer, R. (2009). Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996. *Applied Energy*, 86(4), 578–587. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.08.003>
- Wackernagel, M., & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (Vol. 9). Gabriola Island, B.C., Canada: New Society Publishers. Disponible in: [https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Wackernagel,+M.,+Rees,+R.,+1996.+Our+Ecological+Footprint:+Reducing+Human+Impact+on+the+Earth.+Gabriola+Island,+New+Society.&ots=VmSL7LpSOp&sig=jz5zTnpIyE9gVr5j9IhaBSGkjQ&redir\\_e](https://books.google.es/books?hl=pt-BR&lr=&id=WVNEAQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=Wackernagel,+M.,+Rees,+R.,+1996.+Our+Ecological+Footprint:+Reducing+Human+Impact+on+the+Earth.+Gabriola+Island,+New+Society.&ots=VmSL7LpSOp&sig=jz5zTnpIyE9gVr5j9IhaBSGkjQ&redir_e). Accessed 5 February 2021
- Walker, R., Liddell, C., McKenzie, P., Morris, C., & Lagdon, S. (2014). Fuel poverty in Northern Ireland: Humanizing the plight of vulnerable households. *Energy Research & Social Science*, 4(C), 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.10.001>
- Walras, L. (1874). *Éléments d'économie politique pure, ou, Théorie de la richesse sociale*. Lausanne: L. Corbaz, 1874-1877.
- Wan, X., Jiang, T., Li, S., & Nie, J. (2021). China's carbon emissions structure and reduction potential on the supply-side and demand-side of energy: Under the background of four influencing factors. *PLOS ONE*, 16(8), e0255387. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255387>
- Wang, F., Gao, C., & Ou, Q. (2021). Study on the measurement and the changing trend of the energy use of China's economic sectors: based on cross-region input-output model. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5296–5315. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10776-2>



- Wang, J., Wang, S., & Zhou, C. (2021). Quantifying embodied cultivated land-use change and its socioeconomic driving forces in China. *Applied Geography*, 137(102601), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2021.102601>
- Wang, L., Li, Y., & He, W. (2017). The Energy Footprint of China's Textile Industry: Perspectives from Decoupling and Decomposition Analysis. *Energies*, 10(10), 1461. <https://doi.org/10.3390/en10101461>
- Wang, P. P., Li, Y. P., Huang, G. H., Wang, S. G., Suo, C., & Ma, Y. (2021). A multi-scenario factorial analysis and multi-regional input-output model for analyzing CO2 emission reduction path in Jing-Jin-Ji region. *Journal of Cleaner Production*, 300(126782), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126782>
- Wang, Q., & Liu, Y. (2021). India's renewable energy: New insights from multi-regional input output and structural decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 283(124230), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124230>
- Wang, Q., & Yang, X. (2020). Imbalance of carbon embodied in South-South trade: Evidence from China-India trade. *Science of The Total Environment*, 707, 134473. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134473>
- Wang, Q., & Zhou, Y. (2019). Imbalance of carbon emissions embodied in the US-Japan trade: temporal change and driving factors. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117780. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117780>
- WCED. (1987). *Our common future*. United Nations - UN. Disponible in: <https://digitallibrary.un.org/record/139811>. Accessed 19 July 2021
- Weber, C. L. (2008). Energy use and flows in the US economy, 1997–2002. *Prepared for the National Academy of Sciences by Carnegie Mellon University*. Pittsburgh, Pa.
- Weber, C. L. (2009). Measuring structural change and energy use: Decomposition of the US economy from 1997 to 2002. *Energy Policy*, 37(4), 1561–1570. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.027>
- Weisz, H., & Steinberger, J. K. (2010). Reducing energy and material flows in cities. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2(3), 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.010>
- Welfle, A. (2017). Balancing growing global bioenergy resource demands - Brazil's

- biomass potential and the availability of resource for trade. *Biomass and Bioenergy*, 105, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.06.011>
- Welsch, M., Pye, S., Keles, D., Faure-Schuyer, A., Dobbins, A., Shivakumar, A., et al. (Eds.). (2017). *Europe's Energy Transition: Insights for Policy Making*. Academic Press. Disponible in:  
<https://www.sciencedirect.com/book/9780128098066/europes-energy-transition#book-description>. Accessed 3 November 2021
- Wiedmann, T. (2009). A first empirical comparison of energy Footprints embodied in trade — MRIO versus PLUM. *Ecological Economics*, 68(7), 1975–1990. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.023>
- Wiedmann, T. O., Suh, S., Feng, K., Lenzen, M., Acquaye, A., Scott, K., & Barrett, J. R. (2011). Application of Hybrid Life Cycle Approaches to Emerging Energy Technologies – The Case of Wind Power in the UK. *Environmental Science & Technology*, 45(13), 5900–5907. <https://doi.org/10.1021/es2007287>
- WMO, GCP, UNEP, IPCC, UNEP, WHO, et al. (2021). *United In Science 2021: A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information*. Geneva: WMO. Disponible in:  
[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=21946#.YUNo7rgzaUk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21946#.YUNo7rgzaUk). Accessed 16 September 2021
- Wood, R., Stadler, K., Simas, M., Bulavskaya, T., Giljum, S., Lutter, S., & Tukker, A. (2018). Growth in Environmental Footprints and Environmental Impacts Embodied in Trade: Resource Efficiency Indicators from EXIOBASE3. *Journal of Industrial Ecology*, 22(3), 553–564. <https://doi.org/10.1111/jiec.12735>
- Wooldridge, J. M. (2002). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge: The MIT Press. Disponible in:  
[https://jrvargas.files.wordpress.com/2011/01/wooldridge\\_j-\\_2002\\_econometric\\_analysis\\_of\\_cross\\_section\\_and\\_panel\\_data.pdf](https://jrvargas.files.wordpress.com/2011/01/wooldridge_j-_2002_econometric_analysis_of_cross_section_and_panel_data.pdf). Accessed 6 September 2019
- Wooldridge, J. M. (2010). *Introducción a la econometría: Un enfoque moderno* (4a. edición.). Santa Fe: Cengage Learning. Disponible in:  
<http://latinoamerica.cengage.com>. Accessed 5 September 2019

- World Bank. (2019a). World Development Indicators | DataBank. Washington, D.C. Disponible in: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>. Accessed 19 June 2019
- World Bank. (2019b). Worldwide Governance Indicators | DataBank. Disponible in: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=worldwide-governance-indicators>. Accessed 25 June 2019
- World Bank. (2021, June 7). Report: Universal Access to Sustainable Energy Will Remain Elusive Without Addressing Inequalities. Disponible in: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/06/07/report-universal-access-to-sustainable-energy-will-remain-elusive-without-addressing-inequalities>. Accessed 16 September 2021
- World Bank Group, & OECD. (2020). Energy intensity level of primary energy. Disponible in: [https://tcdata360.worldbank.org/indicators/ener.int.prim?country=CZE&indicator=1283&countries=HUN,ITA,ESP&viz=line\\_chart&years=1990,2015](https://tcdata360.worldbank.org/indicators/ener.int.prim?country=CZE&indicator=1283&countries=HUN,ITA,ESP&viz=line_chart&years=1990,2015). Accessed 8 May 2020
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future. Brundtland Report*. Oxford: Oxford University Press. Disponible in: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/18365>. Accessed 19 July 2021
- World Energy Council. (2008). *Europe's Vulnerability to Energy Crises: Executive Summary*. London, UK. Disponible in: [www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org). Accessed 2 June 2020
- Woyann, L. G., Meira, D., Zdziarski, A. D., Matei, G., Milioli, A. S., Rosa, A. C., et al. (2019). Multiple-trait selection of soybean for biodiesel production in Brazil. *Industrial Crops and Products*, *140*, 111721. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111721>
- Wu, L.-M., Chen, B.-S., Bor, Y.-C., & Wu, Y.-C. (2007). Structure model of energy efficiency indicators and applications. *Energy Policy*, *35*(7), 3768–3777. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.01.007>
- Wu, S., & Zou, J. (2021). Does market segmentation hinder interregional CO2 flow in China? — Evidence from China's interprovincial MRIO table. *PLOS ONE*, *16*(8),

- 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255518>
- Wu, X. D., Guo, J. L., Han, M. Y., & Chen, G. Q. (2018). An overview of arable land use for the world economy: From source to sink via the global supply chain. *Land Use Policy*, *76*, 201–214. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.05.005>
- Wu, X. D., Guo, J. L., Ji, X., & Chen, G. Q. (2019). Energy use in world economy from household-consumption-based perspective. *Energy Policy*, *127*, 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.005>
- Wu, X. D., Guo, J. L., Li, C., Chen, G. Q., & Ji, X. (2020). Carbon emissions embodied in the global supply chain: Intermediate and final trade imbalances. *The Science of the total environment*, *707*. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.134670>
- Wu, X. D., Guo, J. L., Li, C. H., Shao, L., Han, M. Y., & Chen, G. Q. (2019). Global socio-hydrology: An overview of virtual water use by the world economy from source of exploitation to sink of final consumption. *Journal of Hydrology*, *573*, 794–810. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.080>
- Wu, X. D., Guo, J. L., Meng, J., & Chen, G. Q. (2019). Energy use by globalized economy: Total-consumption-based perspective via multi-region input-output accounting. *Science of The Total Environment*, *662*, 65–76. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.108>
- Wu, X. F., & Chen, G. Q. (2017a). Energy use by Chinese economy: A systems cross-scale input-output analysis. *Energy Policy*, *108*, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.048>
- Wu, X. F., & Chen, G. Q. (2017b). Global primary energy use associated with production, consumption and international trade. *Energy Policy*, *111*, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.09.024>
- Xing, Y., & Kolstad, C. (1996). Environment and Trade: A Review of Theory and Issues. Disponible in: [https://mpra.ub.uni-muenchen.de/27694/1/MPRA\\_paper\\_27694.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/27694/1/MPRA_paper_27694.pdf). Accessed 25 June 2019
- Yanikkaya, H. (2003). Trade openness and economic growth: a cross-country empirical investigation. *Journal of Development Economics*, *72*(1), 57–89. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(03\)00068-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(03)00068-3)
- York, R., & Bell, S. E. (2019). Energy transitions or additions?: Why a transition from

- fossil fuels requires more than the growth of renewable energy. *Energy Research & Social Science*, 51, 40–43. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.01.008>
- Zarsky, L. (1999). Havens, Halos and Spaghetti: Untangling the Evidence about Foreign Direct Investment and the Environment. In *Foreign Direct Investment and the Environment* (pp. 47–74). Paris: OECD Publishing. Disponible in: <https://doi.org/10.1787/9789264266315-en>. Accessed 25 June 2019
- Zhang, B., Qiao, H., Chen, Z. M., & Chen, B. (2016). Growth in embodied energy transfers via China's domestic trade: Evidence from multi-regional input–output analysis. *Applied Energy*, 184, 1093–1105. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.076>
- Zhang, Bo, Chen, Z. M., Xia, X. H., Xu, X. Y., & Chen, Y. B. (2013). The impact of domestic trade on China's regional energy uses: A multi-regional input–output modeling. *Energy Policy*, 63, 1169–1181. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.062>
- Zhang, Bo, Qiao, H., & Chen, B. (2015). Embodied energy uses by China's four municipalities: A study based on multi-regional input–output model. *Ecological Modelling*, 318, 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.10.007>
- Zhang, Bo, Qu, X., Meng, J., & Sun, X. (2017). Identifying primary energy requirements in structural path analysis: A case study of China 2012. *Applied Energy*, 191, 425–435. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.066>
- Zhang, D., Wang, H., Löschel, A., & Zhou, P. (2021). The changing role of global value chains in CO2 emission intensity in 2000–2014. *Energy Economics*, 93(105053), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.105053>
- Zhang, H., & Lahr, M. L. (2014). China's energy consumption change from 1987 to 2007: A multi-regional structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 67, 682–693. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.069>
- Zhang, Y., Yang, Z., Fath, B. D., & Li, S. (2010). Ecological network analysis of an urban energy metabolic system: Model development, and a case study of four Chinese cities. *Ecological Modelling*, 221(16), 1865–1879. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.05.006>
- Zhang, Z., Xi, L., Bin, S., Yuhuan, Z., Song, W., Ya, L., et al. (2019). Energy, CO2

- emissions, and value added flows embodied in the international trade of the BRICS group: A comprehensive assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109432. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109432>
- Zhao, G., & Liu, C. (2020). Carbon emission intensity embodied in trade and its driving factors from the perspective of global value chain. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(25), 32062–32075.
- Zhao, P., Lu, Z., Fang, J., Paramati, S. R., & Jiang, K. (2020). Determinants of renewable and non-renewable energy demand in China. *Structural Change and Economic Dynamics*, 54, 202–209. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.05.002>
- Zhu, B., Su, B., Li, Y., & Ng, T. S. (2020). Embodied energy and intensity in China's (normal and processing) exports and their driving forces, 2005-2015. *Energy Economics*, 91, 104911. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104911>
- Zilli, B. M., Lenz, A. M., de Souza, S. N. M., Secco, D., Nogueira, C. E. C., Junior, O. H. A., et al. (2018). Performance and effect of water-cooling on a microgeneration system of photovoltaic solar energy in Paraná, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 192, 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.241>
- Ziyadi, M., & Al-Qadi, I. L. (2019). Model uncertainty analysis using data analytics for life-cycle assessment (LCA) applications. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(5), 945–959. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1528-7>









**UNIVERSIDAD  
DE GRANADA**