UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
DOCTORADO

TESIS

FINANCIAMIENTO DE PROYECTOS ECOEFICIENTES CON BONOS VERDES EN LATINOAMÉRICA

Alumno: Christian Merlyn Sacoto

Director: Gustavo Norberto Tapia

Miembros del Tribunal de Tesis: María Teresa Casparri, César H. Albornoz, Jorge Basualdo

Fecha de defensa de la Tesis: 2 de julio de 2024

Dedicatoria

A mis padres, por enseñarme el amor de los libros y de la docencia. Gracias Doctores.

Agradecimientos

Ante todo, y muy particularmente al director de esta tesis Dr. Gustavo Tapia, por su confianza, sus conocimientos académicos y financieros, sus pertinentes consejos y su acertado asesoramiento en cada etapa de este trabajo.

A los profesores de los seminarios del doctorado, por sus inestimables enseñanzas y su cálido recibimiento con un estudiante que llevaba muchos años alejado de las aulas universitarias.

A Víctor Cervantes Valdivieso, un valioso profesional de las energías renovables, por dedicar parte de su escaso tiempo libre a esta investigación, logrando hacer entender la importancia de su trabajo, más allá de los conceptos explicados.

A Marie-France Merlyn Sacoto, una investigadora de excepción, por ser una paciente guía en el campo en el que destaca.

A los directivos y los miembros de los departamentos de sustentabilidad o de relaciones con los inversionistas de las empresas consultadas, por colaborar con este estudio y demostrar su preocupación por el cambio climático.

A mis compañeros doctorandos, por su amistad.

Índice General

Resumen 10

Introducción 11

Capítulo 1 - Marco metodológico 14

1.1 Planteamiento del problema 14

1.2 Objetivos 16

1.2.1. Objetivo general 16

1.2.2. Objetivos específicos 16

1.3 Hipótesis 17

1.4 Metodologías y técnicas empleadas 17

1.4.1. Estrategia de investigación 17

1.4.2. Alcance del diseño de investigación 18

1.4.3. Diseño de investigación 19

1.4.4. Población 20

1.4.4.1 Región y rango de fechas 21

1.4.4.2 Bonos verdes de Latinoamérica y el Caribe (base de datos del CBI) 21

1.4.5. Recolección de datos 27

1.4.5.1. Informes de asignación de fondos 28

1.4.5.2. Folletos de emisión de bonos 28

1.4.5.3. Revisiones externas 29

1.4.5.4. Cuestionarios a los emisores 29

1.4.5.5. Entrevistas a expertos 30

1.4.5.6. Base de datos BloombergNEF 30

1.4.6. Análisis de ciclo de vida (ACV) 31

1.4.7. Costo nivelado de la energía (LCOE) 31

1.4.8. El modelo EPPA (MIT) 32

Capítulo II - Marco teórico 33

Parte A - Bonos y bonos verdes 33

2.A.1. Bonos 33

2.A.1.1. Definición 33

2.A.1.2. Principales riesgos asociados a invertir en bonos 34

2.A.1.3. Precio y rendimiento al vencimiento 36

2.A.1.4. Tipos de bonos 37

2.A.1.5. La importancia del mercado de bonos 39

2.A.1.6. Estructura temporal de los tipos de interés (ETTI) 40

2.A.1.7. La estructura de capital (EC) 44

2.A.2. Bonos verdes **48**
2.A.2.1. Definición 48
2.A.2.2. Principios de los Bonos Verdes (GBP) 50
2.A.2.3. Metodología de la base de datos de bonos verdes del CBI 52
2.A.2.4. Informes de asignación de fondos 57
2.A.2.5. Folletos de emisión de bonos 64
2.A.2.6. Revisiones externas 65
2.A.2.7. Greenium y otros factores de mercado 67
2.A.2.8. Mercados emergentes, Latinoamérica y el Caribe 73
2.A.2.9. Financiación de proyectos con bonos verdes 76
Parte B – Ecoeficiencia **79**
2.B.1. Definición **79**
2.B.2. Análisis de ciclo de vida (ACV) **83**
2.B.2.1. ACV de los parques eólicos 85
2.B.2.2. ACV de los paneles solares fotovoltaicos 92
2.B.3. Costo de ciclo de vida (CCV) **99**
2.B.4. Costo nivelado de la energía (LCOE) **100**
2.B.5. Análisis de ecoeficiencia de BASF **102**
Parte C – Mitigación de las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe **108**
2.C.1. Emisiones de GEI en la región **108**
2.C.2. Proyectos para mitigar los GEI **109**
2.C.3. El proyecto CLIMACAP-LAMP **112**
Capítulo III – Proyectos financiados con bonos verdes: ecoeficiencia **117**
Parte A – Descripción del mercado de bonos verdes en LAC de 2014 a 2019 ..... **117**
3.A.1. Análisis geográfico **117**
3.A.1.1. Brasil 118
3.A.1.2. Chile 120
3.A.1.3. México 121
3.A.1.4. Argentina 121
3.A.1.5. Otros países y emisores supranacionales 122
3.A.2. Uso de los fondos **123**
3.A.2.1. Sectores 123
3.A.2.2. Sectores por país 124
3.A.2.3. Bonos multisectoriales 125
3.A.3. Características de los bonos verdes **126**
3.A.3.1. Moneda de denominación 126
3.A.3.2. Fecha de vencimiento 127
3.A.3.3. Tipos de emisores y montos emitidos 128

3.A.4. Conclusiones **129**
Parte B – Ecoeficiencia de los proyectos financiados **131**
3.B.1. Recolección de datos sectoriales **131**
3.B.2. Ecoeficiencia de los proyectos de energía eólica **134**
3.B.2.1. Características de los campos eólicos financiados 134
3.B.2.2. Ecoeficiencia relativa 142
3.B.3. Ecoeficiencia de los proyectos de energía solar **149**
3.B.3.1. Características de los campos solares financiados 150
3.B.3.2. Ecoeficiencia relativa 154
3.B.4. Conclusiones sobre la ecoeficiencia relativa **158**
Capítulo IV – Proyectos financiados con bonos verdes: emisiones de GEI **160**
Parte A – Incidencia de los proyectos financiados sobre las emisiones de GEI **160**
4.A.1. Recolección de datos sobre GEI **161**
4.A.2. Incidencia sobre las emisiones de GEI **163**
4.A.3. Conclusiones **166**
Parte B – Proyectos financiados con bonos verdes y cambio climático en LAC **167**
4.B.1. El modelo EPPA (MIT) **167**
4.B.1. Proyecciones **168**
4.B.3. Conclusiones **172**
Capítulo V – Discusión **174**
5.1. Bonos verdes **174**
5.1.1. Factores de mercado **174**
5.1.2. Factores intrínsecos **176**
5.2. Ecoeficiencia **177**
5.3. Datos medioambientales **178**
Conclusiones **180**
Referencias bibliográficas **186**
Anexo 1: Estados y Territorios de América Latina y el Caribe **200**
Anexo 2: Bonos verdes de la base de datos del CBI (región LAC, 12/2014- 08/2019) ... **202**
Anexo 3: Taxonomía de Climate Bonds Initiative **204**
Anexo 4: Cuestionario auto-administrado **205**
Anexo 5: Categorías elegibles de Proyectos Verdes – GBP (ICMA) **206**
Anexo 6: Ejemplos de plantillas de informes de asignación de fondos **207**

Anexo 7: Proyectos eólicos seleccionados 208

Anexo 8: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus hidráulicos 211

Anexo 9: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus gas 213

Anexo 10: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus carbón 215

Anexo 11: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus bioenergía 217

Anexo 12: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus nuclear 219

Anexo 13: Proyectos solares seleccionados 221

Anexo 14: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus hidráulicos 222

Anexo 15: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus gas 223

Anexo 16: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus carbón 224

Anexo 17: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus bioenergía 225

Anexo 18: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus nuclear 226

Anexo 19: Proyecciones – Primer escenario (0,085% del PIB) 227

Anexo 20: Proyecciones – Segundo escenario (1,122% del PIB) 228

Índice de Tablas

TABLA 1: DESGLOSE GEOGRÁFICO 22

TABLA 2: TIPOS DE EMISORES 23

TABLA 3: DESGLOSE SECTORIAL (1RA ETAPA) 24

TABLA 4: USO DE LOS FONDOS BANCOLOMBIA 24

TABLA 5: USO DE LOS FONDOS NEOENERGIA 25

TABLA 6: DESGLOSE SECTORIAL (2DA ETAPA) 25

TABLA 7: DESGLOSE SECTORIAL (3RA ETAPA) 26

TABLA 8: SÍNTESIS DEL DESGLOSE SECTORIAL 27

TABLA 9: INDICADORES DE ECOEFICIENCIA DE APLICACIÓN GENERAL 81

TABLA 10: DOCUMENTOS ASOCIADOS A LOSEMISORES DE BONOS VERDES DE LA MUESTRA 133

TABLA 11: PROYECTOS EÓLICOS DEL BONO VERDE DEL BNCR 135

TABLA 12: SEGUIMIENTO DE LOS CUESTIONARIOS ENVIADOS A LOS EMISORES DE PROYECTOS EÓLICOS 136
TABLA 13: MODELOS DE AEROGENERADORES 139
TABLA 14: SEGUIMIENTO DE LOS CUESTIONARIOS ENVIADOS A LOS CONSTRUCTORES DE AEROGENERADORES 139
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS EÓLICOS DEL BONO VERDE DEL BNCR 141
TABLA 16: FUENTES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LAC 142
TABLA 17: PRECIOS Y PCG DE LAS FUENTES DE ELECTRICIDAD ALTERNATIVAS 143
TABLA 18: RESULTADOS DEL PROYECTO CGE DELTA 3 VIII 144
TABLA 19: PROYECTOS SOLARES DEL BONO VERDE AES TIETE 150
TABLA 20: SEGUIMIENTO DE LOS CUESTIONARIOS ENVIADOS A LOS EMISORES DE PROYECTOS SOLARES 151
TABLA 21: CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS SOLARES DEL BONO VERDE DE AES TIETE . 154
TABLA 22: SEGUIMIENTO DE LOS CUESTIONARIOS ENVIADOS A LOS EMISORES DE BONOS VERDES 162
TABLA 23: EMISIONES DE GEI EVITADAS POR LOS PROYECTOS FINANCIADOS CON BONOS VERDES 164
TABLA 24: EMISIONES DE GEI EVITADAS POR LOS PROYECTOS FINANCIADOS CON BONOS VERDES 169
TABLA 25: MODELO EPPA: PREDICCIONES DEL PIB Y DE LAS EMISIONES DE CO2 EN LAC 170

Índice de Figuras

FIGURA 1: VOLUMEN ANUAL DE BONOS VERDES (MILES DE MILLONES DE USD) 49
FIGURA 2: CUOTA DE MERCADO – REVISIONES EXTERNAS SPO - 2022 67
FIGURA 3: FASES DE UN ACV 84
FIGURA 4: PROCESO DEL ACV – PARQUES EÓLICOS 86
FIGURA 5: PROCESO DEL ACV – SISTEMA FOTOVOLTAICO 95
FIGURA 6: ESTRUCTURA DE UNA CARTERA DE ECOEFICIENCIA 106
FIGURA 7: EMISIONES Y VOLUMEN DE BONOS VERDES EN LAC (MILLONES DE USD) 118
FIGURA 8: EMISIONES Y VOLUMEN DE BONOS VERDES POR PAÍS (MILLONES DE USD) 123
FIGURA 9: USO DE LOS FONDOS LAC (2014-2019) 124
FIGURA 10: USO DE LOS FONDOS POR PAÍS (2014-2019) 124
FIGURA 11: DESGLOSE POR DIVISAS (LAC: 2014-2019) 127
FIGURA 12: DESGLOSE POR FECHA DE VENCIMIENTO (LAC: 2014-2019) 127

FIGURA 13: DESGLOSE POR TIPO DE EMISORES (LAC: 2014-2019) 128
FIGURA 14: CARTERA DE ECOEFICIENCIA DEL PROYECTO CGE DELTA 3 VIII 145
FIGURA 15: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS EÓLICOS VS. HIDRÁULICOS 146
FIGURA 16: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS EÓLICOS VS. GAS 147
FIGURA 17: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS EÓLICOS VS. CARBÓN 148
FIGURA 18: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS EÓLICOS VS. BIOENERGÍA 148
FIGURA 19: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS EÓLICOS VS. ENERGÍA NUCLEAR 149
FIGURA 20: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS SOLARES VS. HIDRÁULICOS 155
FIGURA 21: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS SOLARES VS. GAS 156
FIGURA 22: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS SOLARES VS. CARBÓN 156
FIGURA 23: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS SOLARES VS. BIOENERGÍA 157
FIGURA 24: CARTERA DE ECOEFICIENCIA: PROYECTOS SOLARES VS. NUCLEAR 158
FIGURA 25: EMISIONES DE GEI EVITADAS EN LAC (TCO_{2-EQ}/AÑO) 168
FIGURA 26: PRIMER ESCENARIO DE PROYECCIONES DE EMISIONES DE GEI EVITADAS EN LAC 171
FIGURA 27: SEGUNDO ESCENARIO DE PROYECCIONES DE EMISIONES DE GEI EVITADAS EN LAC 172

Resumen

El presente estudio tiene por objeto determinar la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Latinoamérica y el Caribe (LAC), midiendo las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de estos programas.

El trabajo inicia con la descripción de las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, desde 2014 hasta 2019. Luego de esta etapa descriptiva, se determina la ecoeficiencia relativa, con respecto a otros programas, de los proyectos eólicos y solares financiados con los fondos de los bonos verdes de la muestra. Más adelante, se establece la incidencia de estos proyectos sobre las emisiones de GEI en LAC, medida en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año. Finalmente, se realizan escenarios de proyecciones para explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de la región por la financiación de proyectos con bonos verdes.

La estrategia de investigación es de orden cuantitativa, lo que implica la recolección de datos numéricos y lo que presenta una visión deductiva de la relación entre teoría e investigación, una predilección por el enfoque del positivismo y una concepción objetivista de la realidad social.

El elemento innovador del presente trabajo es tratar los temas de la ecoeficiencia y de los GEI a través de los bonos verdes y más específicamente de los proyectos financiados con este tipo de deuda, generando evidencias sobre la repercusión de estos programas sobre el cambio climático de la región LAC.

- Palabras claves: bonos verdes, ecoeficiencia, gases de efecto invernadero (GEI), Latinoamérica y el Caribe (LAC), países emergentes.
- Clasificaciones JEL: G1, Q42, Q51, Q54

Introducción

Los bonos verdes son como cualquier tipo de bono convencional con una sola característica distintiva: los fondos recaudados se utilizan exclusivamente para financiar o refinanciar proyectos verdes elegibles, es decir a favor del medioambiente (ICMA, 2021). El Banco Europeo de Inversión (BEI) emitió en 2007 el primer bono de "concientización climática". El primer bono verde fue emitido por el Banco Mundial en 2008, pero es a partir de 2015 que estos instrumentos experimentaron una verdadera expansión. Desde 2007 hasta diciembre de 2022, se han emitido a nivel mundial más de USD 2.2 billones de bonos verdes etiquetados (Climate Bonds Initiative, 2023).

La presente investigación nace como parte del proyecto personal de compaginar el trabajo que realizo de inversionista en bonos con mi interés hacia las finanzas verdes. El primer bono verde lo negocié en 2016 y tres meses después publicaba mi primer artículo (no científico) sobre este tema. Si bien inicialmente me enfoqué hacia la temática de las políticas ambientales, sociales y de buen gobierno (ASG) de las empresas, centrarse en los bonos verdes resultó una evidencia, puesto que, al investigar sobre estos productos, realicé que podría aplicar los conocimientos adquiridos durante mis 20 años de experiencia como inversor en los mercados de renta fija, para intentar aportar evidencias de este tipo de instrumentos sobre el cambio climático.

Las publicaciones académicas sobre bonos verdes son relativamente recientes y, pese a que han aumentado en los últimos años, la mayor parte se concentra en factores de mercados como los precios de los bonos. La literatura que existe en la región denominada Latinoamérica y el Caribe (LAC) está igualmente enfocada hacia estos temas o es en su mayoría descriptiva. La particularidad de este estudio es que se trabaja la temática de los proyectos financiados con bonos verdes, centrándose por una parte en la ecoeficiencia de aquellos y por otra en su aporte a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Seguidamente, se desarrollará el contenido analítico de la investigación.

En el primer capítulo se da cuenta del planteamiento del problema de la tesis, de las preguntas de investigación, los objetivos, las hipótesis, y la justificación de aquellos. Asimismo, se presentan las decisiones metodológicas que guían el rumbo de la investigación. También se describe el recorte de la población, que conserva únicamente los bonos verdes emitidos entre

diciembre de 2014 y agosto de 2019 por empresas y entidades domiciliadas en los países y territorios de Latinoamérica y el Caribe. Igualmente, se detalla la clasificación sectorial que permite determinar los proyectos financiados con bonos verdes que serán parte del análisis. Además, se especifican las fuentes de datos primarias y secundarias utilizadas en la recolección. Finalmente, se establecen las dos técnicas (el análisis de ciclo de vida (ACV) y el costo nivelado de la energía (LCOE)) y el modelo EPPA que se utilizarán para responder a los objetivos enunciados.

En el segundo capítulo, se desarrolla el marco teórico de la investigación. En la primera parte, se presentan las características y las principales teorías de los instrumentos de deuda llamados bonos. Luego se expone los conceptos relacionados con los bonos verdes, poniendo un énfasis especial en los proyectos financiados con este tipo de bonos. Se explica la metodología de selección de la base de datos utilizada, con los sectores elegibles para los proyectos seleccionados, al igual que los tipos de financiación permitidos. También se detalla el funcionamiento y las buenas prácticas de los documentos de bonos verdes (informes de asignación de fondos, los folletos de emisión y las revisiones externas), cruciales para obtener datos. Adicionalmente, se revisa el estado del arte en el tema de bonos verdes. En la segunda parte del capítulo, se define precisamente la ecoeficiencia. Se desarrollan tres técnicas (el análisis de ciclo de vida (ACV), el costo de ciclo de vida (CCV) y el costo nivelado de la energía (LCOE)) necesarias para aplicar el análisis de la ecoeficiencia de BASF, método con el que se determinará la ecoeficiencia relativa de los proyectos financiados con bonos verdes. Por último, en la tercera sección del marco teórico, se cubren los conceptos y la literatura necesarios para establecer la incidencia de los proyectos sobre las emisiones de GEI en LAC y se detalla el proyecto CLIMACAP-LAMP, del cual se extrae el modelo EPPA que se emplea para realizar proyecciones.

En el tercer capítulo se realiza un análisis descriptivo y después se presentan los resultados en términos de la ecoeficienca relativa. En la parte descriptiva, se efectúa sobre los bonos verdes de la muestra los siguientes análisis: geográfico, uso de los fondos (sectorial y por país), moneda de denominación, fecha de vencimiento, tipos de emisores y montos emitidos. El análisis del uso de los fondos es el que permite determinar qué tipos de proyectos se financian. En la segunda parte del capítulo, se explica el trabajo de recolección de datos sectoriales que lleva a determinar el número de proyectos financiados con los bonos verdes de la muestra. La investigación se centra en el sector más financiado, la energía y particularmente en los

subsectores de eólicas y solares. En lo que respecta a los proyectos eólicos, se describe la metodología para conseguir los datos necesarios para calcular la ecoeficiencia relativa. Aplicando el método de BASF, se comparan estos campos eólicos con cinco fuentes alternativas de energía eléctrica y se presentan resultados. Más adelante, se aplica el mismo método a los parques fotovoltaicos e igualmente se presentan los resultados.

En el capítulo cuatro se desarrolla el trabajo sobre la incidencia de los proyectos financiados sobre los GEI. Para empezar, se expone el método de recolección de datos. Seguidamente, se constatan las correspondencias sectoriales y geográficas entre los programas financiados y las emisiones evitadas y se exponen los resultados obtenidos. En la segunda parte el capítulo, se especifican las características del modelo EPPA y los supuestos en términos de bonos emitidos y de emisiones de GEI evitadas, necesarios para realizar proyecciones. Se presentan dos escenarios con presunciones diferentes en términos del volumen de deuda emitida, que llevan a resultados distintos en términos de emisiones de GEI evitadas y de impacto sobre el cambio climático de la región.

El capítulo cinco realiza una discusión sobre varios elementos que se encontraron a lo largo de la investigación. Tanto para los bonos verdes como para la ecoeficiencia, el debate gira alrededor de una mayor transparencia que permitiría que la investigación científica avance y pueda transcribir los beneficios y el impacto de estos programas.

Finalmente, se exponen las conclusiones de la tesis, sintetizando el cumplimiento de los objetivos y la validación de las hipótesis a partir del trabajo realizado. Además de presentar los hallazgos, se abre la reflexión para otras líneas de investigación a futuro, teniendo como punto de partida el presente estudio.

Capítulo 1 - Marco metodológico

El siguiente capítulo desarrolla el proceso metodológico que se ha llevado a cabo para realizar la investigación, que parte de la observación y evaluación de fenómenos que se pueden medir para aportar al conocimiento del tema.

1.1 Planteamiento del problema

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)[1] de las Naciones Unidas en su *Sexto Informe de Evaluación (AR6) sobre el Cambio Climático* señala que el calentamiento global del planeta inducido por las actividades del hombre alcanzó durante la década de 2011-2020 aproximadamente 1,1°C por encima de los niveles preindustriales[2] (IPCC, 2023). En la Conferencia de París sobre el Clima (COP21) de 2015, 195 países acordaron limitar el aumento de la temperatura media mundial a 1,5 °C y "situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero" (Naciones Unidas, 2015, p.3). El informe del IPCC establece la dificultad del proceso actual de la lucha contra el cambio climático: las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) han aumentado un 14% desde la firma del Acuerdo de París en 2015, con un máximo histórico en 2021, mientras que los Estados miembros han acordado una reducción del 45% para 2030. Los compromisos actuales, de cumplirse, situarían al mundo en una trayectoria de 3,2 °C para 2100. Este organismo considera que, para tener posibilidades de limitar el cambio climático a 1,5 °C en 2100, se debe alcanzar un tope de emisiones de GEI en 2025, antes de reducirlas un 43% en 2030 y llegar a la neutralidad de carbono en 2050 (ODDO BHF, 2022a).

El IPCC agrega que, en la actualidad, casi la mitad de la población mundial vive en un contexto de "alta vulnerabilidad" al riesgo climático y que el nivel de vulnerabilidad varía mucho de una región a otra (ODDO BHF, 2022b). América Latina y el Caribe padecen las consecuencias del cambio climático de forma desproporcionada: 13 de los 50 países más afectados por el cambio climático en el mundo pertenecen a la región. Un 17% de los sucesos meteorológicos extremos relacionados con el clima que se registraron en todo el mundo entre 1970 y 2022 se produjeron

[1] Por las siglas de su denominación en inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change.
[2] El IPCC define el calentamiento global como un aumento de las temperaturas de la superficie del aire y la superficie del mar promediadas en todo el mundo, durante un período de 30 años. Generalmente, el calentamiento se expresa en relación con el período 1850–1900, utilizado como una aproximación de las temperaturas preindustriales.

en Latinoamérica y estos fenómenos extremos aumentaron en promedio en la mayoría de los países entre 2001 y 2022 en comparación con las dos décadas anteriores. Las emisiones totales de GEI de la región, medidas en toneladas equivalentes de dióxido de carbono ($TCO_{2\text{-}eq}$), aumentaron un 61% entre 1990 y 2019. Latinoamérica y el Caribe representan el 8,1% de las emisiones globales de GEI, lo que es proporcional al peso de su población a nivel mundial (8,4%), pero superior a su participación (6,4%) en el PIB global (OCDE et al., 2022).

La OCDE estima que para lograr una transición decisiva hacia trayectorias de reducción de emisiones manteniendo el calentamiento global por debajo de los 2°C, son necesarios 6,9 billones de dólares estadounidenses de inversiones anuales hasta 2030 en proyectos de infraestructuras limpias y resilientes que incluyan el transporte, el agua y el saneamiento así como el suministro y el consumo de energía. (OCDE, 2017). Los bonos verdes, cuyos fondos financian únicamente proyectos medioambientales, son instrumentos financieros capaces de movilizar capitales privados para lograr este tipo de objetivos. En 2022, el organismo Climate Bonds Initiative en su manifiesto "5 pasos hacia los 5 billones de dólares", afirma que, para contribuir de forma sustancial a hacer frente a los graves riesgos del cambio climático, se requiere una emisión anual de bonos verdes de al menos 5 billones de dólares estadounidenses a partir de 2025 (Climate Bonds Initiative, 2022b).

Con el propósito de medir la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre el cambio climático, particularmente en Latinoamérica y el Caribe, se formulan las siguientes preguntas orientadoras del trabajo de investigación:

- *Preguntas relativas a los bonos verdes en general*: ¿en qué consisten exactamente estos instrumentos de deuda? ¿cuál ha sido el desarrollo del mercado desde su creación? ¿qué tipo de proyectos se han financiado a nivel mundial con los fondos recaudados? ¿cuáles son los beneficios medioambientales generados por estos proyectos? ¿de qué manera se pueden medir estos beneficios? ¿cuál es su efecto en términos de reducción de los GEI?

- *Preguntas relativas a los bonos verdes en Latinoamérica*: ¿cuál ha sido el crecimiento de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe? ¿qué diferencias existen con el resto de regiones del mundo? ¿qué tipo de proyectos se han financiado en la región? ¿han contribuido estos proyectos a reducir las emisiones de GEI? ¿es posible pronosticar y

proyectar la incidencia en las emisiones de GEI de la región con el desarrollo de los bonos verdes?

- *Preguntas relativas a la ecoeficiencia:* ¿en qué consiste la ecoeficiencia de un producto o proyecto? ¿es factible medir la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes? ¿cuáles son los indicadores pertinentes para mensurar la ecoeficiencia? ¿se puede determinar la ecoeficiencia relativa de un proyecto con respecto a otro?

Las preguntas expuestas contextualizan la problemática de los proyectos financiados con bonos verdes, centrándose por una parte en la ecoeficiencia de los mismos y por otra en su aporte a la reducción de las emisiones de GEI.

1.2 Objetivos

Los objetivos que se formulan en la siguiente sección buscan resolver los problemas enunciados en las preguntas de investigación.

1.2.1. Objetivo general

Determinar la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Latinoamérica y el Caribe, midiendo las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de estos programas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, desde 2014 hasta 2019.
- Determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos.
- Establecer la incidencia de estos proyectos sobre las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe, medida en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año.
- Explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de la región por la financiación de proyectos medioambientales con bonos verdes en base a técnicas de simulación.

1.3 Hipótesis

- Primera: Los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación a otros programas alternativos.
- Segunda: Los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la región.

1.4 Metodologías y técnicas empleadas

1.4.1. Estrategia de investigación

La estrategia de investigación del presente estudio es de orden cuantitativo: puesto que es de interés conocer un estado de una realidad, se enfatiza los números y las estadísticas en la recopilación y el análisis de datos. El enfoque cuantitativo trata con fenómenos que se pueden medir y asignar un número como en este caso los proyectos financiados, la ecoeficiencia y las emisiones de GEI. Los datos numéricos recogidos se miden a través de técnicas matemáticas. El principal propósito de esta estrategia de investigación radica en la descripción, explicación, predicción y control objetivo de sus causas y la predicción de su ocurrencia, basando sus conclusiones sobre el uso de métodos cuantitativos, tanto de la recolección de sus resultados como de su procesamiento, análisis e interpretación (Sánchez Flores, 2019).

Desde el punto de vista epistemológico, la investigación cuantitativa es una estrategia de investigación que implica un enfoque deductivo de la relación entre teoría e investigación, en el que se hace hincapié en la comprobación de las teorías. Dentro del positivismo, el papel de la investigación es poner a prueba las teorías y proporcionar material para la elaboración de leyes científicas (Bell & Bryman, 2015). Partiendo de las teorías de bonos, bonos verdes y ecoeficiencia, se construyó el marco teórico y se generaron dos hipótesis, antes de recolectar los datos. Las dos hipótesis generan evidencias sobre la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes y sobre la contribución de este tipo de proyectos a mitigar las emisiones de GEI en Latinoamérica.

Para la interpretación de los datos, se utiliza la teoría fundamentada en el modelo hipotético-deductivo. Este modelo parte de premisas generales para llegar a una conclusión particular, que a través de experimentación y en base al concepto popperiano de falsación, sería la hipótesis para falsar. El falsacionismo de Popper indica que una teoría científica solo puede "sobrevivir" si no ha sido rechazada por la evidencia empírica. La teoría no puede considerarse verificada, sino solamente como "no refutada" o "corroborada". Por medio de la contrastación empírica,

el científico debe tratar de falsar las hipótesis existentes, con el propósito de eliminarlas del cuerpo del conocimiento existente (Hernández Chanto, 2008).

Desde el punto de vista ontológico, el estudio se basa en el objetivismo, puesto que los fenómenos sociales estudiados representan una realidad externa y autónoma. Las emisiones de bonos por empresas o países, la financiación de ciertos proyectos específicos, el precio de venta de la electricidad de un campo eólico, son fenómenos fuera de todo alcance o influencia del investigador. La objetividad de los procedimientos del método hipotético-deductivo deja de lado las convicciones subjetivas del investigador. Durante todo este estudio, desde la recolección de datos hasta su análisis, el investigador ha mantenido una posición neutral e imparcial.

1.4.2. Alcance del diseño de investigación

El alcance del diseño de investigación es de tipo descriptivo-exploratorio. Los alcances de tipo exploratorio estudian temas o fenómenos que han sido poco estudiados o que no se han abordado antes (Hernández Sampieri et al., 2014). La literatura sobre bonos verdes es relativamente reciente y la mayor parte se centra sobre factores de mercados. La investigación científica sobre este tipo de productos es aún menos abundante en mercados emergentes y particularmente en Latinoamérica, pese a recientes publicaciones en la región. El presente estudio ha explorado en detalle ciertos proyectos financiados con este tipo de bonos, investigando un problema poco analizado en este continente. Medir la ecoeficiencia de los proyectos ha permitido indagar sobre el tema de bonos verdes con una nueva perspectiva, lo cual es otro propósito del alcance exploratorio.

Los alcances de tipo descriptivo especifican las propiedades y características de fenómenos. Estos estudios únicamente definen y miden de manera independiente conceptos y variables sin indicar como se relacionan. En la presente investigación, se ha detallado el mercado latinoamericano de los bonos verdes, midiendo por una parte la incidencia sobre las emisiones de GEI del conjunto de los proyectos financiados y por otra parte la ecoeficiencia de los proyectos eólicos y solares. El propósito de este alcance ha sido cuantificar y mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno o contexto (Hernández Sampieri et al., 2014).

El objetivo general de esta investigación es determinar la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Latinoamérica y el Caribe, midiendo las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de estos programas. Se desprenden cuatro objetivos específicos. El primero es describir las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe desde 2014 hasta 2019. La metodología en este caso es descriptiva. El segundo objetivo específico es determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos mientras que el tercero es establecer la incidencia de estos proyectos sobre las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe, medida en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año. En lo que se refiere a estos dos objetivos específicos, el estudio es de tipo descriptivo-exploratorio, puesto que se miden variables que han sido poco estudiadas en el pasado, con una nueva perspectiva. El último objetivo específico es explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de la región por la financiación de proyectos medioambientales financiados con bonos verdes en base a técnicas de simulación. Este objetivo plantea un estudio de exploración del futuro.

1.4.3. Diseño de investigación

En base a las hipótesis formuladas, el diseño de investigación es de tipo no experimental y transeccional de tipo descriptivo. En los diseños no experimentales no existe manipulación de las variables por parte del investigador y se observan situaciones ya existentes (Hernández Sampieri et al., 2014). Los proyectos financiados con bonos verdes, su valor ecoeficiente y su impacto medioambiental son variables ya existentes que se analizaron sin ningún tipo de adulteración ni asignación al azar.

Acorde a Bryman y Bell (2015), los diseños transeccionales, transversales o de "encuesta social" tienen los siguientes elementos:

- *Los datos se recolectan en un solo momento, en un tiempo único.* Los emisores de bonos, tras recibir los cuestionarios con las variables a medir, dieron las respuestas prácticamente al mismo tiempo.
- *Existen más de un caso.* Para analizar la incidencia de las variables y su interrelación en un momento dado, se necesitan examinar más de un caso, como en el presente estudio que se examinaron varios bonos y sus diferentes proyectos respectivos.

- *Los datos son cuantitativos o cuantificables*. Para establecer la variación entre los casos, es necesario disponer de un método sistemático y normalizado como es el caso de la cuantificación. Las variables medidas en esta investigación son todas cuantificables.
- *Patrones o pautas de asociación.* Con este tipo de diseños únicamente es posible examinar las relaciones entre las variables y no se puede establecer relaciones causales.

Los diseños transeccionales descriptivos indagan la incidencia de las modalidades o niveles de una o más variables en una población (Hernández Sampieri et al., 2014). Las hipótesis son de tipo descriptivo e intentan predecir un dato en las variables que se miden. La primera hipótesis describe, en un momento dado, que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes. En el caso de la segunda hipótesis, se revisa si los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la región, también en un momento específico.

1.4.4. Población

Se consideró como población en estudio a los bonos verdes que figuran en la base de datos del instituto Climate Bond Initiative (CBI), una organización internacional creada en 2010 que se dedica a movilizar capitales para la acción por el medioambiente. Este organismo se financia mediante subvenciones de organizaciones sin fines de lucro (como la fundación Betty and Gordon Moore) o gubernamentales (Reino Unido, Alemania), con ingresos procedentes de contratos de proyectos del sector público y mediante cuotas de suscripción del programa Climate Bonds Partnership. Los socios (o "partners" en inglés) pertenecen al conjunto del sector financiero mundial: fondos de inversión, bancos, proveedores de servicios, bolsas de valores, así como gobiernos e instituciones supranacionales. El CIB es una organización sin fines de lucro, centrada en los inversores, cuya estrategia consiste en desarrollar un mercado de bonos verdes y climáticos amplio y líquido que contribuya a reducir el costo del capital para proyectos climáticos tanto en mercados desarrollados como emergentes (Climate Bonds Initiative, 2023).

Uno de los principales objetivos del CBI es el de proveer información sobre el mercado de bonos verdes. A este fin, publican regularmente informes regionales y específicos de cada país, generales sobre el estado del mercado, temáticos - por ejemplo, sobre sectores y estructuras utilizados en el mercado- y guías para facilitar las emisiones. Para orientar a los emisores e inversores de una manera independiente y científica sobre qué activos y actividades son consistentes con una transición rápida hacia una economía baja en carbono, el CBI ha creado

la *Taxonomía de los bonos climáticos* (Climate Bonds Initiative, 2021). El seguimiento del volumen del mercado lo realizan publicando una lista de los bonos verdes "etiquetados" más recientes. *La base de datos de bonos verdes del CBI* utiliza un conjunto claro de criterios basándose en los sectores y el uso de los fondos recaudados para definir los bonos verdes que son elegibles (Climate Bonds Initiative, 2022a).

1.4.4.1 Región y rango de fechas

La presente investigación se centró exclusivamente en los bonos verdes de la base de datos del CBI emitidos por empresas y entidades domiciliadas en los países y territorios de la región denominada Latinoamérica y el Caribe (LAC). Según Naciones Unidas, en la actualidad existen treinta y tres países en América Latina y el Caribe (Naciones Unidas, 2023). Además, en la región, se encuentran dieciséis "territorios dependientes" o "zonas de soberanía especial", la mayoría en la subregión del Caribe. Los emisores de estos territorios, como por ejemplo las Islas Bermudas, son considerados por el CBI de la zona LAC. Las listas completas de los países y territorios, clasificadas por subregiones, figuran en el anexo 1.

Además de la región, el presente estudio recortó la población para conservar únicamente los bonos verdes emitidos entre diciembre de 2014 y agosto de 2019. El primer bono verde latinoamericano se incorporó al mercado en 2014 (Climate Bonds Initiative, 2019a). Es así como se consideró este rango de fechas de emisión para disponer, durante la elaboración de la tesis, de los informes anuales post-emisión que generalmente se publican un año después de la colocación de los bonos y que contienen las informaciones sobre asignaciones e impactos.

1.4.4.2 Bonos verdes de Latinoamérica y el Caribe (base de datos del CBI)

El acceso a la base de datos no es público y para obtener la información fue necesario enviar el formulario de solicitud para investigaciones académicas del CBI. Únicamente tras haber verificado los detalles de la universidad y el objeto del presente estudio, el instituto Climate Bond Initiative accedió a comunicar los 57 bonos verdes auto-etiquetados emitidos antes de agosto de 2019, por corporaciones e instituciones de la región LAC y que figuran en su base de datos. La lista completa de los bonos recibidos, con su fecha de emisión y de vencimiento, figura en el anexo 2.

El primer bono verde de la región fue emitido en diciembre de 2014 por la empresa peruana Energía Eólica. Desde esa fecha hasta agosto de 2019, 44 emisores diferentes introdujeron en el mercado 57 bonos verdes por un monto equivalente a USD 13,016 millones. Si bien estos instrumentos recaudaron fondos en siete monedas diferentes, 67% del monto global fue emitido en dólares americanos (USD) y 12% en euros (EUR). Las divisas locales más representadas fueron el real brasileño (BRL) con 11%, seguido por el peso mejicano (MXN) y el peso colombiano (COP), los dos con 4%.

Ocho países y tres instituciones supranacionales de Centro y Sudamérica emitieron bonos durante las fechas seleccionadas. Brasil es de lejos el país más representado de la muestra con 22 bonos, que significan 43% del monto equivalente en dólares emitido. Le siguen Chile con siete emisiones (24% del monto) y México con siete emisiones (11% del monto). Cuatro bonos verdes argentinos figuran en la lista.

Tabla 1: Desglose geográfico

País	Bonos
Argentina	4
Brasil	22
Chile	7
Colombia	5
Costa Rica	1
México	7
Perú	5
Supranacionales	5
Uruguay	1
Total	**57**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

En cuanto a los tipos de emisores, los corporativos no-financieros, es decir las empresas privadas, son los más presentes con 29 bonos. El segundo tipo más representado son los Bancos de desarrollo con 11 emisiones y los corporativos financieros - en este caso bancos privados - con seis títulos. Los datos incluyen también dos bonos soberanos de la República de Chile y cinco de gobiernos regionales como la Provincia de La Rioja o la Ciudad de México. Cabe resaltar que uno de los bonos emitido por la empresa brasileña Suzano Papel e Celulose es un

"asset backed secutity (ABS)". En el caso del productor chileno Agrosuper, el tipo de deuda es un préstamo o crédito verde[3] ("loan en inglés) y no un bono.

Tabla 2: Tipos de emisores

Tipo	Bonos
ABS	1
Banco de desarrollo	11
Corporativo financiero	6
Corporativo no-financiero	29
Entidad respaldada por el gobierno	2
Gobierno local	5
Préstamo	1
Soberano	2
Total	**57**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

Uno de los objetivos de esta investigación es medir la ecoeficiencia relativa de los proyectos financiados con bonos verdes emitidos en Latinoamérica. Para determinar qué tipos de proyectos fueron financiados con estos 57 bonos y préstamos verdes, era necesario analizar el uso de los fondos empezando por los sectores a los cuales se han destinado los recursos recaudados con estos instrumentos financieros.

En la base de datos recibida figuraba el uso elegible de los fondos de cada bono verde con referencia a uno de los ocho sectores de la Taxonomía del CBI (ver anexo 3). Teniendo en cuenta que ciertos bonos no financiaron un solo sector, se construyó una clasificación sectorial en tres etapas, utilizando los sectores y subsectores de la Taxonomía. Durante la primera etapa se conservaron los ocho sectores y se creó la categoría "varios" para los bonos con proyectos multisectoriales. La tabla 3 sintetiza los resultados de esta primera clasificación.

[3] Similares a los bonos verdes, los préstamos verdes son préstamos o inversiones bancarios diseñados para apoyar la transición hacia una economía neta de cero emisiones de carbono mediante proyectos responsables con el medio ambiente y la mitigación del cambio climático (Gilchrist et al., 2021).

Tabla 3: Desglose sectorial (1ra etapa)

Sector	Bonos
Agua	2
Construcciones	1
Energía	27
Uso de la tierra y recursos marinos	7
Varios	20
Total	**57**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

Más de la mitad de los instrumentos verdes de la muestra financiaron proyectos elegibles dentro del sector "energía". El "uso de la tierra y recursos marinos" fue el segundo sector más representado con siete bonos, detrás de la categoría creada "varios" que abarca 20 instrumentos de deuda.

Una vez los sectores identificados, la siguiente etapa consistió en determinar los subsectores financiados consultando los informes de asignación de los fondos recaudados publicados por los emisores, los folletos de emisión y los documentos de revisiones externas[4]. El desglose exacto de los proyectos financiados por los bonos de la categoría "varios" se realizó en base a estos reportes. La tabla 4 ilustra, a modo de ejemplo, los proyectos financiados con el primer título de deuda verde del banco colombiano Bancolombia (bono número 36 del anexo 2):

Tabla 4: Uso de los fondos Bancolombia

Proyectos	Monto (M COP)	% Bono
Proyectos hidroeléctricos	216544	58%
Proyectos de construcción	154013	42%
Total	**370557**	**100%**

Fuente: Grupo Bancolombia (2021), elaboración propia

Además de los bonos clasificados como "varios", ciertos bonos financiaron proyectos o activos de diversos subsectores dentro del mismo sector como es el caso de la empresa brasileña Neoenergia (bono número 16 del anexo 2):

[4] Los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión y las revisiones externas se detallan en la sección 1.4.5 de este capítulo.

Tabla 5: Uso de los fondos Neoenergia

Proyectos	Monto (M BRL)	% Bono
Proyecto hidroelétrico	400	31%
Proyectos eólicos	221	17%
Proyectos de transmisión	673	52%
Total	**1294**	**100%**

Fuente: SITAWI (2019), elaboración propia

Durante esta segunda etapa, se conservaron los subsectores a los cuales la mayor parte de los recursos fueron destinados. En el caso de los dos ejemplos anteriores, el bono de Bancolombia quedó clasificado como "energía hidroeléctrica" mientras que Neonergia como "trasmisión y distribución". Este análisis se realizó en todos los bonos de la muestra y permitió identificar 13 tipos de proyectos financiados que se encuentran sintetizados en la siguiente tabla:

Tabla 6: Desglose sectorial (2da etapa)

Subsector	#
Agricultura	1
Bioenergía	1
Construcciones	2
Eficiencia Energética	4
Energía Hidroeléctrica	2
Eólica	14
Infraestructura Hidráulica	3
Microcredito[5]	1
Pesquerías y Acuicultura	1
Silvicultura Comercial	8
Solar	7
Transporte Público de Pasajeros	7
Trasmisión y Distribución	4
Total	**55**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

A este nivel, se identificaron solamente 55 tipos de proyectos debido a que los bonos de la Provincia de la Rioja emitido en diciembre de 2017 y el de Suzano Papel e Celulose emitido en septiembre de 2017 (números 3 y 23 respectivamente del anexo 2) son emisiones de tipo "tap"[6]

[5] El microcrédito no forma parte de los sectores elegibles por la taxonomía del CBI. Se mantuvo este bono en la lista en base al filtro previo realizado por el CBI.
[6] Una emisión "tap" tiene la misma fecha de vencimiento, valor nominal y tipo de cupón que el bono original, pero se vende posteriormente al precio de mercado.

de dos bonos anteriores (números 4 y 24 respectivamente del anexo 2) y por ende financiaron los mismos proyectos subyacentes.

La tercera y última etapa de la clasificación fue implementada con el propósito de no excluir ciertos proyectos relevantes financiados por los bonos multisectoriales. En esta instancia se conservaron los segundos y terceros subsectores más importantes en términos de los recursos destinados. Los subsectores considerados relevantes en esta fase fueron aquellos a los cuales al menos 15% del total de los fondos del bono fueron asignados. Ilustrado con el caso de Neonergia (tabla 5), los proyectos financiados en segundo y tercer orden de importancia fueron dentro de los subsectores "energía hidroeléctrica" y "eólica". La tabla 7 sintetiza los resultados de esta tercera ordenación:

Tabla 7: Desglose sectorial (3ra etapa)

Subsector	***2do***	***3ro***
Aguas Residuales	1	-
Construcciones	3	-
Energía Hidroeléctrica	2	-
Eólica	2	1
Infraestructura Hidráulica	7	1
Reciclaje	1	-
Silvicultura Comercial	-	1
Transporte Privado	1	-
Total	**17**	**3**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

En base de la clasificación realizada, los 56 bonos y el préstamo de la muestra financiaron 75 tipos de proyectos elegibles, en su mayoría de energía eólica (23%) y solar (9%), de infraestructuras hidráulicas (15%) y de silvicultura comercial (12%):

Tabla 8: Síntesis del desglose sectorial

Subsector	#
Agricultura	1
Aguas Residuales	1
Bioenergía	1
Construcciones	5
Eficiencia Energética	4
Energía Hidroeléctrica	4
Eólica	17
Infraestructura Hidráulica	11
Microcredito	1
Pesquerías y Acuicultura	1
Reciclaje	1
Silvicultura Comercial	9
Solar	7
Transporte Privado	1
Transporte Público de Pasajeros	7
Trasmisión y Distribución	4
Total	**75**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

1.4.5. Recolección de datos

En el inicio del presente capítulo se describió la investigación cuantitativa como una estrategia de investigación que implica la recolección de datos numéricos y que presenta una visión deductiva de la relación entre teoría e investigación, una predilección por el enfoque del positivismo y una concepción objetivista de la realidad social (Bell & Bryman, 2015). La recolección de datos conlleva elaborar un plan detallado de procedimientos para determinar cuáles son y donde están precisamente situadas las fuentes de las que se obtendrán los datos. El plan también debe establecer los métodos de recolección y de análisis. Esta etapa consiste en colectar los datos pertinentes sobre las variables, los conceptos o los atributos a medir contenidos en el planteamiento e hipótesis (Hernández Sampieri et al., 2014).

La primera hipótesis que se formuló dentro de esta investigación es que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación a otros programas alternativos. Por lo tanto, la primera variable a medir era la ecoeficiencia de este tipo de proyectos. La segunda hipótesis planteada es que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la región. Por consiguiente, el segundo atributo que se tuvo que medir es

el volumen de emisiones de GEI, medido en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año, que se evitó gracias a los proyectos financiados con bonos verdes. Tanto para la primera como para la segunda variable, se utilizaron en primer lugar tres fuentes de datos secundarios, a saber, los informes post-emisión de asignación de los fondos recaudados, los folletos de emisión de bonos y las revisiones externas. Se trata de datos secundarios, puesto que se consultó documentos, registros públicos y archivos electrónicos (Hernández Sampieri et al., 2014). Se denomina análisis secundario a los análisis de datos por parte de investigadores que probablemente no han participado en la recogida de dichos datos y que los utilizan con fines que con toda probabilidad no estaban previstos por los responsables de la recogida de datos. Los responsables de la recolección de datos pueden ser otros investigadores, organizaciones, o como en este caso, las empresas para sus propios fines (Bell & Bryman, 2015).

1.4.5.1. Informes de asignación de fondos

Los Principios de los Bonos Verdes (GBP)[7] de la Asociación Internacional de Mercados de Capitales (ICMA)[8] en la sección de informes, recomiendan que los emisores mantengan informaciones actualizadas y fácilmente disponibles sobre el uso de los fondos, publicándolas con una frecuencia anual por lo menos hasta la asignación total de los fondos. Estos informes deben incluir una lista con una breve descripción de los proyectos a los que se han atribuido los fondos del bono, las cantidades adjudicadas y su impacto[9] esperado. Los GBP proponen que la información se presente en términos genéricos o en una cartera agregada que indique el porcentaje asignado a determinadas categorías o sectores, cuando existan acuerdos de confidencialidad, consideraciones de competencia o un gran número de proyectos subyacentes que limiten la cantidad de detalles que se pueden divulgar. Estos informes se encuentran generalmente en las páginas web corporativas o solicitándolos a los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas de las empresas (ICMA, 2021).

1.4.5.2. Folletos de emisión de bonos

El folleto de emisión de un instrumento financiero ("prospectus" en inglés) se define en términos generales como una declaración de registro definitiva y aprobada que incluye el precio

[7] Por las siglas de su denominación en inglés, Green Bond Principles.
[8] Idem, International Capital Market Association.
[9] El Global Impact Investment Network (GIIN) define a las inversiones de impacto como inversiones realizadas con la intención de generar un impacto social y medioambiental positivo y medible, junto con un rendimiento financiero. Dentro del marco de esta investigación, el termino "impacto" hace referencia a los beneficios medioambientales generados por los proyectos financiados con bonos verdes.

al que se ofrece el valor a la emisión (Bodie et al., 2014). Con más detalle, un folleto de emisión es un documento oficial de emisión que prepara el emisor antes de la colocación de los valores y que contiene información esencial sobre la organización y los parámetros de las colocaciones previstas. El folleto se registra ante la autoridad supervisora competente del país en el que se colocan los valores. El objetivo principal del folleto es proporcionar información completa, exhaustiva y fiable, gracias a la cual los inversores potenciales pueden tomar una decisión de inversión informada para adquirir el instrumento (Cbonds, 2023). Los folletos de bonos se encuentran en la sección de relaciones con los inversionistas de las páginas web de los emisores o en sitios financieros especializados, como por ejemplo el de ANBIMA[10] para los bonos brasileños.

1.4.5.3. Revisiones externas

Los GBP recomiendan que los emisores designen a uno o varios proveedores externos de revisión para confirmar la alineación de su bono o programa de bonos verdes con todos los componentes básicos de los principios. Los emisores que "etiquetan" sus bonos como "verdes" deben proporcionar detalles a los inversores sobre los criterios medioambientales de elegibilidad para el uso de los fondos recaudados y divulgarlos. Para una mayor transparencia, los emisores también pueden encargar una revisión externa de las "credenciales verdes" del uso de los recursos. Estas revisiones pueden adoptar diferentes formas, a saber: opinión de segundas partes, verificación, puntuación o calificación de bonos verdes y certificación (Climate Bonds Initiative, 2023; ICMA, 2022a). Estos documentos se encuentran en las páginas web de los emisores, en las secciones de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas, o contactando a los equipos de estos departamentos.

1.4.5.4. Cuestionarios a los emisores

Los análisis secundarios proporcionan informaciones útiles sobre los sectores de los proyectos y el volumen de emisiones de GEI evitadas. Con el propósito de obtener datos más técnicos sobre los proyectos, se utilizó una de las técnicas de recolección más empleada en la observación de los fenómenos sociales, los cuestionarios. Estos permiten obtener datos directamente de la gente en una forma sistemática y estandarizada, aplicando una serie de preguntas estructuradas previamente (Quispe Limaylla, 2013). Los cuestionarios

[10] La Associação Brasileira das Entidades dos Mercados Financeiro e de Capitais (ANBIMA) es una plataforma que reúne datos de activos de mercado.

autoadministrados son aquellos en los cuales los encuestados responden a las preguntas ellos mismos. El método de autoadministración puede adoptar varias formas: individual, grupal o por envío ya sea por correo postal o electrónico (Hernández Sampieri et al., 2014).

Se enviaron cuestionarios autoadministrados e individuales, por correo electrónico, a los responsables de los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas de los emisores de la muestra que patrocinaron proyectos de energía eólica y solar.[11] Se incluyeron preguntas cerradas puntuales sobre los indicadores específicos para calcular la ecoeficiencia de estos proyectos, como por ejemplo el potencial de calentamiento global de una turbina eólica (medido en gramos de CO_2 equivalente por kilovatios hora) o el precio de la electricidad producida por el proyecto (medido en USD por megavatios hora). Cada cuestionario se adaptó en función de los datos obtenidos con las fuentes secundarias. También se incluyeron preguntas relativas a las emisiones de CO_2 en caso de no disponer de informes de asignación de fondos para estos bonos. Las preguntas cerradas proporcionan un número limitado de opciones de respuesta, por lo cual son elementos más simples de administrar y analizar (Salazar Piña & Flores Romero, 2021). El anexo 4 incluye un ejemplo de los cuestionarios enviados. De manera similar, se contactó a los constructores de aerogeneradores, solicitándoles los informes del Análisis de ciclo de vida de las turbinas utilizadas en los proyectos eólicos financiados con los bonos verdes de la muestra.

1.4.5.5. Entrevistas a expertos

En el marco de esta investigación, se contactaron expertos en temas medioambientales, académicos y profesionales del área. El propósito de estos contactos era principalmente solicitar otras fuentes de datos en caso de que todas las anteriores no hayan dado resultados, pero también utilizar su competencia para estimar ciertas cifras. Se los contactó por correo electrónico y también se realizaron entrevistas. Estas últimas fueron transcritas manualmente. Teniendo en cuenta los recaudos de anonimato, se encuentran a disposición los audios grabados.

1.4.5.6. Base de datos BloombergNEF

Siguiendo la recomendación de uno de los expertos previamente mencionados, se consultó la base de datos secundarios Bloomberg New Energy Finance (también llamada BloombergNEF

[11] Previamente al envío de los cuestionarios, se contactó a varios responsables de estos departamentos con el fin de obtener los informes de asignación de fondos que no estaban disponibles en la página web de la compañía.

o BNEF), que es un proveedor de investigación sobre energía limpia y materias primas. Es una fuente de información, datos y noticias sobre la transformación del sector energético, que cubre compañías de electricidad, gas, eólicas, solares, entre otras. Es además la base de datos más completa del mundo sobre inversores, oportunidades y transacciones dentro del sector de la energía limpia y del carbono. BloombergNEF es parte de Bloomberg, la compañía estadounidense de asesoría financiera, software, data e información bursátil. La investigación y el análisis del BNEF son accesibles a través de la plataforma web, así como en el terminal Bloomberg.

1.4.6. Análisis de ciclo de vida (ACV)

La Organización Internacional de Normalización (ISO)[12] define el ACV como una recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida, desde su adquisición a partir de recursos naturales hasta su disposición final (ISO, 2006). Es una herramienta de gestión ambiental, que identifica y cuantifica las diferentes repercusiones de un producto, desde la extracción de sus materias primas hasta que se convierte en un residuo. Evaluar el impacto ambiental de un producto "desde la cuna hasta la tumba" es el interés principal del ACV (Kicherer et al., 2006). Los propósitos del ACV pueden ser: (1) la comparación de productos, procesos o servicios alternativos; (2) la comparación de ciclos de vida alternativos para un determinado producto o servicio; o (3) la identificación de las partes del ciclo de vida en las que pueden realizarse las mayores mejoras (Roy et al., 2009). El ACV permite medir el impacto medioambiental de los diferentes proyectos al determinar la ecoeficiencia.

1.4.7. Costo nivelado de la energía (LCOE)

También denominado costo nivelado de la electricidad, el costo nivelado de la energía (LCOE)[13] es una medida utilizada para evaluar y comparar métodos alternativos de producción de energía. El LCOE de un activo generador de energía puede considerarse como el costo medio total de construcción y funcionamiento del activo por unidad de electricidad total generada durante la vida útil supuesta. Alternativamente, el LCOE puede considerarse como el precio medio mínimo al que debe venderse la electricidad generada por el activo para compensar los costos totales de producción durante su vida útil.

[12] El nombre deriva del griego "isos", que significa igual.
[13] Por las siglas de su denominación en inglés, Levelized Cost of Energy.

El LCOE es un parámetro importante a la hora de decidir si un proyecto sigue adelante o no ya que determinará si el proyecto alcanzará el punto de equilibrio y si será rentable. El LCOE también es un cálculo importante para comparar distintas tecnologías de producción de energía, como la eólica, la solar y la nuclear. Permite realizar comparaciones independientemente de las duraciones de vida, costos de capital, tamaño de los proyectos y riesgos asociados a cada proyecto. Esto se debe a que el LCOE refleja un costo por unidad de electricidad generada y el riesgo de cada proyecto es una consecuencia de la tasa de descuento específica utilizada para cada activo generador de energía (CFI, 2023). El LCOE permite estimar los costos de producción de los diferentes proyectos al medir la ecoeficiencia.

1.4.8. El modelo EPPA (MIT)

El modelo "Emissions Prediction & Policy Analysis" (EPPA) forma parte del modelo integrado de sistemas globales del Massachusetts Institute of Technology (MIT). Es un modelo de equilibrio general que proporciona proyecciones del desarrollo económico mundial a escala regional y sectorial. El EPPA se basa en el conjunto de datos del "Global Trade Analysis Project" (GTAP) y en otras fuentes adicionales para desarrollar proyecciones de crecimiento económico y simulaciones de futuras emisiones de GEI y otros contaminantes relacionados con el efecto invernadero (IAMC, 2023). Este modelo está incluido en el proyecto CLIMACAP-LAMP, un estudio coordinado de comparación de 14 modelos que se centran en la energía y la mitigación del cambio climático en América Latina.

En este primer capítulo, se ha dado cuenta del planteamiento del problema de la tesis, de las preguntas de investigación, de los objetivos, las hipótesis, y la justificación de los mismos. Asimismo, se han presentado las decisiones metodológicas realizadas a lo largo de la investigación. Se describió una estrategia de investigación de orden cuantitativa que implica la recolección de datos numéricos y que presenta una visión deductiva de la relación entre teoría e investigación, una predilección por el enfoque del positivismo y una concepción objetivista de la realidad social. Igualmente se detalló las clasificaciones que permitieron acotar la población para determinar los proyectos financiados con bonos verdes que serán parte del análisis. Finalmente, se especificaron las fuentes de datos utilizadas en la recolección (cuatro secundarias y dos primarias), dos técnicas (el ACV y el LCOE) y un modelo (EPPA) necesarios para responder a los objetivos enunciados.

Capítulo II - Marco teórico

El siguiente capítulo desarrolla la perspectiva teórica, es decir revisa las teorías, los conceptos y los estudios previos para contextualizar la investigación.

Parte A - Bonos y bonos verdes

Los bonos verdes son el núcleo de la presente investigación, puesto que el objetivo general es determinar la incidencia de los proyectos financiados con este tipo de bonos sobre las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe además de medir las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de estos programas. Por lo tanto, en la primera sección se presentará los instrumentos financieros denominados bonos, con sus categorías y características, así como las teorías explicativas de su funcionamiento. En la segunda sección, se intentará dar cuenta de las especificidades de los bonos llamados verdes, particularmente sobre el tipo de proyectos que se financian con los fondos recaudados. Es de estos proyectos que se procurará medir la ecoeficiencia relativa, así como la incidencia en las emisiones de GEI de la región.

2.A.1. Bonos

2.A.1.1. Definición

Un bono es un instrumento financiero emitido en relación con un acuerdo de préstamo. El prestatario emite (es decir, vende) un bono al prestamista a cambio de cierta cantidad de dinero. El acuerdo obliga al emisor a realizar pagos específicos al tenedor del bono en determinadas fechas durante su vigencia, denominados pagos de cupones. Cuando el bono vence, el emisor cancela la deuda pagando su valor nominal (designado también como el principal). La tasa de cupón, la fecha de vencimiento y el valor nominal del bono son parte de la escritura o contrato entre el emisor y el tenedor del bono (Bodie et al., 2014).

El objetivo de un emisor de bonos (por ejemplo, un gobierno o una corporación) es financiar su presupuesto o sus proyectos de inversión (así como la construcción de carreteras, escuelas, o el desarrollo de nuevos productos, nuevas plantas) a un tipo de interés que se espera sea inferior a la tasa de rendimiento de la inversión. A través de la emisión de bonos, se tiene un acceso directo al mercado, y se evita pedir prestado a los bancos. Esta práctica tiende a aumentar

rápidamente en el contexto de la desintermediación financiera. El tenedor de bonos tiene el estatus de acreedor, a diferencia del tenedor de acciones que tiene el estatus de propietario de la sociedad emisora (Martellini et al., 2003).

Los principales componentes que caracterizan una emisión de bonos son:

- El nombre y el sector del emisor;
- El mercado en el que se emite el bono y la moneda de denominación;
- La fecha de vencimiento, es decir la fecha en la que vence el principal;
- El cupón: el tipo (por ejemplo, fijo o flotante), la tasa (expresada en porcentaje del importe principal) y la frecuencia (semestral o anual);
- El diferencial de rendimiento ("spread" en inglés): el diferencial en puntos básicos respecto al rendimiento del bono del Tesoro de referencia con fecha de vencimiento equivalente;
- El monto emitido y el saldo pendiente;
- El principal o valor nominal o a la par: el monto nocional que acuerda pagar el emisor del bono en su vencimiento;
- La calificación ("rating" en inglés): la evaluación de la calidad de un bono y de la probabilidad de impago del emisor. La calificación se basa en criterios como la reputación del emisor, su gestión, su balance de cuentas y su historial de pago de intereses y principal. Las agencias de calificación más importantes son Moody's, Standard and Poor's (S&P) y Fitch Ratings.
- El código de identificación: los más populares son los números ISIN y CUSIP[14].

2.A.1.2. Principales riesgos asociados a invertir en bonos

El *riesgo de tipo de interés* es el principal riesgo al que se enfrentan los inversores en este tipo de productos debido a que el precio de un bono fluctúa inversamente con los tipos de interés del mercado. Es el riesgo que el precio de un bono mantenido en la cartera baje si los tipos de interés del mercado suben. La sensibilidad del precio de un bono a las variaciones de los tipos de interés del mercado depende de varias características de la emisión, como la fecha de vencimiento y la tasa del cupón. Manteniendo constantes todos los demás factores, cuanto más largo sea el vencimiento del bono y cuanto más bajo sea la tasa del cupón, mayor será la sensibilidad. *La duración* es una medida de la sensibilidad del precio de un bono a los cambios

[14] Por las siglas de su denominación en inglés, International Securities Identification Number y Committee on Uniform Securities Identification Procedures respectivamente.

en los tipos de interés del mercado. Dicho de otra manera, es la estimación de la variación porcentual del precio del bono para una variación de 100 puntos básicos del rendimiento del mercado.

Otro riesgo importante al que está expuesto un inversor que presta fondos mediante la compra de un bono es el *riesgo de crédito.* Existen tres tipos de riesgo de crédito. El *riesgo de impago* ("default risk" en inglés) se define como el riesgo de que el emisor incumpla las condiciones de la obligación con respecto al pago puntual de intereses y principal. En caso de impago, el inversor puede esperar recuperar un determinado porcentaje de la inversión denominado la tasa de recuperación ("recovery rate" en inglés). El segundo es el *riesgo de diferencial de crédito*. Está asociado a que el rendimiento de un bono se compone de dos elementos: el rendimiento de una emisión similar de bonos sin riesgo[15] y una prima de riesgo necesaria para compensar los riesgos asociados al bono. Esta prima se denomina diferencial de rendimiento. La parte de la prima de riesgo o del diferencial de rendimiento atribuible al riesgo de impago se denomina diferencial de crédito ("credit spread" en inglés). Si el diferencial de crédito aumenta, los inversores dicen que el diferencial se ha "ampliado" y el precio de mercado de la emisión de bonos bajará (suponiendo que las tasas sin riesgo no hayan cambiado). Finalmente, el *riesgo de rebaja de calificación* ocurre cuando las agencias de calificación realizan una rebaja imprevista de la calificación de una emisión o de un emisor, lo que aumenta el diferencial de crédito y provoca un descenso del precio de la emisión o de los bonos del emisor. Este riesgo está estrechamente relacionado con el riesgo de diferencial de crédito.

El *riesgo de liquidez* es el riesgo de que el inversor tenga que vender un bono por debajo de su valor indicado, siendo la indicación revelada por una transacción reciente. La principal medida de liquidez es el tamaño del diferencial entre el precio al que un intermediario está dispuesto a comprar el título (el precio de oferta o "bid price" en inglés) y el precio al que un intermediario está dispuesto a vender el valor (el precio de demanda o "ask price" en inglés). Cuanto mayor sea el diferencial, mayor será el riesgo de liquidez.

El *riesgo de reinversión* es el riesgo de que los ingresos recibidos por los pagos programados (es decir, los intereses y el principal), que están disponibles para su reinversión, deban reinvertirse a un tipo de interés más bajo que el valor que generó los ingresos.

[15] Para las emisiones en USD, las tasas de las emisiones del Tesoro de los Estados Unidos son los rendimientos sin riesgo de referencia. Su equivalente para las emisiones en EUR son las tasas del gobierno de la República Federal Alemana.

El riesgo de recibir menos de la divisa de referencia cuando se invierte en una emisión de bonos que realiza pagos en una moneda distinta a la divisa local se denomina *riesgo de tipo de cambio* o *riesgo de divisa*. Además, cuando un inversor adquiere un bono emitido por una entidad extranjera, este se enfrenta al *riesgo soberano*: las acciones de un gobierno extranjero pueden aumentar el diferencial de riesgo de crédito o aumentar la probabilidad de una rebaja de calificación, incluso en ausencia de impago. Ambos tendrán un impacto adverso en el precio del bono. El riesgo soberano consta de dos partes. En primer lugar, la falta de voluntad de pago de un gobierno extranjero, es decir, ese gobierno puede simplemente repudiar su deuda. La segunda es la incapacidad de pagar debido a condiciones económicas desfavorables en el país.

El *riesgo de evento* surge cuando la capacidad de un emisor para hacer frente a los pagos de intereses y principal cambia drástica e inesperadamente debido a factores externos, como un desastre natural (por ejemplo, un terremoto o un huracán), un accidente industrial, una adquisición o reestructuración empresarial y un cambio normativo o reglamentario (Fabozzi, 2007).

2.A.1.3. Precio y rendimiento al vencimiento

Teniendo en cuenta que los pagos de los cupones y del principal de un bono ocurren meses o años en el futuro, el precio que un inversor está dispuesto a pagar por un derecho a esos pagos depende del valor del dinero que se recibirán en el futuro en comparación con el dinero que se tiene hoy. Este cálculo del "valor actual" depende de los tipos de interés del mercado (la tasa sin riesgo) pero a su vez incorporará una prima adicional que refleje las características específicas de los bonos, como el riesgo de impago, de liquidez, etcétera. Suponiendo que existe un solo tipo de interés apropiado para descontar los pagos de cupones hasta la fecha de vencimiento más el pago final del valor nominal o principal, el precio de un bono se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Precio del bono} = \text{Valor actual de los cupones} + \text{Valor actual del valor nominal}$$

El rendimiento al vencimiento (“yield to maturity” en inglés) es la medida estándar de la tasa de rendimiento total de un bono a lo largo de su vida y se define como el tipo de interés que hace que el valor actual de los pagos de un bono sea igual a su precio. Este tipo de interés se interpreta a menudo como una medida de la tasa media de rendimiento que se obtendrá de un

bono si se compra ahora y se mantiene hasta su vencimiento. Para calcular el rendimiento al vencimiento, se debe resolver la ecuación anterior para obtener el tipo de interés dado el precio del bono, la fecha de vencimiento y los pagos de cupón (Bodie et al., 2014).

2.A.1.4. Tipos de bonos

La siguiente sección desarrolla los principales tipos de bonos que existen en los mercados financieros en base a las clasificaciones realizadas por Fabozzi (2007) y Crescenzi (2010). Cada tipo de bono presenta características únicas que difieren mucho de uno a otro. La mayoría de estas diferencias están relacionadas con la solvencia, la fiscalidad, los flujos de fondos (cupones y principal), las fechas de vencimiento, las cláusulas de reembolso y las garantías.

a) Bonos soberanos

En muchos países que tienen un mercado de bonos, el sector más importante suele ser el de los bonos emitidos por el gobierno central del país. Estos bonos se denominan bonos soberanos, gubernamentales o del Estado. Un gobierno puede emitir valores en su mercado nacional de bonos o en el sector extranjero, el mercado de bonos de otro país. Aunque la denominación monetaria de un valor gubernamental suele ser la moneda del país emisor, un gobierno puede emitir bonos denominados en cualquier moneda. Los bonos soberanos están expuestos al riesgo de crédito y son calificados por las agencias de calificación que otorgan las denominadas calificaciones soberanas. Estas últimas asignan dos tipos de calificaciones a la deuda soberana: la calificación de la deuda en moneda local y la calificación de la deuda en moneda extranjera.

b) Bonos supranacionales

Son bonos emitidos por agencias supranacionales, que son entidades formadas por dos o más gobiernos centrales mediante tratados internacionales. Los organismos supranacionales promueven el desarrollo económico de los países miembros. Algunos ejemplos de instituciones supranacionales que emiten bonos son el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo y el Banco Europeo de Inversión.

c) Bonos de agencias gubernamentales

Son bonos que no son emitidos directamente por el gobierno central, pero por agencias u organizaciones creadas por el gobierno. Estos bonos se denominan genéricamente bonos de agencias gubernamentales y pueden tener una garantía gubernamental directa o implícita.

En algunos países, estos bonos incluyen bonos emitidos por regiones del país. En Estados Unidos, se denominan "federal agency securities". Algunos ejemplos son los bonos emitidos por la agencia americana Federal National Mortgage Association (Fannie Mae) o la francesa Caisse d'Amortissement de la Dette Sociale (CADES).

d) Bonos de gobiernos regionales y locales

No solo los gobiernos centrales emiten bonos sino también las entidades gubernamentales regionales y locales. Estados Unidos es el mayor y más desarrollado mercado de bonos de gobiernos no centrales e incluye los bonos emitidos por gobiernos estatales, locales y las entidades creadas por ellos. Estos valores se los conoce como *bonos municipales*. El Estado de California, la Ciudad de México y la Comunidad de Madrid ilustran este tipo de emisores.

e) Bonos corporativos

Son bonos emitidos por entidades corporativas para conseguir capital para una variedad de propósitos. Estas compañías recurren al mercado de bonos corporativos para obtener financiación a largo plazo como alternativa a los préstamos de las instituciones financieras y a la obtención de capital por otros medios, como la emisión de acciones. En general, no es posible obtener grandes cantidades de capital de los bancos durante largos periodos de tiempo y puede resultar costoso. La venta de acciones puede diluir el capital de los accionistas existentes. El mercado de bonos es, por lo tanto, una alternativa de financiación para muchas grandes empresas. El riesgo de crédito es clave para los bonos corporativos y las calificaciones de crédito de las agencias calificadoras particularmente importantes. La deuda de una empresa puede estar garantizada o no. Un bono garantizado significa que hay algún tipo de garantía pignorada (bienes muebles o inmuebles) para asegurar el pago de la deuda. Los *bonos subordinados* son emisiones que se clasifican después de la deuda garantizada, después de los bonos no garantizados y, a menudo, después de algunos acreedores generales en su derecho sobre los activos y los beneficios.

f) Bonos de titulización de activos

Los bonos de titulización de activos ("asset-backed securities" en inglés) son valores respaldados por un conjunto de préstamos o derechos de cobro. Existen diversos tipos de activos que se han titulizado, como ser préstamos y "leasings" para automóviles, préstamos al consumo, créditos comerciales y tarjetas de crédito. Sin embargo, los préstamos

hipotecarios residenciales representan el mayor tipo. Un bono respaldado por hipotecas ("mortgage-backed security" en inglés) es un conjunto de hipotecas que han sido titulizadas, o reempaquetadas, para que puedan ser vendidas a inversores. Los inversores en este tipo de bonos experimentan lo mismo que los bancos cuando emiten préstamos hipotecarios: ambos reciben pagos regulares de capital e intereses sobre los préstamos hipotecarios, ambos están sujetos a riesgos de amortización anticipada y ambos están sujetos a los efectos de los impagos de las hipotecas. Las mayores diferencias entre los bonos titulizados y los bonos corporativos tienen que ver con las estructuras tan distintas de sus flujos de fondos y sus fechas de vencimiento. En la mayoría de los bonos, estas dos características son bastante sencillas y predecibles, pero en los bonos titulizados son mucho más inciertas.

2.A.1.5. La importancia del mercado de bonos

El mercado de bonos es donde se fijan los tipos de interés. Los niveles de interés que se cotizan en préstamos, tarjetas de crédito, cuentas de ahorro, fondos del mercado monetario y similares están correlacionados con un nivel de tipos de interés establecido en el mercado de bonos. Por ejemplo, en Estados Unidos, las tasas hipotecarias están estrechamente correlacionadas con el rendimiento del bono del Tesoro a 10 años. El origen de la gran crisis financiera de 2008 se encuentra en la enorme influencia que tuvo el reajuste de las hipotecas de interés variable en un gran número de hogares de Estados Unidos. Cuando la Reserva Federal inició una serie de subidas de tipos de interés en junio de 2004, las tasas hipotecarias acabaron ajustándose al alza lo que dio lugar a onerosas cuotas hipotecarias, demasiado elevadas para muchos propietarios, incapaces de pagar sus deudas. Teniendo en cuenta que gran parte de estas hipotecas habían sido titulizadas en bonos que fueron vendidos a bancos del mundo entero, se desató una de las mayores crisis financieras de la historia.

La principal forma en que el mercado de bonos afecta la economía es que los tipos de interés al alza tienden a debilitar la economía, mientras que los tipos a la baja tienden a fortalecerla. Los tipos de interés altos tienden a desincentivar el endeudamiento, mientras que los tipos de interés bajos lo fomentan. Los tipos de interés suelen subir o bajar, por supuesto, principalmente como resultado de las medidas adoptadas por los bancos centrales. Estos ajustan el nivel de los tipos de interés oficiales para regular la salud de la economía. Históricamente, los tipos de interés y el mercado de bonos han sido catalizadores de crisis (por ejemplo, la crisis de la deuda asiática en 1998) y a la vez herramientas para solventar estas crisis (tal como la bajada histórica de tipos de interés de la Reserva Federal Americana en 2001 y 2008) (Crescenzi, 2010).

2.A.1.6. Estructura temporal de los tipos de interés (ETTI)

La relación que existe entre el tiempo que resta hasta el vencimiento de diversos bonos con el mismo grado de riesgo y sus rendimientos durante ese plazo, se conoce como la estructura temporal de los tipos de interés (ETTI) o curva de rendimientos (Mascareñas, 2013). Generalmente esta curva tiene pendiente ascendente, es decir, los tipos a corto plazo son menores que los tipos a largo. También existen curvas decrecientes o "invertidas", planas y "jorobadas", es decir con tipos a medio plazo mayores (o menores) que los tipos a corto y a largo plazo. (Abad Romero & Robles Fernández, 2003).

Las teorías de la ETTI pretenden explicar e interpretar la información contenida y los cambios que surgen en la curva de rendimientos. El estudio de la estructura temporal de los tipos de interés se resume a preguntarse por las preferencias de los participantes en el mercado (inversores, prestatarios) en cuanto a las fechas de vencimiento de la curva. En efecto, si éstas les fueran indiferentes, las curvas de tipos de interés serían invariablemente planas, y la noción de estructura temporal carecería de sentido. Las preferencias de los participantes en el mercado pueden guiarse por sus expectativas, la naturaleza de su pasivo o activo y el nivel de las primas de riesgo que exigen para compensar su aversión al riesgo (Martellini et al., 2003). Las teorías de la ETTI intentan explicar la relación entre los tipos de interés y su vencimiento residual y pueden agruparse en dos grandes categorías, con sus diferentes versiones:

a) *Teoría de las expectativas puras*

   La teoría de las expectativas, definida inicialmente por Lutz (1940), explica que la ETTI refleja en un momento dado las expectativas del mercado sobre los tipos de interés futuros a corto plazo. Las expectativas son las únicas variables que juegan un papel importante en la determinación de la curva de rendimientos. Los participantes en el mercado formulan expectativas sobre la evolución de los tipos a corto plazo utilizando toda la información disponible, y toman sus decisiones racionalmente de acuerdo con ellas. Sus expectativas orientan la posición de su curva y, por tanto, el nivel de los tipos a largo plazo.

   Según esta teoría, una estructura temporal creciente indica que el mercado espera que los tipos a corto plazo subirán en el futuro. Asimismo, una estructura temporal plana refleja la expectativa de que los tipos de interés a corto plazo futuros no variarán con

respecto a los actuales, mientras que una estructura temporal descendente refleja la expectativa de que los tipos a corto plazo futuros disminuirán. Una curva de rendimientos encorvada o jorobada ocurre cuando los inversores esperan que los rendimientos de los valores a un año suban durante varios años y luego bajen durante varios años.

Las relaciones anteriores sugieren que la forma de la curva de rendimiento contiene información relativa a las expectativas de los inversores sobre la inflación futura. Fisher (1930) afirma que los tipos de interés reflejan la suma de un tipo de interés real relativamente estable más una prima por la inflación esperada. Según esta hipótesis, si se espera que los tipos a corto plazo suban, los inversores esperan que la inflación también lo haga. Una estructura temporal con pendiente ascendente (o descendente) significaría que los inversores esperan una inflación futura creciente (o decreciente) (Fabozzi, 2007).

Los límites la teoría de las expectativas puras es que asume que los inversores son indiferentes al riesgo de los tipos de interés y a cualquier otro factor de riesgo asociado a la inversión en bonos con diferentes vencimientos como ser el riesgo del precio de los bonos y el riesgo de reinversión de los cupones (Martellini et al., 2003).

Existen otras dos interpretaciones de la teoría de las expectativas presentadas inicialmente por Cox, Ingersoll y Ross (1985). La *teoría de las expectativas locales* sugiere que el retorno de la inversión será el mismo si el horizonte de inversión es corto. Es decir, sí el inversionista tiene un horizonte de inversión a seis meses, la adquisición de un título que vence en tres años, cinco años o diez años producirá el mismo retorno a seis meses. La tercera interpretación, conocida como *la teoría de expectativas de retorno al vencimiento*, sugiere que la renovación de títulos a corto plazo proporciona al inversor un retorno igual al de un bono cero cupón de igual horizonte de inversión (Arosemena & Arango, 2002; Cox et al., 1985).

b) *Teoría de preferencia por la liquidez*

Esta teoría se debe a Hicks (1946) y afirma que los participantes en el mercado quieren ser compensados por el riesgo de tipo de interés asociado a la tenencia de bonos a más largo plazo. Cuanto más largo sea el vencimiento, mayor será la volatilidad del precio

cuando cambien los tipos de interés, y los inversores quieren que se les compense por este riesgo. Según la teoría de la preferencia por la liquidez, la ETTI es determinada por las expectativas sobre los tipos de interés futuros y por una prima de rendimiento por el riesgo de tipo de interés. La "liquidez" se mide en términos de riesgo de tipo de interés: cuanto mayor sea el riesgo de tipos de interés, menor será la liquidez. Dado que el riesgo de tipo de interés aumenta con el vencimiento, la teoría de la preferencia por la liquidez afirma que la prima de rendimiento aumenta con el vencimiento (Fabozzi, 2007).

En base de esta teoría, una curva de rendimientos con pendiente ascendente puede reflejar expectativas de que los tipos de interés futuros subirán, o que se mantendrán sin cambios o incluso bajarán, pero con una prima de rendimiento que aumenta con el vencimiento lo suficientemente rápido como para producir una curva de rendimientos con pendiente ascendente. Por lo tanto, para una curva de rendimiento con pendiente ascendente (el tipo observado con más frecuencia), la teoría de la preferencia por la liquidez por sí misma no tiene nada que decir sobre los tipos de interés a corto plazo esperados en el futuro. Los límites de esta teoría residen en la imposibilidad de explicar las curvas decrecientes y jorobadas, así como en su ignorancia del riesgo de reinversión de cupones (Martellini et al., 2003).

c) *Teoría del hábitat preferido*

Esta teoría surge del trabajo de Modigliani y Sutch (1966) y establece que los individuos eliminan todo riesgo sistemático al situarse en su hábitat preferido, es decir el tramo de la curva de rendimientos en el que la vida de sus activos corresponde con la de sus pasivos. Los agentes solo estarán dispuestos a no hacer coincidir el horizonte de sus inversiones con su hábitat a cambio de una compensación: la prima por plazo. Esta puede ser positiva o negativa y representa la remuneración al riesgo de desequilibrio de la curva de rendimientos, la cual depende tanto del horizonte de inversión como de la importancia relativa de los inversionistas (Abad Romero & Robles Fernández, 2003; Arosemena & Arango, 2002).

Es una variante de la teoría de la prima de liquidez porque postula que la prima de riesgo no es uniformemente creciente. En efecto, no todos los inversores tienen la intención de liquidar su inversión lo antes posible, ya que su horizonte de inversión viene dictado por la naturaleza de sus pasivos. No obstante, cuando la oferta y la demanda de bonos

en un segmento específico de la curva no coinciden, algunos prestamistas y prestatarios están dispuestos a trasladarse a otras partes de la curva, siempre que reciban una prima de riesgo que compense su aversión al precio o al riesgo de reinversión. Con esta teoría, todas las formas de curva son posibles (Martellini et al., 2003).

d) Teoría de la segmentación del mercado

Los fundamentos de esta teoría enunciada por Culbertson (1957) mencionan que los mercados de diferentes tipos de instrumentos están sometidos a una cierta segmentación. Existen diferentes categorías de inversores, cada una de las cuales invierte sistemáticamente en un segmento determinado de la curva en función de su pasivo, sin pasar nunca a otros segmentos. Dos categorías destacan, porque por sí solas tienen un peso tan importante que los comportamientos de los demás inversores sólo tienen un pequeño impacto. La primera son los bancos comerciales, que invierten a corto y mediano plazo y cuyos pasivos suelen ser a corto plazo. Y la segunda son las compañías de seguros de vida y los fondos de pensiones, que invierten a largo y muy largo plazo. Si estos inversores invierten fuera del sector de vencimientos que ofrece la mejor correspondencia con sus pasivos, se exponen a los riesgos asociados con un desajuste entre activos y pasivos. Así pues, la forma de la curva viene determinada por la ley de la oferta y la demanda en el mercado de obligaciones a corto plazo, por un lado, y en el mercado de obligaciones a largo plazo, por otro (Fabozzi, 2007; Martellini et al., 2003).

La noción de mercado segmentado se ve reforzada por las restricciones legales impuestas a las instituciones financieras, que les impiden desajustar los vencimientos de activos y pasivos. Esto supone que no existe un mercado global de bonos, sino que el rendimiento de los mismos se determina en mercados independientes para cada plazo. La evidencia empírica demuestra que los inversionistas están dispuestos a cambiar el plazo de sus inversiones por una prima suficientemente grande (Abad Romero & Robles Fernández, 2003).

Estudios recientes se han interesado sobre el impacto en la ETTI de factores como la expansión monetaria cuantitativa (“quantitative easing” en inglés). D’Amico et King (2013) estimaron los efectos del programa de la Reserva Federal Americana de 2009 de compra de casi 300 mil millones de dólares de valores nominales de bonos del Tesoro puesto en marcha para sobrellevar los efectos de la crisis financiera. Estos autores estimaron que la operación de

compra media redujo temporalmente los rendimientos en unos 3,5 puntos básicos en el sector de la curva que se realizaba la compra y que los efectos de la oferta local del programa en su conjunto desplazaron la curva de rendimientos a la baja hasta 30 puntos básicos. Ambos efectos se concentraron en los vencimientos medios de la curva. Estos resultados corroboran las teorías del hábitat preferido y del equilibrio de cartera de la ETTI. Estudios similares han sido realizados en otros mercados relevantes como el de los bonos soberanos europeos (Eser et al., 2019) y británicos (Joyce et al., 2011).

2.A.1.7. La estructura de capital (EC)

Los bonos son una fuente importante de financiación para las empresas, las cuales financian generalmente sus operaciones e inversiones con una combinación de deuda y capital conocida como la *estructura de capital (EC)* o la *estructura financiera*. Se trata del reparto de fondos financieros entre recursos ajenos y propios, tal como aparece en el pasivo del balance de situación de la empresa. Los dos aspectos fundamentales para tratar en el estudio de la estructura de capital son la división de los fondos totales utilizados entre recursos propios y ajenos, y la madurez del endeudamiento, es decir la diferenciación entre la deuda a largo y a corto plazo. La elección de la EC trata de encontrar la combinación de financiación que maximice el valor total de mercado de la empresa (Ramírez-Herrera & Palacín-Sánchez, 2018).

No existe una teoría universal sobre la elección deuda-capital, pero existen varias teorías condicionales útiles. Las teorías sobre la estructura óptima del capital difieren en su énfasis relativo a los factores como los impuestos, las diferencias de información y los costos de agencia o en su interpretación de los mismos (Myers, 2001).

a) Tesis de Modigliani-Miller

La teoría de las finanzas empresariales, en un sentido moderno, comienza con la proposición de irrelevancia de la EC de Modigliani y Miller (1958) ya que hasta entonces no existía una teoría generalmente aceptada para la EC (Frank & Goyal, 2008). La tesis de Modigliani y Miller indica que la financiación no importa en mercados de capitales perfectos. Los valores de mercado de la deuda y el capital de la empresa representan el valor total de la firma, que es una constante, independientemente de las proporciones de deuda y capital, siempre que los activos y las oportunidades de crecimiento del lado izquierdo del balance de la compañía se mantengan constantes. El "apalancamiento financiero" (la proporción de financiación

mediante deuda) es irrelevante. Este resultado de irrelevancia del apalancamiento se generaliza a cualquier combinación de valores emitidos por la empresa. Por ejemplo, no importa si la deuda es a corto o largo plazo, amortizable o no, simple o convertible, en dólares o euros, o una mezcla de todos estos tipos u otros (Myers, 2001).

b) Teoría del equilibrio

Al añadir los impuestos a la propuesta original de irrelevancia de Modigliani y Miller (1963), se introdujo las ventajas de considerar como fiscalmente deducibles los intereses pagados por la deuda. El ahorro fiscal al utilizar deuda permite la existencia de una estructura óptima de capital basada en la mayor cantidad de endeudamiento que la firma pueda sostener, implicando potencialmente un 100% de financiación mediante deuda. (Zambrano Vargas & Acuña Corredor, 2011).

Para evitar esta predicción extrema, se necesitaba un costo compensatorio de la deuda, en este caso la insolvencia. Kraus y Litzenberger (1973) proporcionaron el enunciado clásico de la teoría del óptimo financiero o teoría del equilibrio ("trade-off theory" en inglés): el apalancamiento óptimo refleja un compromiso entre los beneficios fiscales de la deuda y los costos de la quiebra. Este planteamiento introduce dos de las imperfecciones del mercado: los impuestos y la posibilidad de que la empresa tenga dificultades financieras derivadas del endeudamiento. Los intereses generados por la deuda, al ser considerados como gastos deducibles del impuesto de sociedades, permite que las empresas obtengan un beneficio igual al monto total de intereses pagados por dicha deuda, multiplicados por el tipo impositivo aplicable en el mencionado impuesto de sociedades. En cuanto a los costos de insolvencia, existen los costos directos, que son los gastos legales, administrativos y contables derivados de los procedimientos de suspensión de pagos, quiebra y posterior reorganización de la compañía. Los costos indirectos resultan de los conflictos que surgen entre los accionistas y los tenedores de bonos de las empresas en los procesos de insolvencia, pero también la perdida de empleados clave y de la confianza de proveedores y clientes. Según esta teoría, se espera un endeudamiento elevado en empresas con activos tangibles, beneficios e impuestos por compensar (Ramírez-Herrera & Palacín-Sánchez, 2018).

Según Myers (1984), una empresa que sigue la teoría del equilibro establece un objetivo de ratio deuda-valor y luego avanza gradualmente hacia este objetivo, que se determina equilibrando los beneficios fiscales de la deuda con los costos de la quiebra.

c) Teoría de jerarquía de preferencias

La teoría del "pecking order", propuesta por Myers y Majluf (1984), analiza una empresa con activos establecidos y una oportunidad de crecimiento que requiere financiación adicional. Los autores suponen mercados financieros perfectos, con la excepción de que los inversores no conocen el valor real ni de los activos existentes ni de la nueva oportunidad. Por lo tanto, los inversores no pueden valorar con precisión los valores emitidos para financiar la nueva inversión.

Los modelos de información asimétrica asumen que los accionistas internos, es decir, aquellos accionistas con funciones de control y los directivos de la empresa ("insiders" en inglés), poseen una información privilegiada sobre las inversiones que van a realizar las empresas, y que los inversionistas externos ("outsiders" en inglés) no tienen.

La teoría de las preferencias jerárquicas postula que la estructura financiera de las empresas se utiliza para disminuir las ineficiencias en las decisiones de inversión de la empresa por sobreinversión y subinversión, causadas por la asimetría informativa. Se crea así un orden jerárquico de preferencias a la hora de financiar un nuevo proyecto de inversión. Las empresas prefieren financiarse mediante fondos generados internamente, es decir, los beneficios no distribuidos. En caso de que estos recursos anteriores no fuesen suficientes para efectuar las inversiones necesarias, se recurrirá a financiación externa: en primer lugar a la deuda a largo plazo, siguiendo con las obligaciones convertibles y como último recurso la emisión de capital (Ramírez-Herrera & Palacín-Sánchez, 2018).

Emitir deuda minimiza la ventaja de información de los directivos de las empresas. Los directivos optimistas, que creen que las acciones de sus empresas están infravaloradas, aprovecharán la oportunidad de emitir deuda en lugar de acciones. Sólo los directivos pesimistas querrán emitir acciones, pero si la deuda es una alternativa abierta, cualquier intento de vender acciones revelará que las acciones no son una buena compra. Por lo tanto, los inversores rechazarán las emisiones de acciones si la deuda está disponible en condiciones justas y, en equilibrio, sólo se emitirá deuda. Las emisiones de acciones sólo se producirán cuando la deuda es costosa, por ejemplo, porque la empresa ya tiene un coeficiente de endeudamiento peligrosamente alto y los directivos y los inversores prevén

costos de potenciales dificultades financieras. En este caso, incluso los directivos más optimistas recurrirán al mercado de acciones en busca de financiación.

Los directivos que maximizan el valor de mercado evitarán la financiación externa, si disponen de mejor información que los inversores externos. La teoría del orden jerárquico explica por qué la mayor parte de la financiación externa procede de la deuda. También explica que las empresas más rentables se endeudan menos, no porque su objetivo de endeudamiento sea bajo -en el orden jerárquico no tienen un objetivo- sino porque las empresas rentables disponen de más financiación interna. Las empresas menos rentables necesitan financiación externa y, en consecuencia, acumulan deuda (Myers, 2001).

d) Teoría de los costos de agencia

La teoría de la agencia, promovida por Jensen y Meckling (1976), determina que la EC de la empresa se establece por una serie de contratos entre los diferentes grupos de interés de una firma. El *principal*, o los dueños del capital, dan autoridad a otras personas denominadas *agentes*, para que se desempeñen actividades empresariales a su nombre. Las dos partes van a querer maximizar su propia función de utilidad, los administradores en cuanto al poder y control sobre la firma y los dueños del capital en cuanto al incremento del valor de la compañía. De estos intereses divergentes surgen varios conflictos a denominados costos de agencia.

Según Jensen y Meckling (1976), las fuentes principales de problemas de agencia existentes en las empresas son de dos tipos. El primero son los conflictos por la diferencia de intereses entre los accionistas no dirigentes (el principal) y los directivos de la compañía (los agentes). Se distinguen tres categorías de conflictos entre accionistas y directivos. El problema del consumo extraordinario de beneficios no pecuniarios surge al no poder los directivos aprovecharse directamente de los beneficios generados por sus propias decisiones. También está el problema del flujo de caja libre ("free cash flow" en inglés) o sobreinversión planteada ante las diferentes posibilidades de utilización de la caja empresarial. Finalmente, el problema de la renuncia a la liquidación de la empresa surge cuando el valor de liquidación de una empresa es superior al valor de sus activos y, aun siendo la opción más ventajosa para los accionistas, los directivos traten de evitarla. A mayor desventaja informativa se encuentren los propietarios con respecto a los gerentes y

mientras más dispersa se encuentre la propiedad de la empresa, más aumentará este tipo de conflictos.

El segundo tipo de problemas de agencia son los conflictos entre accionistas y los acreedores. Estos se manifiestan cuando la empresa utiliza deuda para financiarse, lo que crea un incentivo en los accionistas para tomar decisiones estratégicas inadecuadas o no óptimas. Este incentivo es tanto mayor cuanto más grande es la proporción de deuda utilizada por la empresa. La principal causa de los problemas de agencia es la diferencia de derechos económicos existentes entre accionistas e inversores en deuda y, por ello, la diferente exposición al riesgo de ambos grupos. El uso elevado de deuda puede hacer cumplir las expectativas, tanto de los accionistas, como de los acreedores, aunque también puede incrementar las diferencias entre ambos ante la posibilidad de que la firma incurra en una situación de insolvencia financiera (Ramírez-Herrera & Palacín-Sánchez, 2018).

De acuerdo con Myers (2001), las teorías revisadas en esta sección no pretenden ser generales sino son condicionales de la estructura del capital. Cada una de ellas hace hincapié en determinados costos y beneficios de las estrategias de financiación alternativas. Los problemas económicos y los incentivos que impulsan las teorías -impuestos, información y costos de agencia- aparecen claramente en las tácticas de financiación. Sin embargo, ninguna de las teorías ofrece una explicación general de la estrategia de financiación.

2.A.2. Bonos verdes

2.A.2.1. Definición

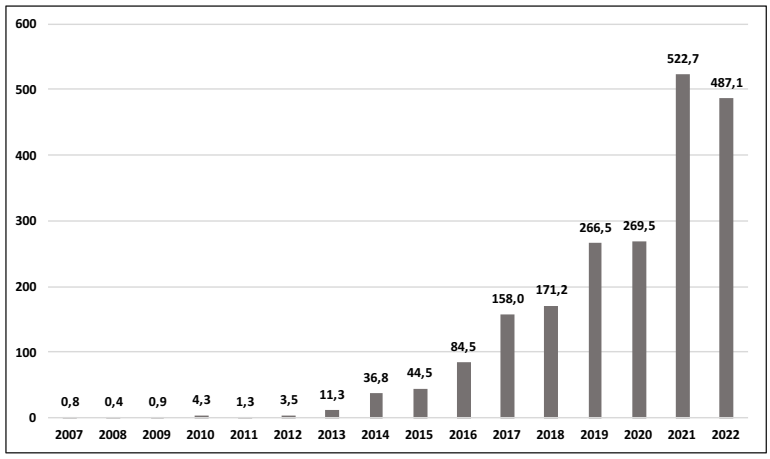
La Asociación Internacional de Mercados de Capitales (ICMA) define los bonos verdes como cualquier tipo de bono convencional con una sola característica distintiva: los fondos recaudados se utilizan exclusivamente para financiar o refinanciar proyectos verdes elegibles, es decir a favor del medioambiente, nuevos o existentes. Los bonos tienen que estar alineados con los Principios de los Bonos Verdes (ICMA, 2021).

La agencia Climate Bond Initiative (CBI) distingue dos tipos de bonos verdes: los *etiquetados* ("labeled" en inglés) que es cuando no existe una evidencia clara del uso de los fondos y el emisor decide conscientemente etiquetar el instrumento como verde; y los *bonos no etiquetados alineados con el clima* que son bonos que financian actividades alineadas con el medioambiente

pero que no son explícitamente etiquetados ni por el emisor ni por nadie más (Climate Bonds Initiative, 2022c).

El Banco Europeo de Inversión (BEI) emitió en 2007 el primer bono de "concientización climática". El primer bono verde fue emitido por el Banco Mundial en 2008, pero es a partir de 2015 que estos instrumentos experimentaron una verdadera expansión. Durante la Conferencia sobre el Clima en París (COP 21), un grupo de inversores que gestiona el equivalente a 10 billones de dólares firmó un manifestó para promover este tipo de bonos, la "Declaración de los Bonos Verdes de París" (Climate Bonds Initiative, 2015). Según la base de datos del CBI, desde 2007 hasta diciembre de 2022, se han emitido más de USD 2.2 billones de bonos verdes etiquetados (figura 1). A pesar del fuerte crecimiento interanual, los bonos verdes sólo representan entre el 0,5% y el 1% del total del mercado mundial de bonos, lo que indica que existe un gran potencial de expansión y crecimiento del mercado (Sangiorgi & Schopohl, 2021).

Figura 1: Volumen anual de bonos verdes (miles de millones de USD)



Fuente: Climate Bonds Initiative (2023), elaboración propia

En un estudio previo del autor (2022), se mencionó que los emisores de bonos verdes son muy diversos. Existen emisores soberanos, supranacionales, de agencias gubernamentales y de gobiernos regionales y municipales. En cuanto a los bonos corporativos, los bancos y una amplia gama de empresas privadas de múltiples sectores (agroalimentarias, eléctricas, tecnológicas...) han financiado proyectos con este tipo de bonos. En el mismo estudio también se expuso las motivaciones de los emisores, a los cuales este tipo de instrumentos les ofrece ante todo la posibilidad de atraer a una base de inversores diversificada, especialmente los fondos con mandato de invertir en deuda con criterios Ambientales, Sociales y de buen

Gobierno (ASG o ESG[16]). Otras motivaciones evocadas es que los bonos verdes permiten a los promotores de pequeños proyectos financiarse a menor costo e incluso tener acceso a ciertas ventajas fiscales o garantías estatales o supranacionales. Finalmente, se evocó los incentivos que tienen los inversionistas a comprar estos valores. La demanda de bonos verdes se ha visto impulsada por una mayor conciencia entre los inversores que buscan empresas en transición hacia la economía verde y por los clientes finales que exigen invertir en productos sostenibles. Los mayores inversionistas son los fondos institucionales y de pensiones, las compañías de seguros, los bancos centrales y los departamentos de tesorería de bancos y empresas, para los cuales, añadir bonos verdes a su cartera de inversiones les ofrece una solución sencilla, tanto paro los gestores como para sus clientes, ya que los bonos verdes se negocian exactamente como otros bonos del mismo emisor. Además, estos bonos permiten "acceder" a activos o proyectos verdes sin llevar el riesgo del proyecto, reducir la huella de carbono de las gestoras o beneficiar de ciertas ventajas fiscales en algunas jurisdicciones (Merlyn S., 2022).

2.A.2.2. Principios de los Bonos Verdes (GBP)

La definición de bonos verdes del ICMA implica que los bonos deben estar alineados con los Principios de los Bonos Verdes (GBP). Estos son pautas voluntarias de mejores prácticas para aumentar la trasparencia y la divulgación de la información y para promover la integridad en el desarrollo del mercado de los bonos verdes. Los GBP se articulan alrededor de cuatro componentes principales.

a) Uso de los fondos

La base de un bono verde es la utilización de los fondos del bono para proyectos verdes elegibles, que deberán mencionarse de forma adecuada en la documentación legal del instrumento. Los proyectos elegibles designados deben proporcionar beneficios ambientales claros, que serán evaluados y, cuando sea factible, cuantificados por el emisor. Los GBP mencionan las categorías genéricas de elegibilidad para los proyectos que contribuyen a los objetivos medioambientales. La lista de categorías de proyectos recoge los tipos de proyectos y los objetivos medioambientales más frecuentemente respaldados o que se espera que sean respaldados por el mercado de bonos verdes. Los Proyectos Verdes incluyen activos, inversiones y otros gastos relacionados y de apoyo, como I+D, que pueden estar relacionados con más de una categoría y/u objetivo medioambiental. Algunos

[16] Por las siglas de su denominación en inglés, Environmental, Social and Governance.

ejemplos de categorías elegibles son: energías renovables, eficiencia energética, prevención y control de la contaminación y transporte limpio. El detalle de las categorías mencionadas en los GBP figura en el anexo 5.

b) Proceso de Evaluación y Selección de Proyectos

Los emisores deben comunicar a los inversores de forma clara los objetivos de sostenibilidad ambiental de los proyectos elegibles y el proceso mediante el cual determinan como estos proyectos se ajustan a las categorías identificadas en la sección anterior. Los GBP también impulsan a los emisores de los bonos verdes a situar esta información dentro del contexto de los objetivos generales y las políticas del emisor en temas de sostenibilidad ambiental. Deben además proporcionar información sobre la alineación de los proyectos con taxonomías oficiales o basadas en el mercado y también divulgar cualquier estándar verde o certificación a la que se haga referencia en la selección del proyecto.

c) Gestión de los fondos

Los fondos netos obtenidos por la venta del bono verde, o un importe igual, deben ser abonados a una subcuenta, trasladados a una sub-cartera o, en todo caso, controlados por el emisor de una manera apropiada, y constatarlo en un procedimiento interno formal vinculado a sus operaciones de crédito e inversión para proyectos verdes elegibles. Durante la vida útil del bono, el balance de los fondos netos analizados se debe ajustar periódicamente para que coincida con las asignaciones a los proyectos verdes elegibles realizadas durante ese período. El emisor debe informar a los inversores los tipos de colocación temporal previstos de los saldos de los fondos netos pendientes de asignar. Los fondos se pueden administrar por bono (enfoque bono por bono) o de forma agregada para múltiples bonos verdes (enfoque de cartera). Los GBP recomiendan que la gestión de los fondos por parte del emisor esté complementada con la revisión de un auditor externo, u otra tercera parte, para verificar el método de seguimiento interno y la asignación de los fondos.

d) Informes

Los emisores deben poner a disposición de los inversores informaciones sobre el uso de los fondos, actualizadas anualmente hasta su asignación total o en caso de que haya un hecho relevante y se considere necesario. El informe anual debe incluir una lista de los proyectos a los que se han asignado los fondos, una breve descripción de los proyectos, las cantidades

asignadas y su impacto esperado. Los informes sobre la asignación de fondos se detallan en el apartado 2.A.2.4. de este capítulo.

Los GBP hacen dos recomendaciones adicionales para lograr una mayor transparencia del mercado. La primera es que los emisores deben explicar la alineación de su bono o su programa de bonos verdes con los cuatro componentes claves de los GBP dentro de un *marco de bonos verdes* o en su documentación legal. Este marco debe estar disponible en un formato de fácil acceso para los inversores. Además, los emisores deben resumir en este marco de bonos verdes la información relevante en el contexto de la estrategia de sostenibilidad general del emisor. También se alienta a que los emisores divulguen sobre cualquier taxonomía, estándares verdes o certificaciones a las que se haga referencia en la selección de proyectos. La segunda recomendación es que los emisores designen uno o varios proveedores de *revisión externa* para evaluar la alineación de su programa y/o su marco de bonos verdes con los cuatro componentes principales de los GBP (ICMA, 2021). La sección 2.A.2.6. analiza las diferentes categorías de revisiones externas.

La demanda de información accesible sobre el uso de los fondos ha crecido paralelamente a la expansión del mercado de bonos verdes, ya que los inversores exigen saber exactamente a dónde va a parar su dinero. El término "greenwashing" incluye a las empresas que declaran un compromiso de responsabilidad medioambiental mayor a lo que es en la realidad. El beneficio del "greenwashing" (función de tentación) es la ventaja obtenida en términos de reputación y la disposición a pagar más, por parte de los consumidores sensibles al medioambiente. El costo del "greenwashing" (función de castigo) es la "sanción" que surge cuando el público toma conciencia del desfase entre las declaraciones y los hechos (Bachelet et al., 2019).

2.A.2.3. Metodología de la base de datos de bonos verdes del CBI

La metodología de la base de datos del instituto Climate Bonds Initiative (2022) especifica los criterios de inclusión de bonos verdes. Esta estipula que para que un producto financiero sea elegible en esta base debe cumplir tres prerrequisitos:

- Ser un instrumento de deuda como por ejemplo los bonos, los valores titulizados (“asset-backed securities (ABS)[17]” en inglés) o los créditos (“loans” en inglés). No están

[17] ABS es el acrónimo en inglés de los bonos de titulización de activos.

incluidos los instrumentos de deuda à corto plazo como los depósitos y los papeles comerciales ("commercial papers" en inglés).

- Ser *auto-etiquetado* o *etiquetado,* que es como se mencionó en la definición, cuando no existe una evidencia clara del uso de los fondos para proyectos medioambientales y el emisor decide explícitamente etiquetar el instrumento como verde.
- Debe divulgar públicamente suficiente información para por un lado permitir la inclusión del producto como instrumento de deuda y por otro lado determinar si los fondos se destinan a financiar proyectos a favor del medioambiente.

Para ser elegibles en la base de datos, los emisores que declaran que el bono pretende ser beneficioso para el medioambiente deben etiquetarlo, idealmente como "verde", que es la "etiqueta" más utilizada. El CBI acepta otras etiquetas como elegibles y algunos ejemplos son: concienciación climática, eficiencia energética, medioambiente, azul, conservación marina, agua, transición energética o transición sostenible, entre otros. La etiqueta debe aparecer en un documento público y ser claramente visible en la descripción del bono para hacer posible su identificación y confirmar que está etiquetado. Algunos ejemplos de documentos donde se puede publicar la etiqueta son: comunicados de prensa, folletos de emisión del bono u otros documentos de emisión de bonos, marcos de referencia, revisiones externas y evaluaciones de los bonos verdes. Los bonos "no-etiquetados" no se incluyen en la base de datos del CBI, aunque financien activos, proyectos y actividades a favor del medioambiente o que apoyan los objetivos climáticos. El hecho de que la deuda no esté etiquetada es considerado por el CBI como una indicación de que el emisor no está comprometido con la etiqueta verde. Esto podría deberse a que el emisor no desea proporcionar ciertas informaciones, por ejemplo, los informes sobre las asignaciones, y/o que no está dispuesto a limitar la financiación únicamente a categorías elegibles predefinidas.

Para la inclusión en la base de datos de bonos verdes del CBI, los instrumentos de deuda deben divulgar ciertos requisitos básicos como el importe emitido, la fecha de emisión y la fecha de vencimiento. No es necesario revelar información sobre precios u otra información sensible similar en el caso de las operaciones privadas, pero se espera que toda la información importante se revele en la documentación de los bonos que cotizan en bolsa. Además, es indispensable saber qué tipo de instrumento de deuda son, por ejemplo, bonos, valores titulizados, etc.

Los instrumentos de deuda que cumplen con los tres prerrequisitos continúan el proceso de selección para ser integrados en la base de datos, proceso que se basa en dos aspectos claves: la evaluación de los *sectores* de los activos, proyectos y actividades que se financian y los *tipos* de proyectos y activos elegibles conocidos como "el uso elegible de los fondos recaudados" ("use of proceeds" en inglés).

2.A.2.3.1. Sectores elegibles

La selección de los sectores elegibles busca determinar la alineación general con la *Taxonomía de bonos climáticos* del CBI. Esta última identifica los activos y proyectos que proporcionan una economía baja en carbono y suministra los criterios de evaluación, en términos de emisiones de GEI que son consistentes con los objetivos del Acuerdo Climático de París de 2015 de limitar el calentamiento global a menos de 2° en comparación con los niveles preindustriales. Creada en 2013, la taxonomía del CBI se actualiza regularmente con los avances científicos más recientes incluyendo las investigaciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), y la Agencia Internacional de Energía (IEA)[18] y teniendo en cuenta la aparición de nuevas tecnologías y normativas (Climate Bonds Initiative, 2021).

La taxonomía del CBI identifica ocho sectores de la actividad económica: Energía, Transporte, Agua, Construcción, Uso de la Tierra y Recursos Marinos, Industria, Residuos y Tecnología de la Información y Comunicaciones (TIC). Los sectores están divididos en 43 subsectores que se encuentran detallados en el anexo 3. Con un sistema de semáforo, cada subsector identifica el tipo de activo, los detalles del activo, si cumple automáticamente con el Acuerdo de París (luz verde) o si es necesario algún indicador de evaluación para ser elegible (luz naranja). A modo de ejemplo, un bono verde cuyos fondos financian un campo eólico terrestre, se clasifica dentro del sector "energía", subsector "eólica", tipo de activo "instalaciones de generación (energía y calefacción)" y es compatible automáticamente (semáforo verde).

La Taxonomía ofrece dos niveles de información. Por una parte, proporciona las orientaciones generales sobre los sectores y subsectores elegibles, y por otra los indicadores específicos del sector que identifican activos, proyectos y actividades coherentes con el Acuerdo de París. La selección sectorial de la base de datos se basa principalmente en el primer nivel y utiliza una lista adaptada de sectores elegibles. Si bien se encuentran los ocho criterios sectoriales, las

[18] Por las siglas de su denominación en inglés, International Energy Agency.

pautas se han adaptado para permitir la evaluación en ausencia de divulgación de los parámetros necesarios por parte de los emisores. Se han ajustado además para fomentar la inversión en sectores nacientes o aquellos que la transición a cero emisiones netas no es tan sencilla (por ejemplo, la Industria).

Los criterios de selección de la base de datos del CBI se han vuelto más estrictos en los sectores más consolidados, como la Construcción y el Transporte, a medida que el mercado de bonos verdes ha madurado y la necesidad de descarbonización se ha vuelto más urgente. Para los sectores en los que la medición de los parámetros medioambientales es menos problemática (por ejemplo, la energía solar o la eólica) o en los que determinados tipos de activos (por ejemplo, el transporte ferroviario) suelen cumplir los criterios de medición, la Metodología de la base de datos se ajusta muy estrechamente a la Taxonomía. En el caso de los sectores en los que no se dispone fácilmente de parámetros o, si se dispone de ellos, es necesario evaluarlos con respecto a un valor de referencia o aproximado, o analizar más a fondo la información disponible y compararla con ciertos criterios, la Metodología utiliza enfoques adaptados. En marzo de 2020, la Unión Europea publicó una propuesta de *Taxonomía de actividades sostenibles*. El CBI ha actualizado su Taxonomía de manera coherente y pretende ser al menos tan estricto que la Taxonomía de Bruselas de manera que, si un bono es elegible para la base de datos, también se ajustará a la Taxonomía de la Unión Europea.

2.A.2.3.2. Uso elegible de los fondos recaudados

Por "uso elegible de los fondos recaudados" se entiende los tipos de financiación permitidos con el dinero colectado con la emisión del bono. La norma más reciente del CBI define los proyectos y activos admisibles en tres categorías:

1) *Activos físicos o proyectos propiedad del emisor.* Los activos físicos pueden ser equipos, maquinaria, infraestructuras, edificios o terrenos existentes y operativos. En cuanto a los proyectos, estos abarcan equipos, maquinaria, infraestructuras y/o edificios en construcción, remodelación (mejoras, ampliación) y actividades similares de creación o mejora del valor de los activos.
2) *Deuda u otros acuerdos de financiación proporcionados por el emisor para financiar proyectos o activos físicos.* Esta categoría abarca las inversiones realizadas para aumentar el valor y/o la vida útil de los activos físicos o proyectos, pero también los costos de adquisición de entidades (empresas, divisiones o similares) que poseen activos físicos o proyectos o parte de los mismos. Además, incluye préstamos, hipotecas,

acuerdos de “leasing” que proporcionan el derecho de uso de activos y pasivos y los arrendamientos a largo plazo de terrenos, edificios e infraestructuras. Finalmente, las subvenciones e incentivos fiscales, planes de crédito y otros acuerdos similares proporcionados por entidades u organismos públicos, incluidas las administraciones locales y nacionales, también son elegibles.

3) *Gastos conexos o de apoyo para proyectos o activos físicos*. Estos incluyen los gastos pertinentes de instalación, actualización y mantenimiento rutinario realizados para mantener el valor y/o la vida útil del activo. También los costos pertinentes de supervisión del rendimiento con respecto al seguimiento de las credenciales climáticas (por ejemplo, emisiones de GEI) y los servicios de información climática (por ejemplo, seguimiento por satélite). Y finalmente los costos y gastos pertinentes de investigación y desarrollo, de formación y ejecución de programas, siempre y cuando exista un futuro activo, producto y/o proceso definible que pueda vincularse a beneficios climáticos de acuerdo con los criterios sectoriales pertinentes (Climate Bonds Initiative, 2022a).

Sólo los bonos que se espera que destinen el 100% de los ingresos netos a activos, proyectos o actividades verdes elegibles se incluyen en la base de datos. En el momento de la emisión, el emisor debe declarar las categorías de activos y proyectos elegibles. La mayoría de los emisores vinculan la transacción a los GBP y obtienen una revisión externa o una certificación. La obtención de una revisión externa no implica la inclusión automática en la base de datos, ya que el cumplimiento de los GBP no significa que las categorías cumplan todos los criterios de inclusión. Más bien, la revisión externa, así como toda la información divulgada por el emisor, se evalúa de forma independiente para su alineación con la Taxonomía del CBI. La evaluación suele basarse en información pública, aunque ocasionalmente, el CBI puede solicitar información privada para determinar la alineación. En síntesis, la metodología para la inclusión en la base de datos del CBI está alineada con los GBP, la Taxonomía del CBI y su espíritu científico de los criterios sectoriales, pero con menos rigor.

Un bono no podrá ser incluido si los fondos se destinan a proyectos sociales, a fines corporativos generales, a gastos operativos y de formación que no sean parte de un proyecto aceptable, a investigación y desarrollo en fase inicial sin suficiente divulgación y a otros gastos o activos que no estén alineados. Las exclusiones más evidentes son la energía procedente de combustibles fósiles y cualquier proceso, producto, activo o mejora que bloquee el uso o prolongue la vida útil de los combustibles fósiles. Se descartan también los activos o proyectos

que no cumplen con los umbrales establecidos (por ejemplo, las reformas de edificios que no consiguen mejoras suficientes en el rendimiento energético) o las categorías muy generales (puede ser la eficiencia energética sin referencia detallada a un sector, activo, o proyecto específico), incluso cuando en grandes líneas se puede determinar que la inversión puede tener un impacto climático positivo.

La falta de información suficiente sobre las "credenciales verdes" de un bono también da lugar a la exclusión. La información es considerada suficiente si especifica las definiciones de las categorías (por ejemplo, la financiación de la eficiencia energética debe estar vinculada a un sector como los edificios o el transporte), los detalles técnicos (como las medidas de las emisiones de CO_2), una descripción detallada de los procesos cuando sea necesaria para evaluar el impacto climático de un proyecto o inversión (por ejemplo, en sectores industriales como el cemento), una aclaración sobre los objetivos o beneficios ecológicos de los programas sociales (por ejemplo, la mejora de la eficiencia energética de las viviendas sociales) y la confirmación de que no se financia ninguna mejora en la generación de energía a partir de combustibles fósiles o de tecnologías afines.

En síntesis, un bono es excluido de la lista de bonos verdes del CBI si los fondos se utilizan o se espera que se utilicen para proyectos sociales, a activos o financiaciones que no se ajustan a la taxonomía de esta organización y/o si no se dispone de información suficiente para determinar la alineación o la falta de esta.

2.A.2.4. Informes de asignación de fondos

En la sección de informes de los GBP, el ICMA recomienda que los emisores mantengan informaciones actualizadas y fácilmente disponibles sobre el uso de los fondos, publicándolas con una frecuencia anual por lo menos hasta la asignación total de los fondos. Estos informes deben incluir una lista con una breve descripción de los proyectos a los que se han atribuido los fondos del bono, las cantidades adjudicadas y su impacto esperado. Los GBP proponen que la información se presente en términos genéricos o en una cartera agregada que indique el porcentaje asignado a determinadas categorías o sectores, cuando existan acuerdos de confidencialidad, consideraciones de competencia o un gran número de proyectos subyacentes que limiten la cantidad de detalles que se pueden divulgar.

2.A.2.4.1. Marco Armonizado para Informes de Impacto

Los GBP hacen énfasis en la transparencia en términos de las publicaciones sobre el impacto logrado y/o esperado de los proyectos y recomiendan usar indicadores cualitativos de rendimiento y, en la medida de lo posible, medidas cuantitativas de rendimiento, divulgando la metodología y los supuestos para este procedimiento cuantitativo. Con este propósito, los principios sugieren a los emisores de referirse y seguir las pautas del *Marco Armonizado para Informes de Impacto*[19]. Este manual resume los principios básicos generales y las recomendaciones para la elaboración de informes con el fin de proporcionar a los emisores una referencia a la hora de desarrollar sus propios informes. También ofrece indicadores de impacto y orientaciones sectoriales específicas para las categorías de proyectos mencionadas. Adicionalmente, incluye plantillas de informes para que los emisores las utilicen y adapten a sus propias circunstancias. Estas plantillas hacen referencia a los indicadores de impacto más utilizados (ICMA, 2022b).

El marco de armonización define 18 principios básicos y recomendaciones para una elaboración precisa y correcta de los informes sobre el uso de los fondos:

1) Los emisores de bonos verdes deben informar tanto sobre el uso de los ingresos de los bonos verdes, como sobre sus impactos medioambientales previstos, al menos anualmente.
2) Los emisores deben definir y divulgar el periodo y el proceso de inclusión de proyectos en sus informes. Los proyectos pueden añadirse al informe una vez que el emisor ha aprobado y determinado que un proyecto es elegible, o una vez que los ingresos de los bonos verdes se han asignado a desembolsos elegibles. Los proyectos pueden eliminarse de un informe cuando no se han realizado asignaciones a desembolsos elegibles en el periodo del informe, o después de que se hayan reembolsado los préstamos subyacentes.
3) El informe tiene que indicar el monto total aprobado y el importe de los ingresos de los bonos verdes asignados a los desembolsos elegibles. Informaciones adicionales como el año de firma o la fase del proyecto desde el punto de vista de la financiación (firmado, desembolsado, reembolsado) también son muy útiles.
4) Se alienta a los emisores a crear un proceso interno formal para la asignación de los ingresos de la emisión. Estos deben asignarse únicamente a aquellos proyectos que

[19] El primer Marco Armonizado para la Elaboración de Informes de Impacto fue publicado en marzo de 2015. La compilación del manual actual fue dirigida por un grupo de trabajo integrado por cuatro bancos multilaterales de desarrollo (BERD, KfW, NIB y Banco Mundial) y se benefició del aporte de los 111 miembros del "Grupo de Trabajo sobre Informes de Impacto" (bancos, bancos de desarrollo, bolsas de valores, etc.), con el apoyo del ICMA.

cumplan con criterios de elegibilidad predefinidos y, por lo tanto, el emisor debe explicar las características claves del proceso de asignación, haciendo referencia a una auditoría/verificación externa si existe.

5) Dependiendo del proceso establecido para la asignación de los fondos, el manual recomienda que los emisores proporcionen una lista de los proyectos a los que se han asignado los ingresos de los bonos verdes, o que informen únicamente a nivel de cartera. Esto último podría ser necesario si las consideraciones de confidencialidad restringen los detalles que se pueden revelar, o útil si un gran número de proyectos de pequeño tamaño es financiado por un bono verde (por ejemplo, bonos verdes que financian un programa de préstamos). Los emisores deben explicar el enfoque que ha sido seleccionado para su informe.
6) En el caso que los fondos se asignen a proyectos individuales, el informe debe identificar los proyectos específicos y definir claramente, para cada proyecto, los resultados totales del proyecto, el tamaño total del proyecto y/o la participación del emisor en la financiación total. Además, se debe agregar los resultados proyecto por proyecto incluyendo sólo la parte prorrateada (como porcentaje de la participación del emisor en la financiación total) de los resultados totales de los proyectos. En el caso en que las asignaciones son a una cartera de proyectos, los emisores suelen informar sobre los resultados globales de la cartera.
7) El informe de impacto debe ilustrar los resultados medioambientales esperados que se han logrado como resultado de los proyectos a los que se han asignado los ingresos de los bonos verdes. Este punto se basa en estimaciones *ex ante* (desarrolladas antes de la ejecución del proyecto) de los resultados anuales previstos para un año representativo una vez que el proyecto se haya completado y funcione a su capacidad normal.
8) El informe debe comunicar los resultados estimados de impacto a lo largo de la vida útil y/o la vida económica de un proyecto (en años), lo que permite tener en cuenta las diversas fases del ciclo de vida del proyecto y la naturaleza heterogénea de los procesos y/o equipos.
9) En caso de que el emisor realice una verificación *ex post* de ciertos proyectos específicos, los resultados pertinentes se deben incluir en el informe. El impacto medioambiental real de los proyectos puede divergir de las proyecciones iniciales debido a que los indicadores de impacto a menudo se basan en una serie de supuestos. La transparencia sobre estas premisas sirve para aclarar las razones de las divergencias entre las evaluaciones *ex ante* y *ex post*.

10) Se sugiere que los emisores informen sobre al menos un número limitado de indicadores básicos específicos del sector para los proyectos incluidos en sus programas de bonos verdes, facilitando así la comparación de los resultados entre proyectos. El manual de armonización propone indicadores sectoriales esenciales y específicos para prácticamente todas las categorías de los proyectos elegibles enumeradas en los GBP. Por ejemplo, en el caso de la categoría "Energías renovables", los indicadores esenciales son tres, a saber, las emisiones anuales de GEI reducidas o evitadas medidas en toneladas equivalentes de CO_2/año, la generación anual de energía renovable medida en megavatios hora (electricidad) o gigajulios (otras energías) y la capacidad de las centrales de energía renovable construidas o rehabilitadas, medida en megavatios. Otro indicador podría ser la capacidad de las centrales de energía renovable a las que darán servicio los sistemas de transmisión, medida en megavatios.
11) Cuando no existe una norma única comúnmente utilizada para el cálculo de los indicadores, los emisores pueden seguir sus propias metodologías y ponerlas a disposición de los inversores en los informes. Este es el caso del cálculo de las emisiones de GEI reducidas/evitadas para el que existen varias metodologías de cálculo.
12) La guía de armonización concientiza a los inversionistas que las comparaciones entre proyectos, sectores o carteras es difícil porque los supuestos generales sobre las características y los métodos de cálculo varían significativamente. Además, las estructuras de costos entre países también varían, por lo que el desarrollo de cálculos de rentabilidad (resultados por unidad de cantidad invertida en proyectos elegibles) puede situar en desventaja a los países más pequeños con economías de escala limitadas.
13) Los emisores pueden optar, por razones de coherencia, por convertir las unidades notificadas para proyectos individuales, basándose en un factor de conversión estándar para facilitar la comparación y la agregación, con la debida divulgación del método de conversión.
14) Se incita a los emisores a ser transparentes si aceptan la elegibilidad parcial de ciertos proyectos y en qué medida. En caso de que se utilice criterios que requieran asignar los ingresos de los bonos verdes a un proyecto con elegibilidad parcial, se recomienda explicar todas las suposiciones sobre a qué componente se refiere cada desembolso (por ejemplo, si se supone que los desembolsos se hacen primero al componente "verde", o se prorratean entre los componentes "verde" y "otros")
15) Además de la información cuantitativa, los GBP destacan el valor de la información cualitativa. Esta debe permitir una mejor comprensión del contexto en el que se espera

lograr el impacto del proyecto, pero también una comprensión de la gestión de cualquier tipo de riesgo que se haya identificado.

16) En caso de que los impactos o los resultados esperados de diferentes componentes del proyecto no puedan comunicarse por separado (como, por ejemplo, los componentes de eficiencia energética y energía renovable del mismo proyecto), los emisores pueden atribuir los resultados a cada componente en función del porcentaje financiado, revelando el método de atribución. Alternativamente, los emisores pueden combinar las métricas de información para ambos sectores en una sola tabla.
17) Los emisores deben ser totalmente transparentes sobre cómo informan de los flujos de caja relacionados con la asignación de los ingresos de los bonos verdes y sobre los proyectos a los que se han asignado los fondos de los bonos.
18) Finalmente, los emisores pueden facilitar la recopilación y la transferencia de datos a los inversores usando las plantillas de informes del manual de armonización o cargando los datos de impacto en bases especializadas.

2.A.2.4.2. Modelos de informe de impacto

En el apartado anterior se describió con detalle el tipo de información que idealmente deben contener los informes de asignación de fondos de los bonos verdes. La importante proporción de inversores que buscan informaciones sobre el impacto de los proyectos hace necesario que los emisores definan cómo y con qué nivel de detalle piensan divulgar la información sobre los proyectos o la cartera de proyectos verdes. El personal de tesorería que desempeña funciones en los mercados de capitales normalmente no participa o no está familiarizado con los detalles técnicos de los proyectos, por lo que la coordinación necesaria con las líneas de negocio y las unidades operativas que supervisan o están más cerca de las inversiones puede dificultar este paso. Además, es posible que las áreas de actividad competentes no recopilen las informaciones sistemáticamente, que sólo recojan datos limitados sobre los proyectos y que no estén familiarizados con la estimación de los resultados medioambientales y sociales previstos (por ejemplo, cómo afectan los proyectos a las emisiones, la calidad del agua, etc.). Para superar este problema, *La Guía de Gestión de Fondos y de Presentación de Informes de Bonos Verdes del Banco Mundial*, recomienda utilizar y aprovechar los sistemas de información existentes y adaptarlos a un informe de bonos verdes. Asimismo, sugiere definir precisamente quién y cómo desarrollará y transferirá la información al personal responsable de la elaboración de informes y que cada emisor adapte el flujo de información a sus propias circunstancias. (World Bank, 2018).

La guía del Banco Mundial establece plantillas de presentación de informes que consideran dos niveles de detalle, a saber, condensado y ampliado. Cada emisor debe intentar comenzar a producir un informe condensado y evaluar si puede aspirar a más en función de la capacidad de la institución para informar con más detalle siguiendo las líneas de los indicadores sugeridos en la plantilla. Si el esfuerzo necesario para aspirar a más se considera excesivo debido al tiempo necesario para obtener la información u otros impedimentos, la guía sugiere trabajar al nivel que sea factible para el primer informe de impacto (después de un año de la emisión) y tratar de comunicar más información con el tiempo. La opinión de los inversores sobre el informe de impacto inicial es siempre una buena forma de medir la satisfacción con el grado de detalle y claridad. La publicación de informes anuales debe continuar hasta el vencimiento del bono o hasta que se completen los proyectos verdes, lo que sucede más tarde. La razón para informar hasta que todos los proyectos estén finalizados es que generalmente los inversores desean saber si los resultados obtenidos corresponden a los esperados en el momento de la aprobación.

a) *Informes con un nivel de detalle condensado*

   La información reportada es cualitativa, con pocos indicadores cuantitativos, relativamente simple, concisa y debería estar fácilmente disponible para la mayoría de los emisores que han utilizado un marco de bonos verdes. Los datos que generalmente se encuentran en este tipo de informes son los siguientes:

   - El nombre del proyecto o la designación del sector o subsector financiado.
   - El monto de la financiación total aprobada y el porcentaje del proyecto que financia el bono verde (ya que otros inversores pueden participar en el financiamiento del proyecto).
   - El importe asignado o gastado hasta la fecha junto con el porcentaje de la asignación desembolsado.
   - Una breve descripción del proyecto que incluya información que ayude a apreciar la escala del proyecto y los principales elementos que se están construyendo o desarrollando. La descripción puede ampliarse a un pequeño párrafo para proporcionar una idea del contexto, como por ejemplo si forma parte de un programa más amplio, los objetivos específicos del proyecto y su ubicación.

Algunos emisores pueden tener dificultades para difundir los detalles proyecto por proyecto, ya sea por razones de confidencialidad o porque los datos disponibles del organismo patrocinador no son tan detallados. En estos casos, se puede publicar la agregación de proyectos por sector o categoría, con la debida justificación.

b) *Informes con un nivel de detalle ampliado*

Este nivel de presentación de informes añade información y detalles adicionales sobre la naturaleza y los resultados medioambientales previstos en los proyectos:

- La descripción incluye los objetivos del proyecto, el número y tipo de beneficiarios.
- La capacidad o cobertura de las inversiones ayuda al inversor a apreciar la escala y el tamaño del proyecto. Los resultados esperados son normalmente los estimados *ex ante* en el momento de la aprobación del programa y se expresan en unidades relevantes para los sectores correspondientes. Por ejemplo, un proyecto en el área de energías renovables informará de la cantidad en unidades de electricidad medida en megavatios que se estima que se producirá mientras que un proyecto de transporte sostenible indicará los kilómetros de sistemas de transporte público construidos y una estimación del aumento del volumen de pasajeros atendidos. Cuando no se dispone de estimaciones cuantitativas de los resultados previstos, se puede informar de la naturaleza y la dirección de los resultados esperados, como por ejemplo la reducción del uso de agua y pesticidas en la agricultura.
- Los resultados del proyecto deben presentarse en términos de beneficios ambientales y sociales esperados (el "impacto"), siempre que sea posible. Las metodologías necesarias para desarrollar estas estimaciones varían en grado de complejidad y requieren datos e hipótesis sobre la situación inicial, estimada para un año de referencia a partir del cual se calculan las mejoras una vez que el proyecto está en pleno funcionamiento. Los organismos reguladores de cada sector pueden proporcionar directrices sobre cómo deben elegirse las líneas de base y las metodologías para computar las mejoras de cada tipo de tecnología o proceso. En concreto, los beneficios medioambientales requieren estimaciones sobre cómo un proyecto afecta positivamente al nivel de calidad medioambiental, ya sea reduciendo los flujos contaminantes a la atmósfera, el agua, el suelo o mejorando la vulnerabilidad climática de una zona (como en el

caso de la reforestación o la restauración costera). Para el caso particular de los proyectos de mitigación que abordan el cambio climático, un indicador clave es la reducción anual estimada de las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos de azufre, etc.) con respecto a un año base. Esta métrica suele expresarse en toneladas equivalentes de CO_2 evitadas al año. En el caso de los beneficios sociales, se debe incluir una descripción cualitativa de las comunidades o la población destinataria y, cuando sea factible, incluir como indicador el número de personas que se beneficiarán del proyecto. Si es posible, se debe proporcionar detalles sobre el tipo de beneficio esperado (por ejemplo, mayor valor de las cosechas, mayor número de mujeres que reciben servicios, reducción de las pérdidas por inundaciones, creación de nuevos puestos de trabajo).

Los informes de impacto deben contener notas explicativas de las estimaciones cualitativas y cuantitativas de los resultados que se calculan o se obtienen utilizando hipótesis y metodologías determinadas. Es necesario facilitar las referencias y otras fuentes de información, particularmente cuando se proporcione una cuantificación de los resultados medioambientales, ya que las fuentes y metodologías publicadas sirven para validar el enfoque de cálculo. Finalmente, la guía aconseja al emisor que proporcione a los inversores notas de advertencia sobre las incertidumbres conocidas y desconocidas acerca de la información proporcionada, incluyendo, entre otras cosas, si los resultados esperados se basan en estimaciones *ex ante* que se actualizarán a la finalización del proyecto, si los resultados de los proyectos del mismo sector pueden compararse entre sí, y otros aspectos materiales que ayuden a interpretar el informe de impacto (World Bank, 2018). Ejemplos de los dos tipos de informes figuran en el anexo 6.

2.A.2.5. Folletos de emisión de bonos

La publicación sobre el impacto de los bonos verdes no es obligatoria, aunque se considera una buena práctica, ya que refuerza la responsabilidad del mercado. Sin embargo, las pautas como los GBP exigen la divulgación sobre la asignación y la gestión de los ingresos, al menos anualmente después de la emisión. Una práctica de mercado común y menos estricta es que la información sobre el uso de los recursos se proporcione en la fase de emisión, en el folleto de bonos, junto con las características financieras del bono (Fatica & Panzica, 2021).

El folleto de emisión ("prospectus" en inglés), tal como se explicó en el primer capítulo, es un documento oficial, registrado, que proporciona informaciones exhaustivas a los inversores que desean adquirir el instrumento financiero. El folleto de bonos incluye información sobre el emisor y las actividades financieras y económicas que lleva a cabo, sus estados financieros, todos los factores de riesgo y las condiciones detalladas de la colocación (objetivo y talla de la emisión, fechas de colocación y vencimiento, tipos de interés y procedimiento de pago de cupones, clausulas y garantías). El folleto "original" se elabora por adelantado, antes de la emisión, cuando aún no se han definido muchos de los parámetros de la emisión. Se utiliza para determinar inicialmente el interés del mercado y de los inversores por el valor propuesto. El folleto "final" contiene una descripción completa y definitiva de la emisión, incluido el precio de oferta (Cbonds, 2023). En lo que respecta a los bonos verdes, los folletos de emisión contienen informaciones sobre el uso de los fondos (nombres y los sectores de los proyectos financiados).

2.A.2.6. Revisiones externas

Los GBP recomiendan que los emisores designen a uno o varios proveedores externos de revisión para confirmar la alineación de su bono o programa de bonos verdes con todos los componentes básicos de los principios. *La Guía para las Evaluaciones Externas* del ICMA tiene por objeto proporcionar orientaciones voluntarias relativas a las normas profesionales y éticas de los revisores externos, así como a la organización, el contenido y la divulgación de sus informes. Estas pautas voluntarias son una iniciativa basada en el mercado y pretenden proporcionar información y transparencia sobre los procesos de revisión externa para emisores, suscriptores, inversionistas y otras partes interesadas (ICMA, 2022a).

La guía señala que las revisiones externas independientes pueden variar en alcance y abordar ya sea un marco o programa verde, una emisión individual de bonos verdes o los activos subyacentes. Se distinguen cuatro categorías de revisiones y algunos proveedores ofrecen más de un tipo de servicio, ya sea por separado o combinado:

1) *Opinión de Segundas Partes*. Instituciones con experiencia medioambiental, totalmente independientes del emisor, pueden proporcionar una Opinión de Segundas Partes (SPO[20]). La SPO implica una evaluación de la alineación de la emisión, marco, o programa verde del emisor con los cuatro componentes básicos de los GBP a saber, el

[20] Por las siglas de su denominación en inglés, Second Party Opinion.

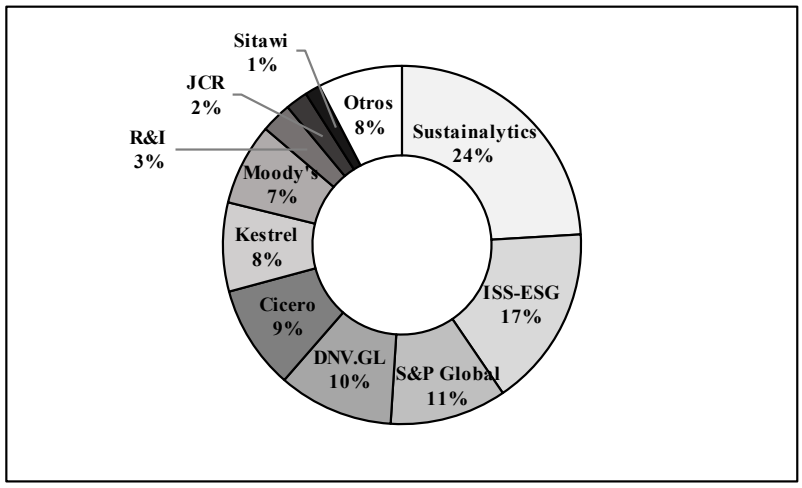
uso de los fondos, el proceso de evaluación y selección de proyectos, la gestión de los fondos y los informes. Concretamente, la SPO puede incluir una apreciación de los objetivos generales, la estrategia, la política y los procesos del emisor relacionados con el medioambiente. Los revisores externos también deben valuar, en términos medioambientales, las características del tipo de proyectos destinados para el uso elegible de los fondos recaudados, los beneficios e impacto que buscan los proyectos financiados por el bono verde y los riesgos potencialmente importantes que están asociados. Las organizaciones que proporcionan las SPO son proveedores de servicios en temas ambientales, sociales y de gobernanza (como por ejemplo Oekom, Sustainalytics, Vigeo Eiris, DNV GL), expertos científicos (CICERO, CECEP Consulting) y otros consultores medioambientales.

2) *Verificación*. Un emisor puede obtener una Opinión de Segundas Partes independiente con respecto a un conjunto designado de criterios, normalmente relativos a sus objetivos medioambientales. La verificación puede centrarse en la alineación con las normas internas o externas y las afirmaciones realizadas por el emisor. Asimismo, la evaluación de las características medioambientales de los activos subyacentes, con referencia a criterios externos, también puede denominarse verificación. Finalmente, esta categoría también incluye las garantías o atestaciones relativas al método de seguimiento interno para el uso de los fondos, la asignación de los fondos, la declaración del impacto medioambiental o la alineación de la información con los GBP. Los proveedores de verificaciones suelen ser las empresas de contabilidad y auditoría.
3) *Puntuación o calificación de bonos verdes*. Un emisor puede decidir que su marco de bonos verdes o una característica clave como el uso de los fondos, sea evaluado o valorado por terceros, de acuerdo con una metodología establecida de puntuación o de calificación (respectivamente “scoring” y “rating” en inglés). El resultado puede incluir un enfoque en los datos o procesos de rendimiento medioambiental en relación con los GBP, u otro punto de referencia, como un escenario de cambio climático de 2 grados. Esta puntuación o calificación es distinta de las calificaciones crediticias, que sin embargo pueden reflejar riesgos medioambientales importantes. Los proveedores de estos servicios son generalmente las agencias de calificación como Moody's, S&P Global Ratings, JCRA, etc.
4) *Certificación.* Un emisor puede certificar el uso de los fondos, su bono verde o el marco asociado según un estándar verde externo reconocido. Este último define criterios específicos y la conformidad con dichos criterios suele ser comprobada por revisores

terceros cualificados y acreditados, que verifican la coherencia con las normas de certificación. El Estándar del CBI es el único alineado con el Acuerdo de París disponible en el mercado. Verificadores externos independientes confirman que el uso de los fondos de los bonos verdes certificados es conformes a los criterios específicos del sector y por ende a los objetivos del acuerdo climático mencionado.

En términos de cuota de mercado por número de emisiones, Sustainalytics, ISS ESG, S&P Global, DNV, y Cicero[21] lideran la clasificación de los proveedores de segunda opinión y de calificadores (figura 2), mientras que DNV, EY y Sustainalytics son los verificadores que más emisiones revisaron para las certificaciones del CBI (Environmental Finance, 2023).

Figura 2: Cuota de mercado – Revisiones Externas SPO - 2022



Fuente: Environmental Finance (2023), elaboración propia

2.A.2.7. Greenium y otros factores de mercado

Si bien en los últimos tiempos se ha producido un crecimiento exponencial de la literatura relacionada con las finanzas verdes (Bhutta et al., 2022), las publicaciones académicas sobre bonos verdes son relativamente recientes y la mayor parte se centra en factores de mercados y en particular sobre los determinantes de los precios de los bonos verdes y el llamado "greenium", es decir, la prima que los tenedores de bonos están dispuestos a pagar por invertir en valores verdes en lugar de convencionales (Agliardi & Agliardi, 2021). Pese a que los estudios sobre la existencia de esta prima han dado resultados divergentes, gran parte de las

[21] En diciembre de 2022, S&P Global adquirió el área de revisión externa de Cicero. En julio de 2020, el proveedor de análisis de inversión independiente Morningstar completó la adquisición de Sustainalytics mientras que Moody's compró Vigeo Eiris en octubre del mismo año.

investigaciones revisadas demuestran la existencia de una prima de emisión negativa de los bonos verdes con respecto a los bonos convencionales equivalentes.

El primer estudio académico que abordó la existencia del "greenium" es el de Zerbib (2017), publicado posteriormente en una versión revisada (Zerbib, 2019), en el que se utiliza un método de emparejamiento[22] para calcular el rendimiento de un bono convencional sintético equivalente por cada bono verde emitido hasta diciembre de 2016. La conclusión es que existe una prima negativa estadísticamente significativa sobre el rendimiento de los bonos verdes, que se cuantifica y explica en función de las características de los bonos. En particular, en el caso de los bonos con calificación de grado de inversión, la prima media es negativa en varios segmentos del mercado, -2 puntos básicos para los bonos en euros y -5 puntos básicos para los bonos en dólares estadounidenses.

Baker et al. (2018) revisaron los mercados de bonos verdes corporativos y municipales de Estados Unidos, estudiando las pautas de fijación de precios y de detención. Sus resultados son que los bonos verdes municipales se emiten con una prima sobre los bonos ordinarios similares, con rendimientos al vencimiento inferiores de -6 puntos básicos. También confirmaron que la detención de los bonos verdes está más concentrada, con un subconjunto de inversores que los poseen en mayor proporción, especialmente cuando el valor nominal es pequeño o el bono tiene un riesgo especialmente bajo. Estos efectos sobre los precios y la propiedad son mayores en el caso de los bonos con certificaciones externas. Igualmente en el mercado estadounidense de bonos municipales, Karpf y Mandel (2018) obtienen una prima positiva media de 7,8 puntos básicos para los bonos verdes, con resultados bastante dispares cuando se analiza la evolución temporal del "greenium". En concreto, encuentran un rendimiento superior para los bonos verdes en comparación con el rendimiento de los bonos convencionales en el periodo que va de 2010 a 2014, mientras que en los últimos dos años de la muestra (2015 y 2016), el rendimiento de los bonos verdes resulta ser inferior al de los bonos convencionales. Los resultados discordantes pueden deberse al hecho de que Karpf y Mandel (2018) no tuvieron en cuenta el efecto de los impuestos sobre los rendimientos. Dado que muchos bonos municipales verdes están sujetos a impuestos, es más probable que los rendimientos a la emisión sean más elevados.

[22] El método de emparejamiento es una técnica útil para analizar la especificidad de un instrumento financiero que consiste en emparejar un par de instrumentos con las mismas características excepto la característica en la que se está interesado desde el punto de vista de sus efectos.

Sin embargo, si se tienen en cuenta los impuestos, los rendimientos de los bonos verdes pasan a ser inferiores a los de los bonos convencionales (Agliardi & Agliardi, 2021).

Concentrándose en el mercado primario[23] denominado en euros, Gianfrate y Peri (2019) investigaron la existencia de una prima para los bonos verdes, demostrando que existe una "prima verde" en el mercado primario y que es negativa y estadísticamente significativa. En concreto, estimaron que la prima de los bonos verdes se sitúa en torno a -17 a -18 puntos básicos cuando se considera toda la muestra, en torno a -20 a -21 puntos básicos cuando se centraron únicamente en los bonos emitidos por empresas, y en torno a -15 puntos básicos cuando se tienen en cuenta todos los emisores menos los corporativos. Los autores consideran que, aunque la evaluación verde fuese tan cara como las calificaciones crediticias normales (de 3 a 5 puntos básicos), este precio sigue siendo muy inferior a la prima verde estimada y que, por tanto, los bonos verdes son relativamente convenientes para los emisores. Acorde con este estudio, Agliardi y Agliardi (2021), obtuvieron un diferencial negativo desde la perspectiva de los titulares de bonos verdes demostrando que el "greenium" en el momento de la emisión es de 12,36 puntos básicos. Además, esta investigación enuncia que el umbral de impago se reduce en torno a un 26% si el bono convencional se sustituye por un bono verde, porque participar en inversiones verdes es provechoso para los beneficios de la empresa, lo que en última instancia conduce a una mejora indirecta de la calidad crediticia de la empresa. Löffler et al. (2021) investigaron los rendimientos en el momento de la emisión y fueron unos de los primeros investigadores en examinar los rendimientos en los mercados secundarios. Los resultados de la estimación mostraron que los rendimientos de los bonos verdes son entre 15 y 20 puntos básicos inferiores a los de los bonos convencionales comparables, lo que es estadísticamente significativo y que se mantiene tanto en el mercado primario como en el secundario. Sin embargo, el resultado para el mercado secundario de la muestra está impulsado por los años 2018 y 2019 y no se mantiene para los años anteriores.

Fatica et al. (2021) investigaron las implicaciones de etiquetar a sus bonos como verdes para los emisores no gubernamentales. Sus resultados muestran que los bonos verdes emitidos por instituciones supranacionales y empresas no financieras se benefician de una prima en comparación con los bonos ordinarios. Esto sugiere que las empresas con un alto rendimiento

[23] Los mercados primarios son lugares físicos o virtuales-electrónicos donde los inversores obtienen títulos recién creados, que adquieren directamente del emisor (contrariamente a los mercados secundarios, en los que se negocian títulos ya emitidos con anterioridad detenidos por otros inversores).

medioambiental disponen de un menor costo de la deuda. Además, los bonos verdes con revisión externa se favorecen de una prima mayor en comparación con los valores verdes auto-etiquetados, corroborando la idea de que la revisión externa es importante en este mercado. Asimismo, los autores demostraron que los emisores recurrentes se benefician de una prima adicional en comparación con los emisores puntuales, lo que consideran como una prueba del efecto de reputación en el segmento de los bonos verdes. En cuanto a las instituciones financieras, pese a que estas recaudan cantidades significativas a través de los bonos verdes, no lograron probar de que se beneficien de una ventaja de precios con respecto a sus bonos ordinarios, *ceteris paribus*. Los investigadores estiman que esto podría deberse a las dificultades inherentes a vincular directamente la emisión de un bono con proyectos ecológicos específicos.

Immel et al. (2022), además de encontrar una prima negativa de 8 a 14 puntos básicos, se interesaron en la influencia de las calificaciones ASG[24] en los bonos verdes y encontraron una influencia estadísticamente significativa de estas evaluaciones en los diferenciales de los bonos: un aumento de un punto en la puntuación ASG media ponderada conduce a una disminución del diferencial de 6 a 13 puntos básicos. Sin embargo, los resultados no se deben a los criterios de respeto por el medio ambiente del emisor de bonos verdes, sino esencialmente a la gobernanza de la empresa. Los estudios de Katori (2018) y Nanayakkara y Colombage (2019) también demuestran la existencia de una prima negativa.

Por el contrario, y tal como se indicó al inicio de esta sección, existen investigaciones relevantes con resultados opuestos. Hachenberg y Schiereck (2018) enuncian que, a pesar de que económicamente se observa un diferencial de rendimiento más bajo o "ajustado" de los bonos verdes, no encontraron significación estadística y rechazaron la hipótesis de que, en general, los bonos verdes cotizan más "ajustados" que los bonos convencionales del mismo emisor. Analizando más en detalle los diferenciales de precios, sus resultados indican que no son significativos ni el vencimiento, ni el volumen, ni la divisa, sino más bien los sectores -en concreto los emisores relacionados con el gobierno y los financieros-, así como la existencia de una calificación ASG. Los bonos verdes relacionados con los gobiernos (a saber, los bonos soberanos, supranacionales, de gobiernos regionales y locales) cotizan marginalmente con un diferencial de rendimiento superior a los bonos convencionales comparables, mientras que los

[24] Las calificaciones ASG demuestran cómo empresas o inversiones puntúan en cuanto a políticas medioambientales, sociales y de buen gobierno.

bonos verdes financieros cotizan con un diferencial más "ajustado" que los bonos convencionales. Bachelet et al. (2019), utilizando un método de emparejamiento, llegaron a la conclusión que, en general, los bonos verdes tienen unos rendimientos más altos, junto con una mayor liquidez y, al mismo tiempo, son ligeramente menos volátiles que sus bonos convencionales más cercanos. Al realizar un desglose entre los emisores privados y los relacionados con los gobiernos, encontraron que estos últimos muestran una prima negativa y son mucho más líquidos, mientras que los bonos verdes de emisores privados tienen una prima positiva y una ventaja de liquidez mucho menor con respecto a sus gemelos convencionales. Separando los bonos verdes de emisores privados en categorías certificadas y no certificadas, demostraron que la prima positiva es elevada para estos últimos. Kapraun et al. (2021) analizaron precios en el mercado primario y secundario. Sus resultados muestran que, en ambos mercados, sólo algunos tipos de bonos cotizan con una prima verde en relación con sus homólogos convencionales, a saber: los emitidos por gobiernos o entidades supranacionales y denominados en euros, o los bonos corporativos con tamaños de emisión muy grandes. Estos bonos y sus emisores parecen ser vistos como más creíbles en términos de una mejor implementación o un mayor impacto de los proyectos verdes financiados con los ingresos. Es más probable que los inversores paguen una prima por un bono verde si dispone de una certificación externa o si cotiza en una bolsa con un segmento dedicado a los bonos verdes, con requisitos de cotización estrictos. Finalmente, el análisis de Larcker y Watts (2020) es quizás el más crítico del "greenium" puesto que su conclusión es que los inversores en valores municipales estadounidenses consideran los bonos verdes y los convencionales del mismo emisor como sustitutos casi exactos y que, por tanto, la prima es básicamente cero.

En lo que respecta a otros factores de mercado, Wulandari et al. (2018) investigaron los efectos de la *prima de liquidez* en los diferenciales de rendimiento de los bonos verdes. Utilizando dos medidas de liquidez alternativas, la medida de liquidez LOT[25] y el diferencial entre precio de compra y de venta ("bid-ask spread" en inglés), sus resultados sugieren que los bonos convencionales son menos líquidos que los bonos ve rdes, y las diferencias son significativas para todos los años investigados (2014-2016). En cuanto a la *diversificación* y *conectividad* con otros mercados, Reboredo (2018) estudió la estructura de dependencia entre los mercados de bonos verdes y los mercados financieros. Sus resultados indican que los bonos verdes no tienen

[25] El modelo de liquidez (LOT) estima los costos de transacción de los operadores marginales tanto del lado comprador como del vendedor. Es capaz de captar y estimar los costos que pueden influir en la negociación informada, a saber, los costos de oportunidad, de comisiones y de impacto en el mercado.

efectos de diversificación para los inversores en mercados de bonos corporativos y soberanos y, además, los bonos verdes se ven afectados en caso de importantes fluctuaciones de precios de los mercados de renta fija corporativa y soberana. Respecto a la repercusión en la *cotización de las acciones* de las empresas que emiten bonos verdes, Tang y Zhang (2020) se interesaron en los rendimientos tras los anuncios y los efectos reales de la emisión de bonos verdes por empresas de 23 países durante el período 2007-2017. Los autores documentaron que los precios de las acciones responden positivamente a la emisión de bonos verdes y que la liquidez de las acciones mejora significativamente tras la emisión de bonos verdes, sin encontrar una prima significativa para los bonos verdes, lo que sugiere que los rendimientos positivos de las acciones no están impulsados por el menor costo de la deuda. Zhou y Cui (2019) estudiaron empresas chinas que cotizan y que han emitido bonos verdes desde 2016. Los resultados indican que los anuncios de emisión de bonos verdes tienen un efecto positivo en las cotizaciones bursátiles de estas empresas y que la emisión de este tipo de bonos desempeña un papel activo en la mejora de la rentabilidad, el rendimiento operativo y la capacidad de innovación de las empresas. Utilizando una muestra de bonos verdes emitidos por empresas que cotizan, Flammer (2020) constató que el mercado bursátil responde positivamente al anuncio de emisiones de bonos verdes y que los emisores de estos bonos, comparados con una muestra de emisores de bonos convencionales, experimentan mejoras a largo plazo en sus resultados financieros y medioambientales. Sus conclusiones sólo fueron significativas para los bonos verdes certificados, sugiriendo que la certificación externa es un mecanismo de gobernanza clave para los bonos verdes. Finalmente Nabil (2023) demostró que existe un impacto significativo de los bonos verdes en el rendimiento del sector bancario en los mercados desarrollados y emergentes, ya que la solvencia del sector bancario ha aumentado en respuesta a la inversión en bonos verdes.

Para concluir esta sección, se puede mencionar el trabajo de Deschryver y De Mariz (2020) que cita los obstáculos que impiden una mayor expansión del mercado de bonos verdes, a saber: las percepciones poco claras de los emisores sobre los beneficios financieros, la escasez de índices de referencia ("benchmarks" en inglés), la falta de diversidad de la oferta y de liquidez, la ausencia de enfoques estandarizados para la gestión de los fondos y las dificultades para informar sobre el impacto que pueden reforzar los riesgos de "greenwashing". Los autores también hacen cuatro recomendaciones para ampliar el mercado de bonos verdes: (1) proseguir los esfuerzos de normalización mediante el desarrollo de un marco común de bonos verdes; (2) mejorar la transparencia y la divulgación de información; (3) distinguir el mercado de bonos

verdes de otros instrumentos, como los bonos de transición y los instrumentos vinculados a la sostenibilidad, reduciendo así el riesgo de "greenwashing"; (4) desarrollar mecanismos que faciliten las inversiones en las economías emergentes, que pueden convertirse en una fuente importante de emisiones de este tipo de bonos.

2.A.2.8. Mercados emergentes, Latinoamérica y el Caribe

Existe literatura académica que se ha centrado sobre el desarrollo y las características de los bonos verdes en las economías emergentes. Según Banga (2019), las principales barreras que dificultan la expansión de los bonos verdes en los países en desarrollo son la falta de conocimientos sobre el funcionamiento de los bonos verdes, la inadecuada disposición institucional para la gestión de este tipo de bonos, el tamaño mínimo de las emisiones, la moneda de emisión y los elevados costos de transacción asociados. Sus resultados sugieren varias medidas potenciales para potenciar el desarrollo de los bonos verdes, a saber: una coordinación eficaz entre los ministerios de finanzas y medio ambiente, un uso eficiente de los bancos multilaterales y nacionales de desarrollo como instituciones intermediarias para la gestión de los bonos verdes, la provisión de garantías por parte de los gobiernos locales para la emisión de este tipo de bonos, así como la promoción de mercados locales de bonos verdes, en los que los inversores nacionales podrían emitir bonos a favor del medioambiente en la moneda local.

Ngwenya y Simatele (2020) se centraron en África e igualmente sugieren una serie de políticas que deberían implementarse para el desarrollo del mercado de bonos verdes en la región. En primer lugar, mencionan a los incentivos fiscales a los bonos verdes como una fuente para aumentar la atracción de estos instrumentos para los inversores y los emisores. También señalan que los gobiernos africanos deberían contar con políticas que promuevan una mayor concienciación y participación de los bonos verdes entre todos los participantes del mercado, para que estos comprendan los beneficios que los bonos verdes pueden tener en la consecución de los objetivos climáticos. Finalmente, indican que se deberían establecer principios y directrices para los bonos verdes que se incorporen al mercado de bonos verdes en África con el fin de promover la integridad del mercado, la transparencia y la responsabilidad de los emisores.

China es uno de los países más prolíficos en términos de emisiones de bonos verdes (Climate Bonds Initiative, 2022c). Además del estudio previamente mencionado de Zhou y Cui (2019)

sobre los efectos en las cotizaciones bursátiles de los emisores de bonos verdes chinos, Li et al. (2019) exploraron empíricamente el impacto de las calificaciones crediticias, la responsabilidad social corporativa (RSC)[26] y las certificaciones externas en los diferenciales de rendimiento de bonos verdes emitidos en China. Sus resultados muestran que la emisión de bonos verdes es una señal de RSC y que los bonos verdes con certificaciones y verificación por terceros suelen tener diferenciales de rendimiento más bajos que los que no están certificados.

Latinoamérica y el Caribe es el área en el cual se centra la presente tesis. Al igual que en los mercados desarrollados, existe literatura académica sobre el diferencial de rendimiento de los bonos verdes emitidos en la región. Uno de los primeros estudios en interesarse en el "greenium" fue el de Arellano Cadena y Pérez Delgado (2019) sobre bonos verdes mexicanos. Basándose en las posturas de compra (es decir utilizando el precio de demanda o "ask price" en inglés) para un bono verde y un bono convencional emitidos por la misma institución, los resultados sugieren que cuando los bonos tienen el mismo plazo de vencimiento, los inversionistas mexicanos están dispuestos a aceptar rendimientos ligeramente inferiores en bonos verdes en relación con los convencionales. Uribe Giraldo (2019) seleccionó una muestra de bonos verdes y ordinarios emitidos en Brasil, Colombia, Chile y México entre 2014 y 2019. Los resultados de su modelo permiten concluir que, en estos países de Latinoamérica, los bonos verdes tienen un rendimiento de 89,9 puntos básicos por debajo de los bonos ordinarios. La diferencia de rentabilidades se explica por la alta demanda de estos bonos y la escasez de oferta en el mercado, que hace que el precio de los bonos verdes aumente y su rentabilidad disminuya. Durán Quintana y Morales Zamora (2020) analizaron la tasa de colocación ofrecida por los bonos corporativos -verdes, sociales y tradicionales- en Chile, y evaluaron si existen diferencias entre las variables explicativas para cada tipo de bono. En el caso de los bonos verdes, independientemente del rating de los instrumentos, sus resultados indican un rendimiento de colocación inferior con respecto a los bonos convencionales, lo que implica una valoración positiva del inversionista chileno por los bonos verdes.

Más allá del "greenium", el estudio de Bernabé Argandoña et al. (2022) describe el mercado latinoamericano de bonos verdes, sociales y sostenibles, y analiza el crecimiento económico de los países que emiten este tipo de bonos. Los autores identificaron las tres principales barreras para el desarrollo de los bonos verdes en la región y los avances que se han realizado en estos

[26] La Responsabilidad Social Corporativa (RSC) es la idea de que una empresa debe desempeñar un papel positivo en la comunidad y tener en cuenta el impacto medioambiental y social de las decisiones empresariales.

aspectos. La primera traba mencionada son los mayores costos de emisión que no se compensan con las condiciones de la deuda. Frente a esto, la Bolsa Nacional de Valores de Costa Rica ha reducido los costos de registro de los bonos verdes y Colombia ha hecho lo mismo con las emisiones de pequeño monto. Otro obstáculo son los procedimientos de emisión complejos, incluida la definición de lo que se considera verde. Diversas bolsas de valores han publicado directrices para la emisión de bonos verdes (Costa Rica, República Dominicana, Colombia y Chile, entre otras) y algunos reguladores, como el colombiano, han contribuido a aclarar estos procesos publicando taxonomías. Finalmente, los exigentes procesos de elaboración de informes y medición del impacto también frenan el avance de estos instrumentos. Los autores concluyen que el potencial de emitir bonos verdes varía entre los países emergentes y que, aunque cada economía tiene factores específicos que conducen al desarrollo del mercado de este tipo de bonos, el potencial de su crecimiento está marcado por el establecimiento de políticas y marcos de financiación sostenibles, el desarrollo del mercado de capitales y la estabilidad política.

Tras analizar la evolución y el estado actual del mercado de bonos verdes en la región, Mejía-Escobar et al. (2021) identificaron algunos factores de éxito y recomendaciones para su desarrollo que son susceptibles o bien de profundización en los países donde han surgido o bien de réplica en otros países. Los autores sugieren:

- Impulsar las iniciativas del sector y de los agentes del mercado, como las bolsas, los comisionistas y las empresas que ya han emitido.
- Consolidar las garantías y reforzar las agencias gubernamentales y las instituciones de desarrollo que mejoren los perfiles de riesgo-rentabilidad de los proyectos.
- Promover, mediante incentivos fiscales y formación con los agentes del mercado, la creación de entidades de verificación a nivel local.
- Canalizar los fondos de los bonos a pequeños proyectos a través de fondos de inversión o bancos que operan eficientemente en el mercado de renta fija.
- Asociar factores institucionales como los incentivos fiscales y el desarrollo de mercados de bonos verdes.
- La obligación de revisión externa y su publicación en sitios web como se ha implementado en Costa Rica.

2.A.2.9. Financiación de proyectos con bonos verdes

DuPont et al. (2015) investigaron el uso de bonos verdes para financiar proyectos relacionados con el uso y la preservación de los suelos, lo que incluye proyectos de silvicultura, operaciones agrícolas, adquisiciones de tierras y servidumbres de conservación. Si bien hasta la fecha de publicación sólo una pequeña parte de los bonos verdes se había destinado a proyectos de conservación del suelo, los autores identificaron dos vías principales por las que este tipo de bonos pueden convertirse en un mecanismo importante de financiación. En primer lugar, para estructurar un bono verde en torno a la preservación de los suelos, los emisores y los inversores deben ponerse de acuerdo sobre cómo esta conservación genera rendimientos financieros (por ejemplo, la producción sostenible de materias primas o el ecoturismo). En segundo lugar, los bonos verdes que vinculan el uso y la conservación sostenible de los suelos con la gestión del agua dulce y las aguas pluviales pueden resultar especialmente atractivos para los inversores, dado que existe un cierto consenso sobre el valor del agua en diversos mercados. Los autores concluyen que las emisiones a nivel estatal en este ámbito pueden ser más atractivas, dado que muchos estados americanos disponen de una sólida calificación crediticia y de la capacidad de financiar proyectos más pequeños.

En Asia, Ng y Tao (2016) abordaron el déficit de financiación de proyectos de energía renovable con el fin de proponer soluciones para garantizar que suficiente capital se canalice hacia el sector de las energías limpias, las cuales permitirán que las futuras necesidades energéticas de la región se satisfagan de forma sostenible. El estudio establece que el déficit de financiación en Asia se debe en gran medida a la falta de diversidad financiera y a la inmadurez de los mercados financieros, y propone como solución la expansión de tres instrumentos de renta fija: los bonos corporativos en moneda local, los bonos de proyecto titulizados con activos y los bonos verdes financieros. Su conclusión es que, debido a la naturaleza heterogénea de las economías asiáticas, cada una de ellas tiene que adoptar políticas diferentes. Las economías avanzadas, como Singapur, pueden promover el uso de instrumentos financieros innovadores, como los bonos verdes. Los mercados emergentes progresivos, como Indonesia, Tailandia, Malasia y Filipinas, que ya están introduciendo diversas políticas favorables a las energías renovables, deben centrarse en la creación de sus mercados de renta fija. En cuanto a las nuevas economías emergentes, como Camboya y Vietnam, los autores estiman que necesitarán tiempo para maximizar el uso de la financiación mediante bonos para los proyectos de energías renovables. Dado que el alto riesgo es una de las principales preocupaciones de los inversores

de la región, esta investigación recomienda a los países asiáticos en centrarse en reducir las barreras financieras de los proyectos de energías renovables.

Nenonen et al. (2019) describieron como los promotores inmobiliarios en Finlandia pueden utilizar bonos verdes como instrumentos para la gestión y el desarrollo continuo de propiedades sostenibles. Empleando el método de estudio de caso único de una empresa propietaria de inmuebles, que se compromete a invertir los fondos recaudados en proyectos certificados, ambientalmente responsables y energéticamente eficientes, los autores captaron el proceso de la organización del caso hacia la iniciativa de los bonos verdes. Los resultados muestran que la empresa comenzó el proceso centrándose en la sostenibilidad medioambiental, especialmente dedicando esfuerzos en la primera fase a la eficiencia energética de su cartera inmobiliaria. La segunda fase incluía ya una intención más consciente y sistemática de lograr la interrelación entre la propiedad y la gestión de activos mediante bonos verdes.

La financiación de proyectos ("project finance" en inglés) se ha utilizado tradicionalmente para financiar proyectos de recursos naturales a gran escala, como instalaciones de generación de energía eléctrica, proyectos hidroeléctricos, refinerías, oleoductos, instalaciones portuarias, autopistas de peaje, entre otros. El estudio de Alonso-Conde y Rojo-Suárez (2020) adoptó la perspectiva de un patrocinador de financiación de proyectos para analizar si existe un incentivo financiero directo para emitir bonos verdes en contraste con otros tipos de financiación. Su objetivo era igualmente comprender mejor qué es lo que atrae a los emisores al mercado de bonos verdes y evaluar el papel de estos bonos en la transferencia de capital hacia actividades más sostenibles. Para ello, realizaron un análisis aplicado en el marco de la planta de regasificación de Sagunto (España). Sus resultados sugieren que la financiación mediante bonos verdes, lejos de ser un obstáculo para patrocinadores y prestamistas, se convierte en un incentivo que permite a los accionistas aumentar la rentabilidad del proyecto debido al menor costo del capital implicado, y a los prestamistas aumentar la calidad crediticia del proyecto. La financiación mediante bonos verdes proporciona una rentabilidad superior a la financiación convencional como por ejemplo los préstamos bancarios.

Al inicio de esta primera parte del marco teórico, se han presentado las características y las principales teorías de los instrumentos de deuda llamados bonos. Más adelante, se han desarrollado los conceptos relacionados con los bonos verdes. Teniendo en cuenta la

importancia que tienen para la presente investigación los proyectos financiados con este tipo de bonos, se ha expuesto la metodología de selección de la base de datos utilizada, con los sectores elegibles para los proyectos seleccionados, al igual que los tipos de financiación permitidos. Los informes sobre el uso de los fondos son una particularidad de este tipo de instrumentos, indispensables para obtener información de calidad sobre los proyectos. El conocimiento detallado del funcionamiento y las buenas prácticas de los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión y las revisiones externas son esenciales para este estudio.

Se ha revisado además el estado del arte en el tema de bonos verdes. Pese a que las publicaciones académicas sobre este tema son relativamente recientes, se han examinado las más relevantes, constatando que la mayor parte se centra en factores de mercados y en particular sobre los determinantes de los precios de los bonos verdes en relación con sus pares convencionales. La literatura que se ha repasado sobre este tipo de bonos en LAC está igualmente enfocada hacia el "greenium" o es en su mayoría descriptiva. En cuanto a la investigaciones sobre financiación de proyectos con bonos verdes, únicamente la de DuPont et al. (2015) y la de Nenonen et al. (2019) proporcionaron detalles sobre las características de los proyectos subyacentes. Teniendo en cuenta que son los programas financiados los que van a repercutir directamente sobre el cambio climático, es importante que la comunidad científica oriente más estudios hacia esta área de los bonos verdes, tal como que se intenta realizar en la presente tesis. Considerando la gran variedad de sectores y activos financiados, el campo de investigación es vasto y se debe explorarlo más a fondo.

Parte B – Ecoeficiencia

El segundo objetivo específico de esta tesis es determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos. Para poder abordar este objetivo, se desarrollará en primer lugar la conceptualización de la ecoeficiencia. Seguidamente, se dará cuenta de las técnicas, los métodos y los estudios existentes que son necesarios para medir la ecoeficiencia relativa de los proyectos.

2.B.1. Definición

El concepto de ecoeficiencia fue formalmente definido en 1992 por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (CEMDS o WBCSD[27]) como la relación entre dos elementos: el valor de la producción, que debe ser aumentado y el impacto ambiental, que debe ser reducido (Huppes & Ishikawa, 2005). Más precisamente, el CEMDS indica que la ecoeficiencia se obtiene por la "entrega de bienes y servicios con precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas y traen mayor calidad de vida, con una reducción progresiva de los impactos ambientales de los bienes y servicios a través de todo el ciclo de vida para un nivel, como mínimo, acorde con la capacidad estimada que el planeta puede soportar". De acuerdo a esta organización, la ecoeficiencia es un concepto clave que puede ayudar a empresas, gobiernos u otras organizaciones a ser más sostenibles[28] (Verfaillie & Bidwell, 2000).

Para la OCDE, la ecoeficiencia es "la eficiencia con que se utilizan los recursos ecológicos para satisfacer las necesidades humanas", mientras la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) la define como "más bienestar con menos naturaleza". La ecoeficiencia es una estrategia de gestión que combina el rendimiento medioambiental y el económico. Esta permite procesos de producción más eficientes y la creación de mejores productos y servicios, al tiempo que reduce el uso de recursos, los residuos y la contaminación a lo largo de toda la cadena de valor. También crea más valor con menos impacto al desvincular los bienes y servicios del uso de la naturaleza. No sólo permite ahorrar costos de producción, sino también abre nuevas fuentes de ingresos para las empresas (WBCSD & Five Winds International, 2006). En el plano

[27] Por las siglas de su denominación en inglés, World Business Council for Sustainable Development.
[28] El concepto de sostenibilidad utilizado por el CEMDS responde a la definición clásica de sostenibilidad que vincula únicamente el crecimiento económico con el uso de los recursos naturales, sin tener en cuenta los aspectos políticos y sociales de esta noción (Tapia, 2023b).

económico, el arquetipo ecoeficiente pretende disminuir los costos (materias primas, energía) y aumentar los ingresos (venta de productos, mejora de imagen); en el plano ecológico, aspira a producir reduciendo el consumo de recursos naturales y energía, y aumentando la tasa de reutilización; en el plano funcional, la ecoeficiencia se manifiesta con características como la durabilidad, la fiabilidad, la seguridad y la facilidad de transporte, el embalaje y almacenaje (Tapia, 2022).

Para medir el progreso hacia la sostenibilidad económica y medioambiental, el CEMDS desarrolló una serie de indicadores de aplicación general que pueden ser utilizados por prácticamente todas las empresas. Partiendo de la ecuación básica *valor del producto o servicio / influencia ambiental*, se puede calcular la ecoeficiencia de numerosas formas. Tanto el valor como la influencia medioambiental incluyen muchos indicadores diferentes que no pueden fusionarse en una sola cifra. También pueden medirse para diferentes entidades, como líneas de producción, centros de fabricación o empresas enteras, así como para productos individuales, segmentos de mercado o economías completas. Del mismo modo, las ratios de ecoeficiencia pueden calcularse y utilizarse para muchas de estas entidades. El mismo indicador puede no ser adecuado para cada una de ellas. Los indicadores también pueden ser útiles para ayudar a los clientes a comprender el comportamiento medioambiental de los productos. Por ejemplo, la eficiencia del combustible de un automóvil expresada en kilómetros por litro de combustible utilizado (o millas por galón) es una ratio de ecoeficiencia.

De acuerdo con el CEMDS, los indicadores de cualquier tipo deben basarse en una serie de principios que definen cómo se seleccionan y utilizan. Los indicadores, entre otros, deben: ser pertinentes y significativos con respecto a la protección del medio ambiente y la salud humana y/o la mejora de la calidad de vida; ser comprensibles y significativos para las partes interesadas; estar claramente definidos y ser medibles, transparentes y verificables; permitir la evaluación comparativa y el seguimiento a lo largo del tiempo. En base de estos principios, el CEMDS establece dos tipos de indicadores: los *de aplicación general* y los *específicos del negocio*. La primera categoría engloba a los indicadores que pueden utilizar prácticamente todas las empresas, aunque no tengan el mismo valor o importancia para todas ellas. Para cada uno de ellos debe existir un acuerdo internacional general sobre los siguientes aspectos: el indicador está relacionado con una preocupación medioambiental global o un valor empresarial; es relevante y significativo para prácticamente todas las empresas; y los métodos de medición están establecidos, igual que las definiciones aceptadas a nivel mundial. Todos los demás

indicadores que no cumplen estos tres criterios son los *específicos al negocio*. Estos se definen individualmente de una empresa a otra y es probable que haya una diversidad de enfoques con respecto a cómo se miden y definen, además su relevancia y significado varían de una compañía a otra. Las distinciones no implican que los indicadores *de aplicación general* sean más importantes que los indicadores *específicos al negocio*. Esto dependerá de la naturaleza de cada empresa. La distinción se establece simplemente para identificar un pequeño conjunto de indicadores que todas las empresas podrían utilizar, de entre la amplia gama disponible y significativa para una organización individual (CECODES, 2000; Verfaillie & Bidwell, 2000). La siguiente tabla sintetiza los indicadores de aplicación general:

Tabla 9: Indicadores de ecoeficiencia de aplicación general

Indicador	Unidad
Indicadores de valor	
Cantidad de bienes o servicios producidos	Número o masa
Ventas netas	Moneda usual de la compañía
Indicadores de influencia ambiental	
Consumo de energía	Gigajulios (o múltiplos)
Consumo de materiales	Toneladas métricas
Consumo de agua	Metros cúbicos
Emisiones de GEI	Toneladas de equivalentes de CO_2
Sustancias que reducen la capa de ozono	Toneladas de equivalentes de CFC11

Fuente:Verfaillie & Bidwell (2000), elaboración propia

La ecoeficiencia es un concepto clave que propicia a los agentes económicos y sociales a tener comportamientos más sostenibles a nivel local, que al final resultan en consecuencias positivas a nivel global para el desarrollo sostenible (Tapia, 2017). El Informe Brundtland de 1987 formalizó la definición de desarrollo sostenible como el tipo de desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer las capacidades de desarrollo de las generaciones futuras. La sostenibilidad es un concepto complejo que ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas. La distinción entre sostenibilidad fuerte y débil reposa sobre el enfoque económico que asume el concepto del medio ambiente simplemente como capital natural. La sostenibilidad fuerte es la visión que implica que el capital natural es limitado y se debe mantener intacto en el tiempo sin poder ser substituido por otros tipos de capital distintos (Lorenzo, 2020; Tapia, 2017). Existen diversos indicadores de sostenibilidad fuerte como: la huella ecológica, el índice de planeta vio, el índice de bienestar económicamente sostenible (IBES), los indicadores de desarrollo humano sostenible, entre otros. En cuanto a los

indicadores de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas, estos fueron creados en 2015 para hacer asequibles los indicadores a los encargados de política a nivel nacional (Tapia, 2023a). Todos los Estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible 17 objetivos y 169 metas asociadas a ellos, que constituyen un plan global para la erradicación de la pobreza, la protección del planeta y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas. El Marco de indicadores mundiales para los objetivos de desarrollo sostenible se utiliza para examinar los progresos realizados a nivel mundial (Naciones Unidas, 2022).

La recopilación y presentación de datos sobre ecoeficiencia no es tan sencilla como en el caso de la información financiera, donde existen metodologías bien establecidas y la fuerza unificadora del valor monetario. Los resultados medioambientales abarcan una compleja mezcla de parámetros relacionados con diferentes impactos para los que las metodologías de medición son a menudo muy nuevas o aún no están ampliamente consensuadas. Incluso dentro de las operaciones de una empresa, existen numerosos límites que deben definirse para la selección y el uso de indicadores. Dentro de un proceso determinado, puede haber múltiples entradas de energía y múltiples salidas de emisiones de varios subprocesos. La manera de seleccionar los subprocesos y de distribuir las mediciones entre los distintos subprocesos puede tener una gran influencia en un indicador concreto. El Análisis de ciclo de vida (ACV) es el método que se ha utilizado para abordar estas cuestiones (Verfaillie & Bidwell, 2000).

La ecoeficiencia se ha puesto en práctica a varios niveles y para muchos tipos de aplicaciones diferentes. A nivel abstracto, la eficiencia aplicada a proyectos medioambientales puede entenderse de tres maneras. En primer lugar, como un enfoque económico muy relacionado con la rentabilidad, es decir en qué condiciones un determinado recurso económico produce el máximo resultado. En segundo lugar, la ecoeficiencia puede interpretarse desde un punto de vista puramente medioambiental como eficiencia ecológica, a saber, la ratio entre las emisiones y el servicio o producto del que proceden. Por último, la ecoeficiencia es una especie de eficiencia cruzada que vincula las cuestiones medioambientales con las económicas y mide el impacto medioambiental añadido causado por unidad monetaria ganada (Kicherer et al., 2006). Es este punto de vista que puede entenderse como eficiencia económica-ecológica y el que se ha seguido en esta investigación.

2.B.2. Análisis de ciclo de vida (ACV)

La empresa alemana BASF desarrolló una herramienta de análisis de la ecoeficiencia para los procesos de toma de decisiones, útil para muchas aplicaciones en la química y otras industrias. En el "Método de BASF", que será desarrollado en la sección 2.B.5., el impacto ambiental se determina por el método del análisis del ciclo de vida (ACV) y los datos económicos se calculan utilizando los datos de negocios de las empresas o, en algunos casos, los modelos económicos nacionales. El análisis de ecoeficiencia se centra, entre otros aspectos, en el cálculo del costo total desde el punto de vista del cliente (final), la preparación de un ACV específico para todos los productos o procesos investigados (de acuerdo con las normas de la ISO 14040 e ISO 14044) y la determinación de los peligros para el medio ambiente. El beneficio específico del cliente siempre se sitúa en el centro del análisis de la ecoeficiencia. En la mayoría de los casos, un cliente con necesidades y requisitos particulares puede elegir entre varios productos y procesos alternativos. En el contexto de esta elección, el análisis de ecoeficiencia compara los pros y los contras económicos y medioambientales de cada solución a lo largo de todo el ciclo de vida. Las soluciones ecoeficientes son las que proporcionan este beneficio específico al cliente de forma más impactante que otras, tanto desde el punto de vista del costo económico como medioambiental. El eje del impacto medioambiental en el análisis de la ecoeficiencia abarca, en principio, todos los criterios calculados y evaluados que no se asignan al cálculo económico de los costos totales (Saling et al., 2002).

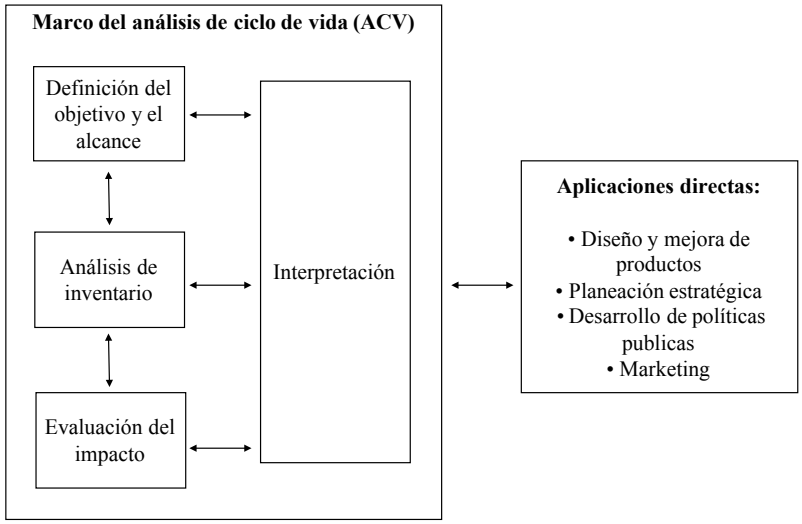
Como se expuso anteriormente, la Organización Internacional de Normalización (ISO) define el ACV como una recopilación y evaluación de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema de producto a través de su ciclo de vida, desde su adquisición a partir de recursos naturales hasta su disposición final (ISO, 2006). El ACV identifica y cuantifica las diferentes repercusiones de un producto, desde la extracción de sus materias primas hasta que se convierte en un residuo. Evaluar el impacto ambiental de un producto "desde la cuna hasta la tumba" es el interés principal del ACV (Kicherer et al., 2006).

Las normas metodológicas ISO definen cuatro fases que componen el ACV (figura 3):

1) *La definición del objetivo y del alcance*: se determina el objetivo del estudio y sus restricciones, los límites y las metodologías; se definen los supuestos, la unidad funcional, la aplicación prevista y el público al que va dirigido.

2) *El análisis de inventario del ciclo de vida (ICV):* se investiga las entradas y salidas del equilibrio físico (flujo de materiales y energía) al impacto medioambiental asociado a cada etapa de la producción.
3) *La evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV):* se deriva de los resultados del ICV para evaluar los impactos potenciales sobre el medio ambiente y determinar la categoría de impacto. Las categorías de impacto se determinan utilizando modelos específicamente caracterizados.[29]
4) *La interpretación:* las tres primeras etapas se someten a un continuo análisis de interpretación para llegar a una conclusión sobre la comparabilidad entre los escenarios alternativos (Bhandari et al., 2020).

Figura 3: Fases de un ACV



Fuente: ISO (2006), elaboración propia

Sin embargo, las normas mencionadas dejan al profesional un amplio margen de flexibilidad a la hora de realizar el ACV de un producto o proceso concreto. Aunque esta flexibilidad es necesaria para responder a la gran variedad de asuntos abordados, se necesita una mayor generalización para apoyar la coherencia de la evaluación específica. Otra cuestión es la calidad y disponibilidad de los datos. La recopilación de un ICV detallado, que representa el núcleo de todo ACV, es una tarea compleja. En las aplicaciones energéticas reales, rara vez es posible incluir todos y cada uno de los flujos de entrada y salida dentro de las diferentes etapas del ciclo

[29] Existen diferentes categorías de impacto ambiental, las principales siendo el cambio climático, la calidad del ecosistema, la salud humana, la acidificación, la eutrofización, el smog fotoquímico, el agotamiento de fósiles, el agotamiento de ozono, la toxicidad humana, el uso del suelo y el consumo o agotamiento de agua (Martínez-Vallejo et al., 2021).

de vida. Además, la incertidumbre y la subjetividad de los resultados se propagan trasladándose a la parte del EICV (Mendecka & Lombardi, 2019).

2.B.2.1. ACV de los parques eólicos

Las fuentes de energía renovables se presentan a menudo como energías "limpias", sin tener en cuenta los impactos medioambientales relacionados con su fabricación. La producción de plantas que generan energías renovables, como todo proceso productivo, conlleva un consumo de energía y recursos naturales, así como la liberación de contaminantes (Ardente et al., 2008). El impacto ambiental asociado a las diferentes tecnologías energéticas se está convirtiendo cada vez más en una cuestión clave para apoyar las decisiones en términos de políticas energéticas; la huella de carbono, otros enfoques de contabilización de los GEI y el ACV se utilizan comúnmente en este sentido. Los enfoques de evaluación con un indicador único, como la huella de carbono, son sin duda más atractivos que el ACV debido a su simplicidad, pero pueden dar lugar a una simplificación excesiva (Asdrubali et al., 2015).

La energía eólica es uno de los actores claves de las entidades de transición energética entre otras fuentes de energía renovables. Esta energía desempeña un papel vital en el mercado mundial de la electricidad para satisfacer adecuadamente la demanda energética y reducir la dependencia hacia los combustibles convencionales. También aporta otros beneficios, como la creación de empleo y el suministro de electricidad a zonas remotas. La evolución reciente de la energía eólica ha sido especialmente rápida registrando la tasa de crecimiento más rápida en términos de potencia instalada, con un crecimiento de aproximadamente el 85% de 2006 a 2016 (Bhandari et al., 2020). El ACV es una herramienta muy útil que permite evaluar exhaustivamente los posibles impactos ambientales asociados a todas las fases del ciclo de vida de la energía eólica, desde la cuna hasta la tumba (Chipindula et al., 2018).

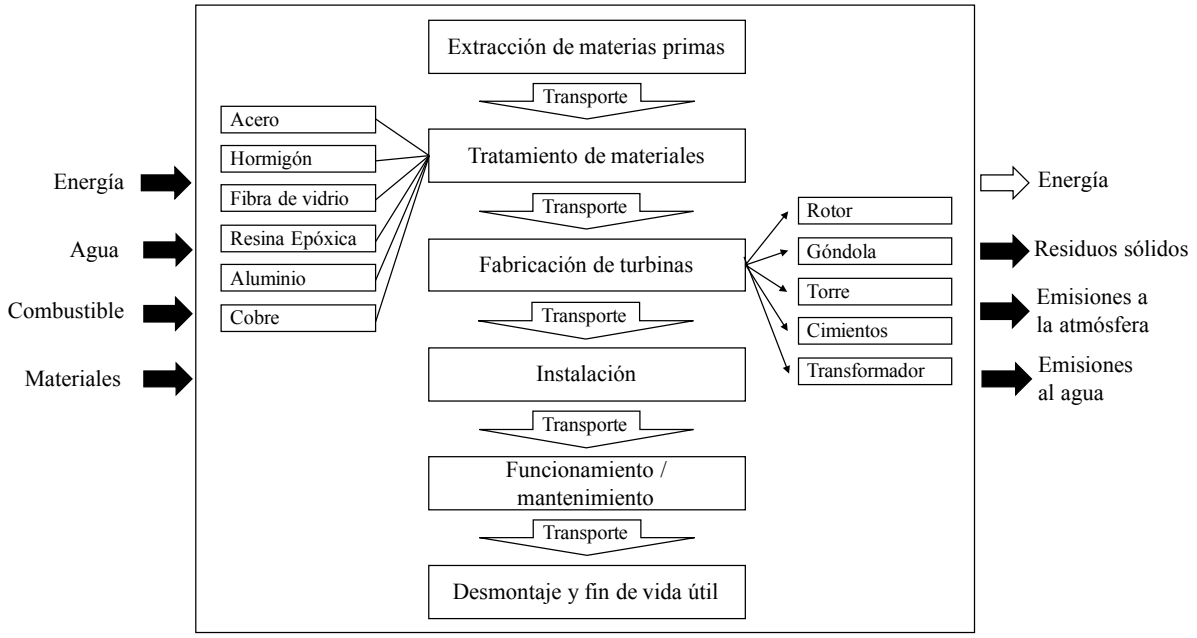
A la hora de realizar un ACV de un parque eólico, es una buena práctica definir los límites adecuados del sistema y un umbral de corte para la evaluación del impacto. El análisis debe incluir un detalle de todos los materiales y componentes empleados a lo largo del ciclo de vida (Ardente et al., 2008). Los límites del sistema incluyen:

- La extracción y el refinado de materias primas;
- La construcción, el funcionamiento y el desmantelamiento de equipos de conversión de energía, así como la reinversión a lo largo de la vida técnica;
- Todo el transporte pertinente, incluido el transporte relacionado con el mantenimiento;

- La gestión de los desechos y residuos generados durante la fase de producción.

La figura 4 ilustra el proceso del ACV de los parques eólicos:

Figura 4: Proceso del ACV – Parques eólicos



Fuente: Oebels y Pacca (2013), elaboración propia

Las etapas del ciclo de vida del sistema mencionadas en el diagrama de flujo son las siguientes:

- Extracción y producción de material: estas fases representan una combinación de la extracción de material (minería) y la transformación de las materias primas, incluidos el acero, el plástico reforzado con fibra de vidrio (pre impregnado), el aluminio, el cobre, el vidrio y el material auxiliar. Los cimientos en tierra son en su mayoría de hormigón con un pequeño porcentaje de acero reforzado, mientras que los cimientos en alta mar utilizan estructuras de acero diseñadas para resistir las condiciones meteorológicas y ambientales de los parques eólicos de aguas someras o profundas.
- Fabricación de turbinas: esta etapa del ACV comienza con la entrada de los diferentes materiales en la fábrica hasta que las piezas principales (torre, góndola y rotor) están fabricadas y listas para ser transportadas al parque eólico.
- Transporte: durante las fases de transporte, el impacto ambiental está asociado principalmente a la energía utilizada para el traslado de las principales piezas de la turbina.
- Instalación y desmontaje: la instalación de eólicas en tierra se realiza con equipos de construcción convencionales, como grúas, excavadoras y montacargas. En cambio, la

instalación en alta mar incluye la energía utilizada para otros equipos como plataformas autopropulsadas, martillos hidráulicos y embarcaciones auxiliares.

- Funcionamiento y mantenimiento: las emisiones y el consumo de energía son muy bajos durante esta etapa. Estos incluyen las emisiones del mantenimiento rutinario y la inspección que incorpora el cambio de aceite, la lubricación y el consumo de combustible del transporte. La frecuencia con la que se sustituye el material y la ubicación de un parque eólico también influyen en el cálculo de emisiones.
- Fin de vida de la turbina: esta fase representa una parte importante de la evaluación del ciclo de vida y puede contribuir a mejorar el impacto medioambiental global al compensar las emisiones liberadas durante la fase de fabricación. El acero representa el 80% de la cantidad total de material de las turbinas eólicas y estas suelen instalarse en estructuras tubulares de acero que pueden reciclarse infinitamente (Chipindula et al., 2018) .

La demanda de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero han sido históricamente el principal foco de atención de la investigación científica sobre el ACV de la energía eólica (Arvesen & Hertwich, 2012). La literatura académica sobre este tema es abundante y por ende existen varios estudios dedicados a revisiones bibliográficas extensas. De particular relevancia, el trabajo de Mendecka y Lombardi (2019) ofrece una revisión de los estudios de ACV de la electricidad producida por turbinas eólicas terrestres y marinas, haciendo un especial hincapié en la armonización de los resultados y en los modelos simplificados de ACV existentes en la bibliografía. Aplicando criterios de selección específicos, la revisión final incluyó 37 artículos revisados por pares, 33 informes científicos e industriales y una base de datos, lo que resultó en un total de 148 estudios de casos -32 marinos y 116 terrestres- de ACV de turbinas eléctricas publicados entre 2000 y 2018. En lo que respecta al rango de potencia de los generadores eólicos analizados, la tecnología terrestre se consideró para una capacidad nominal de entre 1 kW y 5.000 kW, mientras que la potencia de los aerogeneradores marinos osciló entre 500 y 8.000 kW[30]. En cuanto a los factores de planta[31] descritos en la bibliografía, en toda la gama de tamaños de aerogeneradores, los factores de planta de las aplicaciones terrestres oscilaron entre 0,02 y 0,56, con un valor medio de 0,335. En las instalaciones marinas, el factor de capacidad

[30] kW es la abreviación de kilovatios, MW de megavatios, GW de gigavatios, TW de terravatios y kWh de kilovatios hora.
[31] El factor de planta (también llamado factor de capacidad) es el cociente entre la producción real de energía durante un periodo de tiempo dividida por la producción máxima posible durante ese mismo periodo de tiempo. Las horas de plena carga de los sistemas de conversión eólica, y por tanto el cociente, dependen de la velocidad del viento, de su ocurrencia y de la tecnología del sistema (Oebels & Pacca, 2013).

mínimo fue de 0,16, el máximo de 0,59 y el valor medio de 0,295. En lo que se refiere al tiempo de funcionamiento de las turbinas eólicas, 140 estudios supusieron un tiempo de 20 años, mientras que sólo 8 consideraron una hipótesis de un tiempo de funcionamiento igual a 25 años. La unidad funcional de los estudios comparados fue siempre 1 kWh de electricidad producida.

Todos los estudios analizados incluyeron tanto los procesos ascendentes (extracción de materias primas, fabricación, construcción de aerogeneradores), operativos (generación de electricidad, funcionamiento y mantenimiento) como los descendentes (escenarios de desmantelamiento y fin de vida útil). Los estudios difieren principalmente en los supuestos sobre los flujos de entrada y salida relativos a los procesos ascendentes y descendentes y sus emisiones asociadas. Los autores señalan que el análisis de las emisiones de GEI es el enfoque de mayor interés en las investigaciones revisadas puesto que estas emisiones siguen representando una preocupación medioambiental importante y esta es la razón por la que este indicador se utiliza ampliamente para la evaluación de los resultados medioambientales de un sistema energético. Además, indican que otra cantidad significativa de estudios analiza el rendimiento medioambiental de las centrales eólicas a través de un enfoque elemental único de emisiones a la atmósfera, como por ejemplo el CO_2, SO_2 o NO_x. En general, el análisis de un componente específico de las emisiones atmosféricas resulta especialmente útil, ya que permite una comparación directa de las prestaciones medioambientales entre diferentes tipologías de sistemas de generación de electricidad. Encima, estas emisiones pueden proporcionar una aproximación razonable de impactos ambientales como el potencial de calentamiento global (PCG). Precisamente, los resultados del indicador de impacto del PCG recogidos en la literatura estudiada difieren para los distintos tipos y las capacidades nominales de los aerogeneradores. Los valores medios globales, tanto en tierra como en el mar, son de 9,70 y 9,99 $gCO_{2\text{-}eq}/kWh$[32], respectivamente. En el caso de las aplicaciones terrestres, en particular, el rango de variabilidad del PCG es significativamente alto, entre 4,8 y 560,0 $gCO_{2\text{-}eq}/kWh$. Esto indica una gran dispersión de los resultados, especialmente en los casos de los aerogeneradores de tamaño micro, en los que diferentes hipótesis de base conducen a estimaciones muy diferentes. El 50% de los resultados publicados para las turbinas de menos de 20 kW presentan valores de PCG que varían entre 72 y 189 $gCO_{2\text{-}eq}/kWh$. Por el contrario, sólo hay una ligera variación en los resultados de los casos en alta mar, con valores mínimos y máximos de 7.767 y 32.0 $gCO_{2\text{-}eq}/kWh$, respectivamente. Los autores indican que esto se debe a la escasa cantidad de trabajos

[32] Abreviación de CO_2 equivalente por kilovatios hora.

disponibles y que se necesitarían más estudios de casos antes de poder emitir un juicio al respecto. Además, observaron que en general, los valores medios de PCG disminuyen con el aumento de la capacidad nominal de las turbinas eólicas tanto para las instalaciones terrestres como para las marinas. Por último, recalcaron que los resultados, en términos de PCG[33], son comparables entre los sistemas terrestres y marinos en todos los casos de turbinas de gran tamaño.

Bhandari et al. (2020) determinaron las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de diferentes tecnologías de energía eólica utilizando la metodología del ACV y teniendo en cuenta la contribución de diversos parámetros físicos de esta energía. Para abarcar todo el ciclo de vida de las emisiones de GEI de la energía eólica, los autores realizaron un estudio exhaustivo y, utilizando datos secundarios, llevaron a cabo un análisis de las emisiones de GEI. Su trabajo para evaluar los impactos energéticos y de emisiones se centró específicamente en tres esquemas de energía eólica: (i) turbina eólica única, (ii) parques eólicos marinos y (iii) terrestres. Como se describió anteriormente, la energía eólica causa muy pocos daños al medio ambiente, aunque sigue habiendo emisiones de GEI a la atmósfera durante todo el ciclo de vida de la turbina. Cada central eólica tiene un factor de emisión único. Se considera que, debido a los avances en la tecnología eólica, las emisiones del ciclo de vida disminuirán en el futuro. El análisis de Bhandari trata de estimar la reducción de las emisiones de GEI de la energía eólica, que para la política energética y la planificación es de vital importancia y que en la actualidad es poco conocida debido a su producción variable, las ubicaciones instaladas y la enorme variación de los parámetros físicos. La unidad funcional del estudio es 1 kWh de electricidad producida por un aerogenerador mientras que el índice de intensidad fue definido como las emisiones de GEI producidas por kWh de generación de electricidad, por ejemplo, $gCO_{2\text{-eq}}$/kWh. La intensidad de GEI se evaluó en función de (i) la potencia nominal del aerogenerador, (ii) el factor de planta de los parques eólicos, (iii) el diámetro del rotor, (iv) la altura del buje. También incluyeron el rendimiento energético anual (REA), que es un parámetro combinado (definido como el factor de planta por la potencia nominal). En el marco de un análisis multivariante, la intensidad de las emisiones de GEI (variable de efecto) de los aerogeneradores se comparó con estos parámetros (variables de causa) aplicando una regresión lineal simple para evaluar la correlación entre los parámetros. Los conjuntos de datos

[33] El Potencial de Calentamiento Global ("Global Warming Potential (GWP)" en inglés) define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO_2. De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiactivos de cada gas, así como sus diferentes periodos de permanencia en la atmósfera (GreenFacts, 2023b).

pertinentes se tomaron de estudios sobre el ACV de las turbinas eólicas revisados por pares que se publicaron en los últimos 20 años. En los estudios donde no se mencionaba el factor de capacidad, los autores lo calcularon utilizando la ecuación (1):

Factor de planta = [Energía total generada (kWh)] / [Capacidad nominal (kW) x 8760 h] *(1)*

Para que el estudio fuese coherente, consideraron por separado los tres esquemas de energía eólica. En el primer enfoque, el de *turbina eólica única*, los tamaños de turbina evaluados en los estudios revisados (un total de 22 conjuntos de datos) corresponden a una potencia nominal mínima entre 0,1 y 4,5 MW. De este modo se consiguieron rendimientos (REA) entre 0,2 y 12 GWh. La turbina más pequeña en este marco presentaba una altura de buje de 37 m y un diámetro de rotor de 21 m. La turbina más grande una altura de buje de 124 m y un diámetro de 113 m. Entre las variables de causa y la de efecto se encontró una correlación negativa en todos los casos. Esto significa que el PCG específico disminuye si aumenta el tamaño o la potencia nominal del aerogenerador. Aunque se encontró una correlación significativa entre el diámetro del rotor y el PCG, no ocurrió lo mismo con la altura del buje. Los autores argumentan que el aumento de la altura del buje no siempre compensa un mayor esfuerzo de construcción y, por tanto, el aumento de las emisiones de GEI. Esta hipótesis se confirma en parte por la correlación entre la altura del buje y el REA. La correlación es significativa, pero la pendiente de la regresión lineal es muy moderada. También observaron una correlación negativa particularmente fuerte tanto para el REA como para el factor de capacidad en relación con el factor de emisión de CO_{2eq}. Dado que la demanda anual de energía se deriva en parte del factor de planta, es plausible que exista colinealidad entre ambos parámetros. Una correlación significativa entre estos dos parámetros confirma esta hipótesis. Se postula además que la intensidad de GEI puede determinarse mejor en función de la producción anual de energía. Una investigación revisada demostró que se puede lograr una mejor correlación si la REA se transforma logarítmicamente. Los efectos de escala no lineales son plausibles, ya que sugieren que un cambio en el REA no daría lugar a un cambio constante de la intensidad del ciclo de vida. En base de estas observaciones, los autores proponen la ecuación (2), que el ámbito de un cálculo aproximado, puede utilizarse para obtener una buena estimación del PCG:

$$PCG\ [g/kWh] = -9{,}8 \times \ln(REA\ [GWh]) + 25{,}753 \qquad (2)$$

Si bien la mayoría de los estudios de ACV existentes se han realizado sobre una turbina eólica única, los autores señalan que es muy importante analizar también el impacto de las emisiones de los parques eólicos, ya que las centrales eólicas constan de muchos otros componentes, como cables internos y externos para transportar la energía y subestaciones que elevan la potencia al nivel deseado para integrarla en la red principal. Además, los parques eólicos tienen otras pérdidas adicionales, como la pérdida de electricidad durante la transmisión y distribución y los efectos de estela[34] del parque eólico. Estos son criterios que deberían reducir la generación de electricidad; sin embargo, la regresión lineal reveló que el PCG es muy similar para conjuntos de parámetros comparables. En el segundo enfoque de *parques eólicos terrestres* se extrajeron de la literatura un total de 15 conjuntos de datos evaluados que oscilan entre máquinas muy pequeñas con una potencia nominal de sólo 0,4 kW (altura del buje de 30 m, diámetro de 1,17 m) hasta plantas con aerogeneradores de varios megavatios con una potencia nominal de 3200 kW (altura del buje superior a 100 m, diámetro superior a 90 m). Al igual que las turbinas individuales, los parques eólicos terrestres mostraron una correlación negativa entre el tamaño de la planta y el PCG. Sin embargo, las correlaciones sólo fueron significativas entre el diámetro del rotor y el PCG. Otras variables causales, como la altura del buje, el factor de planta y la potencia nominal, mostraron sólo una correlación débil. La combinación de la potencia nominal y el factor de capacidad, es decir, el RAE, dio lugar a una alta correlación especialmente cuando el conjunto de datos del RAE se transformó logarítmicamente. La ecuación de tendencia (3) resulta de la evaluación realizada por los autores:

$$\text{PCG [g/kWh]} = -7{,}671 \times \ln(\text{REA [GWh]}) + 22{,}323 \qquad (3)$$

En cuanto al tercer enfoque, teniendo en cuenta que las condiciones de viento son mejores en los emplazamientos marinos, con una velocidad y una dirección más constantes, las máquinas eólicas de mayor tamaño crean una oportunidad atractiva para orientarse hacia el desarrollo de *parques eólicos marinos*. Las turbinas marinas requieren más recursos y energía de entrada convencional para la fabricación de los componentes, así como para el desarrollo de parques. Además, los parques eólicos marinos requieren componentes adicionales en comparación con los terrestres, como cimientos más pesados, una central eléctrica y cables marítimos para transportar la electricidad. Debido a la mayor distancia y al mayor desgaste por el viento y las

[34] El efecto estela significa que la velocidad del viento detrás de la turbina eólica disminuye, lo que provoca un descenso de la producción de las turbinas situadas después de la primera. De ahí la importancia de establecer una distancia correcta entre las turbinas de un parque eólico.

olas, el transporte, el mantenimiento y el funcionamiento son más complejos. Los investigadores encontraron únicamente cinco estudios para evaluar el ACV de los parques eólicos marinos. Los conjuntos de datos cubren aerogeneradores marinos con potencias nominales entre 0,5 y 6 MW y contienen una buena cobertura de otras potencias nominales dentro de este rango. Sin embargo, no encontraron ni una tendencia clara ni una correlación significativa entre el PCG y ninguna de las variables de causa. La evaluación sugiere que no se puede esperar una reducción del PCG si aumentan los respectivos tamaños de turbina o si se incrementa el factor de planta. A modo de conclusión sobre este enfoque, los autores señalan que el escaso tamaño de la muestra contrarresta un análisis estadístico razonable, por lo que sus afirmaciones son únicamente parcialmente fiables.

Finalmente, Bhandari y sus colaboradores realizaron un análisis de sensibilidad sobre una turbina terrestre única de 0,8 MW y tres plantas eólicas: una marina de 2 MW y dos terrestres de 2 MW y 4,5 MW respectivamente. El análisis realizado demostró que el factor de planta puede tener una gran influencia en las emisiones de GEI. Una reducción del factor del 30% al 10% triplica aproximadamente las emisiones de CO_2. Por lo tanto, una buena selección del emplazamiento es clave para reducir las emisiones de GEI. La relación entre el factor de capacidad y el PCG no es lineal y sigue una curva hiperbólica: un aumento del factor en el segmento inferior (por ejemplo, del 10% al 20%) tiene una influencia mucho mayor que en el segmento superior (por ejemplo, del 30% al 40%). El factor de planta suele estar relacionado con las condiciones de viento específicas de la ubicación. Se puede conseguir un factor de capacidad elevado en emplazamientos con velocidades del viento a la vez constantes y óptimas a lo largo de la curva de potencia de la turbina. Un aumento de la altura del buje puede mejorar las condiciones, pero a cambio puede dar lugar a un mayor PCG debido al mayor material de construcción y esfuerzo para el montaje de la torre.

2.B.2.2. ACV de los paneles solares fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos convierten la energía luminosa (radiación solar) directamente en electricidad, lo que supone una interesante combinación de una fuente de energía abundante y, al mismo tiempo, la preservación del medio ambiente (Stylos & Koroneos, 2014). Aunque el funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico no requiere el uso de combustibles fósiles, la fabricación de módulos solares fotovoltaicos consume una cantidad considerable de energía (Kannan et al., 2006). Por lo tanto, la evaluación de las ventajas energéticas y medioambientales del uso de los paneles fotovoltaicos debe realizarse teniendo en cuenta los ciclos de vida de

estos sistemas. Un buen método normalizado para alcanzar este objetivo es el ACV, que tiene en cuenta los impactos ambientales, el consumo de energía primaria renovable y no renovable, el agotamiento de los recursos y las emisiones durante todo el ciclo de vida de una tecnología (Muteri et al., 2020).

La energía solar puede convertirse directamente en energía eléctrica mediante células fotovoltaicas también llamadas células solares. Estas células son dispositivos productores de electricidad que pueden diferir en materiales semiconductores, tamaños y formas. Cuando muchas células solares están conectadas eléctricamente entre sí y montadas en un bastidor de soporte, forman un módulo fotovoltaico. Varios módulos pueden conectarse entre sí para formar una matriz. Los módulos y las matrices fotovoltaicas producen electricidad en corriente continua (CC) y son sólo una parte del sistema fotovoltaico que también incluye:

- Estructura de montaje: es el soporte que sostiene los módulos fotovoltaicos y orienta los paneles hacia el sol. Esta estructura debe proteger el conjunto de los agentes externos, como el viento, la lluvia y la humedad, y evitar la corrosión durante décadas. Los sistemas de soporte suelen ser de aluminio y varían según el modelo y el número de paneles del conjunto;
- Inversor: es el componente que convierte la electricidad de corriente continua producida por los módulos en electricidad de corriente alterna (CA), que se utiliza para la transmisión local de energía. Este dispositivo debe sustituirse al menos una vez durante la vida útil de un campo fotovoltaico;
- Sistema de almacenamiento: Las baterías son necesarias para el almacenamiento de energía, especialmente para los clientes que no pueden conectarse fácilmente a la red eléctrica, debido a la ubicación geográfica o al elevado costo de la conexión a la red.
- Otros componentes para conectar todas las piezas entre sí de forma segura, como cables, conectores y soportes. Por último, la caja combinadora es una parte esencial de un sistema eléctrico solar que permite conectar varios módulos solares en paralelo.

El balance del sistema (BOS[35]) incluye todos los componentes de un sistema fotovoltaico con excepción de los paneles fotovoltaicos. Las células solares pueden crearse con una o varias capas de materiales absorbentes de luz. El primer caso hace referencia a células de una sola unión, sencillas de fabricar, pero menos eficientes; por el contrario, las configuraciones

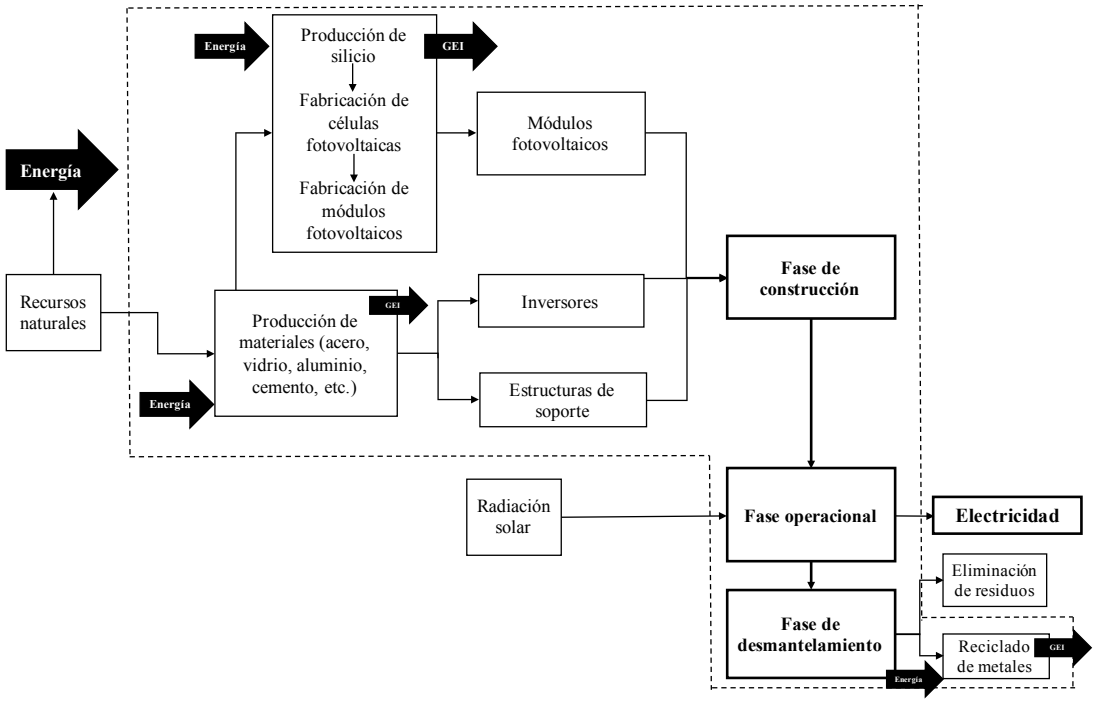
[35] Por las siglas de su denominación en inglés, Balance of System.

múltiples o multiuniones tienen varios mecanismos de absorción y separación de cargas, por lo que son más complejas y de mayor rendimiento. Los sistemas fotovoltaicos pueden distinguirse en función de la tecnología y los materiales de las células solares. Las tecnologías de células fotovoltaicas se clasifican generalmente en tres generaciones:

- La primera generación incluye los paneles tradicionales con estructura de base de silicio cristalino (c-Si), como las células de silicio monocristalino (sc-Si) y de silicio multicristalino (mc-Si);
- La segunda generación se basa en las células solares de capa fina, que incluyen el silicio amorfo (a-Si), el teluro de cadmio (CdTe), el sulfuro de cadmio (CdS), el seleniuro de cobre, indio y galio, entre otros materiales.
- La tercera generación (también llamada siguiente generación) engloba las tecnologías innovadoras no basadas en el silicio y dispositivos de nuevo concepto como paneles fotovoltaicos orgánicos/semiorgánico, entre otros (Muteri et al., 2020).

El ciclo de vida de un sistema solar fotovoltaico se divide en tres fases: construcción, operación y desmantelamiento. En la fase de construcción, los principales componentes son los módulos solares fotovoltaicos, los inversores y las estructuras de soporte de aluminio y hormigón. Esta primera fase es intensiva en materiales y, por tanto, en energía. En las fases de funcionamiento y desmantelamiento, apenas hay entrada de materiales. En la fase de funcionamiento, no hay ninguna fuente externa de suministro de energía. Aunque se instalan sistemas de control, estos extraen la energía del propio módulo solar fotovoltaico. En la fase de desmantelamiento, la energía se utiliza para reciclar las estructuras de soporte de aluminio y los marcos del módulo. El aluminio recuperado se deduce del aluminio utilizado en la fase de construcción. La energía utilizada en el transporte de todos los materiales asociados al sistema fotovoltaico solar se calcula a partir de la energía específica del transporte (Kannan et al., 2006). La figura 5 ilustra el proceso del ACV de un sistema fotovoltaico solar constituido con células de silicio monocristalino:

Figura 5: Proceso del ACV – Sistema fotovoltaico



Fuente:Kannan et al. (2006), elaboración propia

En la literatura sobre el ACV de sistemas solares fotovoltaicos, los indicadores sobre el balance energético como el tiempo de recuperación de energía (EPBT[36]) son muy utilizados al igual que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La unidad funcional es generalmente 1 kWh de electricidad producida pero como alternativa, pueden utilizarse los flujos de referencia "m^2" o "kWp" (la potencia nominal). Las primeras publicaciones sobre el ACV de este tipo de sistemas aparecieron a mediados de los años 1970, pero son actualmente obsoletas teniendo en cuenta las mejoras tecnológicas que se han logrado desde entonces (Gerbinet et al., 2014). Existen varios estudios dedicados a revisiones bibliográficas que incluyen únicamente las investigaciones más recientes. Asdrubali et al. (2015) revisaron 11 artículos sobre aplicaciones fotovoltaicas relativos a 33 casos prácticos y un documento técnico relativo a tres casos más. Los estudios revisados incluyeron tanto los procesos ascendentes como los descendentes (producción de materias primas, fabricación de componentes del sistema, transporte e instalación) y los sistemas montados tanto en suelo como en tejado. Los valores del PCG y EPBT mostraron una gran variabilidad, situándose en un rango de 9,4 a 167,0 gCO_{2eq}/kWh y 9,6 a 43,9 meses respectivamente. Los autores constataron que, durante el ciclo de vida de los

[36] Por las siglas de su denominación en inglés, Energy Payback Time. El tiempo de recuperación de energía se define como el periodo necesario para que un sistema de energía renovable genere la misma cantidad de energía que se utilizó para producir el propio sistema (Frischknecht et al., 2016).

sistemas fotovoltaicos, las emisiones proceden principalmente del uso de energía basada en combustibles fósiles para generar los materiales de las células, los módulos y los sistemas y que la producción de los módulos fotovoltaicos representa más del 84% del consumo total de energía primaria de todo el sistema fotovoltaico.

Muteri et al. (2020) recopilaron y examinaron 31 estudios de ACV aplicados a sistemas eléctricos basados en la energía fotovoltaica. Con el fin de identificar y subrayar los impactos energéticos y medioambientales de las tecnologías examinadas, los autores dividieron los estudios en función de la generación de las células fotovoltaicas: 11 para la primera, 11 para la segunda y 17 para la tercera generación. La unidad funcional más utilizada fue el kWh. Durante su revisión bibliográfica, identificaron los parámetros claves de los estudios del ACV de los sistemas fotovoltaicos:

- *La eficiencia*[37] *del módulo o célula*: los trabajos examinados utilizaron diferentes eficiencias para evaluar los resultados del análisis, especificando si este parámetro es medido (referido a escala comercial o de laboratorio) o estimado. En general, las mejoras en la eficiencia de conversión de un sistema fotovoltaico se tradujeron en beneficios medioambientales es decir en una reducción del PCG, del factor de emisión de CO_2 y del EPBT. Por ejemplo, una mejora de la eficiencia del 15,96% al 27% para células fotovoltaicas de primera generación de tipo sc-Si y mc-Si en Corea, dio lugar a una reducción del PCG del 30% y el 20%, respectivamente. En varios casos, la eficiencia aumentaba junto con la complejidad de los dispositivos, por lo que se requerían pasos de procesamiento y materiales adicionales. Por lo tanto, es importante que el aumento de la eficiencia compense significativamente las necesidades adicionales de procesamiento y material, o que no se produzcan cambios significativos en la fabricación de los módulos. Una mayor eficiencia equivalía a una mayor energía producida y esto influía positivamente en el EPBT y otros índices energéticos.
- *La situación geográfica*: La ubicación de referencia tiene consecuencias tanto sobre la irradiación, que influye en el rendimiento del sistema fotovoltaico, como sobre el mix de producción energética del propio país, que afecta a los impactos ambientales considerados. Los cambios en la irradiación influyen directamente en la cantidad total de electricidad generada durante el ciclo de vida, lo que es relevante para los impactos

[37] La eficiencia se define como la relación entre la energía producida por la célula solar y la energía aportada por el sol. Es el porcentaje de energía solar incidente que se convierte en electricidad. Además de reflejar el rendimiento de la propia célula solar, la eficiencia depende del espectro y la intensidad de la luz solar incidente y de la temperatura de la célula solar.

energético y medioambiental y los índices de tiempo de recuperación de energía de los sistemas fotovoltaicos. De la revisión bibliográfica surgió que las ubicaciones con alta radiación solar eran, obviamente, las más adecuadas para la instalación de sistemas fotovoltaicos, especialmente si el transporte de los módulos fotovoltaicos no contribuía mucho a la demanda total de energía primaria ni a los impactos medioambientales. La localización geográfica es un parámetro clave también cuando se examina la fabricación de dispositivos solares. La posición geográfica también influye en el transporte de materiales y dispositivos (por ejemplo, el transporte de módulos fotovoltaicos desde la zona productora hasta la zona de explotación) y en la forma de obtener las materias primas (disponibilidad de materiales, lugares de extracción y transporte). Cuanto mayor sea la distancia entre el lugar de extracción y procesamiento de la materia prima, mayor será la carga medioambiental relacionada con el transporte hasta el lugar de producción del dispositivo. Lo mismo ocurre con el transporte desde el lugar de producción hasta el lugar de utilización.

- *El balance del sistema fotovoltaico*: El BOS es el conjunto de equipos eléctricos como cables, interruptores, inversores, sistemas de control y medición, baterías y estructuras de fijación de los paneles. Los autores señalan que el impacto asociado al BOS puede ser insignificante para la primera generación fotovoltaica porque los impactos relacionados con la producción de las células o módulos solares eran generalmente mucho mayores. Según diferentes estudios revisados, los impactos relacionados con el BOS eran menores en la mayoría de las categorías de impacto (por ejemplo, entre 5% y 7% del PCG). Sin embargo, señalan que, dependiendo del tipo de instalación y de la tecnología utilizada (sistemas sobre tejado y sistemas sobre suelo), no tener en cuenta el impacto del BOS podría llevar a subestimar significativamente los impactos medioambientales. Si el BOS incluye elementos como baterías y electrónica de acondicionamiento de potencia, su impacto en la huella de carbono del sistema fotovoltaico puede acercarse al 30%. Además, indican que el BOS parece tener un gran impacto cuando se asocia a sistemas fotovoltaicos de segunda y tercera generación y que este impacto puede reducirse significativamente mediante el uso de sistemas fotovoltaicos integrados en el edificio, materiales alternativos y la mejora de la eficiencia.
- *Materiales utilizados, reciclados y procesos de fabricación*: En el caso de la primera generación fotovoltaica, el principal punto de atención para la mayoría de los índices medioambientales fue la producción de silicio. La contribución de la fabricación de

silicio de grado solar fue generalmente superior al 40% en la mayoría de las categorías de impacto, seguida de la fabricación de módulos y células (ambas con una contribución alrededor de 20%). En el caso de la segunda generación, los materiales absorbentes desempeñan un papel menor en las cargas ambientales en comparación con la primera generación. En cualquier caso, el consumo de electricidad durante la fase de fabricación (deposición de la película y de los contactos) desempeña un papel importante, al igual que la fase de encapsulación y los materiales. En cuanto a los materiales fotovoltaicos de tercera generación, la mayoría de los estudios revisados se caracterizaron por un cierto grado de incertidumbre, ya que los procesos se realizaban a escala de laboratorio, por lo que era difícil predecir cómo podría influir en los resultados la transición a la producción comercial. La fase de reciclaje también desempeña un papel importante en el ACV del sistema fotovoltaico. La razón reside en el hecho de que se hace posible la recuperación de materiales preciosos o raros o que requieren un gran uso de energía para su fabricación. En general, en la primera generación fotovoltaica, el vidrio y el marco de aluminio fueron los materiales más reciclables, con un porcentaje de reciclaje cercano al 70% y al 10% a 18% respectivamente. Asimismo, en la segunda generación fotovoltaica, la recuperación de vidrio y aluminio desempeñó un papel fundamental. Se trata de un aspecto importante si se tiene en cuenta que el vidrio y el aluminio requieren un elevado consumo de electricidad. Los investigadores subrayan que, en casi todos los estudios sobre los sistemas fotovoltaicos de tercera generación, el único escenario de final de vida útil considerado fue el vertedero, ya que faltaban datos e información específicos sobre los procesos de reciclado relacionados con las nuevas tecnologías, o los procesos de reciclado no estaban suficientemente avanzados. De todos los estudios revisados, lo que los autores destacan es que el reciclaje puede considerarse un paso fundamental para reducir la carga del ciclo de vida, gracias a la recuperación de materiales (especialmente metal, vidrio y metales semiconductores) y al ahorro neto de energía, en comparación con el vertedero.

- *Vida útil* del panel solar y de los demás componentes del sistema: La importancia de la vida útil radica en que este parámetro influye en la producción energética del ciclo de vida o en el consumo de energía y, en consecuencia, en algunos índices como el EPBT. Además, una vida útil más larga significa que, en general, la sustitución del dispositivo será menos frecuente y se reducirá el uso de nuevos materiales y los costos relacionados con el reciclaje. La vida útil de la tecnología basada en silicio se sitúa en torno a los 25 a 30 años, mientras que para los dispositivos de segunda y tercera generación no se

dispone de información fiable. Sin embargo, estos dispositivos siguen sufriendo diversos problemas, como la degradación debida a la temperatura, la humedad, la luz y el calor, que limitan su duración a unos pocos años. En algunos de los estudios analizados por los autores, la vida útil estimada del panel solar era la misma (25 a 30 años), mientras que la vida útil del inversor era aproximadamente la mitad. Dado que las instalaciones fotovoltaicas no liberan emisiones durante su vida útil operativa, cuanto mayor sea la vida útil operativa del sistema (que también significa más energía producida durante el ciclo de vida), mejor será el perfil medioambiental.

Muteri et al. (2020) concluyen su revisión enfatizando que el consumo de electricidad tiene un gran impacto en la mayoría de las categorías medioambientales medidas por el ACV, y para todas las generaciones, por lo que es importante aspirar, en la medida de lo posible, a procesos de fabricación menos intensivos en energía o a reducir las cargas medioambientales mediante el uso de una combinación energética no basada principalmente en combustibles fósiles. En cuanto a la primera generación fotovoltaica, la contribución específica a los impactos ambientales es atribuible en gran medida a la fabricación y el tratamiento del silicio, que resultan ser procesos intensivos en energía. En el caso de la segunda y la tercera generación, los procesos de fabricación requieren menos energía que el tratamiento del silicio y los impactos ambientales son, en la mayoría de los casos, inferiores a los de la primera generación. Sin embargo, los autores indican que todavía existen márgenes de mejora en lo que respecta a las técnicas de producción utilizadas y que todavía hay que evaluar detenidamente muchos aspectos, sobre todo en el caso de las tecnologías que aún no son comercialmente viables.

2.B.3. Costo de ciclo de vida (CCV)

El costo de ciclo de vida (CCV) es una evaluación de todos los costos asociados al ciclo de vida de un producto. La base de la metodología del CCV se estableció en los años setenta como método para calcular los costos totales del ciclo de vida de los productos y como información en la toma de decisiones estratégicas empresariales y políticas. A diferencia del ACV, el CCV no cuenta con una norma general que proporcione directrices para su uso y aplicación[38]. Como se indica en su definición, el CCV tiene como objetivo no solo calcular los costos de adquisición de materias primas, sino también los costos de funcionamiento, mantenimiento y eliminación final. De este modo, los responsables de la toma de decisiones pueden actuar para mejorar los

[38] Una de las directrices más utilizadas se encuentra en la norma ISO 15686-5, cuyo objetivo es la planificación de la vida útil de edificios y activos construidos.

indicadores económicos del ciclo de vida del sistema. Los estudios de CCV también pueden incluir los costos de las externalidades, es decir, los costos de los impactos ambientales causados por el sistema o producto. Mientras que el ACV requiere un amplio conjunto de datos procedentes de los balances de masa y energía identificados en la fase de inventario del ciclo de vida (ICV), el CCV únicamente requiere información monetaria en términos de recursos financieros (gastos e ingresos) (França et al., 2021).

En términos de gestión empresarial, el concepto de CCV es un aspecto bastante sencillo de cualquier política de abastecimiento: se trata de ampliar el costo de adquisición de un bien o equipo, incluyendo los costos posteriores a la compra en los que probablemente incurrirán el productor y el usuario de ese bien, durante su vida económica. En general, todos los costos que se soportan secuencia arriba en una determinada etapa de la cadena de suministro se resumen en el precio de cualquier bien o servicio adquirido en esa etapa. Los costos incurridos en la compra de insumos producidos en otras etapas se suman a los costos de conversión específicos de cada etapa (por ejemplo, mano de obra y gastos generales) y a los márgenes de beneficio, y luego se transfieren a la siguiente etapa operativa, contribuyendo así a su vez al costo de producción de la producción de esta última. A medida que se producen transacciones entre los agentes que operan en las distintas fases, el flujo de costos resultante imita conceptualmente el flujo de materiales y otros insumos a lo largo de la cadena. Por lo tanto, es evidente que existe cierto margen para integrar el ACV y el CCV (Heijungs et al., 2013). Según França et al. (2021), el uso conjunto de estas herramientas está justificado para buscar la eficiencia ambiental-económica en los sistemas de producción y minimizar las compensaciones entre los impactos ambientales y económicos.

2.B.4. Costo nivelado de la energía (LCOE)

Tal como se expuso en el primer capítulo, el LCOE es un parámetro de costo de vida útil que permite comparar alternativas y escenarios de generación eléctrica, así como diferentes tecnologías. Se calcula como el punto de equilibrio para el precio de venta de la energía que hace atractiva la inversión; en otras palabras, un proyecto que puede suministrar energía con un LCOE más bajo es económicamente mejor y, por tanto, más competitivo. El LCOE es el costo total de producir 1 kWh puesto que es un concepto de costo del ciclo de vida, que trata de contabilizar todos los activos físicos y recursos necesarios para producir una unidad de electricidad (Santa Catarina, 2022).

El cálculo del LCOE se basa en la equivalencia del valor actualizado de la suma de los ingresos y el valor actualizado de la suma de los costos. Está relacionado con el concepto de evaluar el valor actual neto (VAN) de un proyecto. Otra forma de ver el LCOE es considerar la tarifa eléctrica con la que un inversor alcanzaría el punto de equilibrio tras pagar la tasa de rendimiento exigida del capital, teniendo en cuenta los costos incurridos durante la vida útil de una tecnología. Esta equivalencia se basa en dos supuestos importantes:

1) La tasa de descuento utilizada para descontar costos y beneficios es estable, es la misma para todas las tecnologías y no varía durante la vida útil del proyecto.
2) La tarifa eléctrica (el precio de venta) es estable y no varía durante la vida del proyecto. Toda la producción, con el factor de capacidad asumido, se vende a esta tarifa (IEA & NEA, 2020).

El LCOE es el resultado del VAN de los costos totales a lo largo de la vida útil dividido para el VAN de la energía eléctrica producida durante la vida útil. Es la remuneración constante de por vida al proveedor de electricidad y se mide en unidades monetarias por kilovatio hora o por megavatio hora ($/kWh, $/MWh):

$$LCOE = \sum[(K^t + O\&M^t + Fuel^t + Carbon^t + D^t) / (1+r)^t] / \sum [E / (1+r)^t]$$

Donde:

K^t = Los costos totales de construcción (capital) en el año t;

$O\&M^t$ = Costos de explotación y mantenimiento en el año t;

$Fuel^t$ = Costos del combustible en el año t;

$Carbon^t$ = Costos del carbono en el año t;

D^t = Costos de desmantelamiento y gestión de residuos en el año t;

E = La cantidad de electricidad producida anualmente en MWh;

$(1+r)^t$ = La tasa de descuento real (ajustada por la inflación) correspondiente al costo del capital;

t = El año en que tiene lugar la venta de la producción o el desembolso de los costos;

n = La vida útil del activo, en años.

El LCOE es la principal herramienta para comparar los costos unitarios a nivel de planta de diferentes tecnologías a lo largo de su vida útil. El LCOE indica los costos económicos de una tecnología genérica, no los costos financieros de proyectos concretos en un mercado específico.

Debido a que su esencia radica en la igualdad entre los costos medios descontados y la remuneración estable a lo largo de la vida de la producción de electricidad, el LCOE se aproxima más a los costos de producción de electricidad en mercados regulados con tarifas estables, para los que se desarrolló, que a los precios variables de los mercados desregulados. Para poder aplicarlo a este tipo de mercados, se debe ajustar la tasa de descuento para tener en cuenta el costo implícito de la volatilidad de los precios.

2.B.5. Análisis de ecoeficiencia de BASF

La ecoeficiencia expresa la relación entre la creación económica y la destrucción ecológica. El objetivo del "método" de ecoeficiencia de BASF es cuantificar la sostenibilidad de los productos y procesos con una sólida base científica que garantice la inteligibilidad de los resultados obtenidos, que deben estar disponibles de forma que sean fácilmente comunicables (Saling et al., 2002). Aunque el concepto de ecoeficiencia en sí no es abrumadoramente complejo, es necesario especificarlo de forma útil para los fines empresariales. La toma de decisiones respetuosas con el medio ambiente está sujeta a las mismas limitaciones que las cuestiones financieras o estratégicas. Por lo tanto, la ecoeficiencia debe ser operacionalizada de manera que permita una visión bastante rápida de la relevancia relativa del servicio o de los bienes en cuestión. El método de BASF, descrito a continuación en esta sección en base al trabajo de Kicherer et al. (2006), propone un enfoque de normalización, que permite poner las cifras medioambientales y financieras en relación con las cifras globales, a la vez que transmite las cifras medioambientales y financieras por separado en un indicador.

La evaluación ecológica se realiza sobre la base de un ACV (que se ajusta a la norma ISO 14040) con las siguientes categorías: potencial de calentamiento global (PCG), potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO), potencial de acidificación (PA), esmog fotoquímico, residuos sólidos, emisiones de agua, consumo de energía, consumo de materias primas, uso del suelo, potencial de toxicidad y potencial de riesgo. Es la función de un producto la que constituye la base de un análisis comparativo y no el producto en sí. La evaluación económica se basa en un CCV, que utiliza los mismos límites del sistema que el ACV, pero centrándose en sus impactos monetarios. Como se ha visto anteriormente, no existe una norma general que prevea o describa cómo realizar un CCV, por lo que las instituciones que realizan simultáneamente un ACV y un CCV deben abordar la cuestión de los límites del sistema y las escalas temporales para garantizar la coherencia y la comparabilidad.

El elemento de unión entre el ACV y el CCV es el procedimiento de normalización. En general, la normalización se refiere a la comparación del tamaño total de los indicadores de categoría con una información de referencia. Esto asegura la comparabilidad y subraya la importancia de los datos de impacto del ACV normalizándolos con las emisiones totales nacionales o los datos energéticos (por ejemplo, de una nación). En este sentido, el procedimiento de normalización garantiza la comparabilidad, reduce la complejidad y simplifica la toma de decisiones. La normalización de las categorías de impacto del ACV implica la determinación de la relación entre el impacto del proceso y el impacto medioambiental total de un país o región. En general, hay una tendencia a tomar los límites del sistema de un país entero o incluso un continente como base de referencia, ya que la disponibilidad de datos es mejor que para regiones individuales. Otra posibilidad es normalizar sobre la base de la industria pertinente. Para determinar la ecoeficiencia y situar las cifras del ACV y del CCV en una línea comparable, también es necesario normalizar las cifras del CCV. La relación entre ambos factores de normalización describe la relación costo-medio ambiente de un determinado proyecto. Es decir, la normalización puede ayudar a integrar las cifras económicas y ecológicas y pone una cifra específica en relación con una cifra más bien global.

El primer paso es calcular el factor de normalización (FN) de los impactos ambientales. En este caso, el valor de referencia es el impacto ambiental interno bruto (IAIB) de un país *y*, aunque se puede tomar en consideración cualquier tipo de región (desde comunidades locales, naciones y hasta continentes):

$$FN_{i,\alpha} = (EICV_{i,\alpha} \ / \ IAIB_{i,y}) \text{ x } HAB_y \qquad (1)$$

Donde:

$FN_{i,\alpha}$ = Factor de normalización del impacto medioambiental *i* para el producto α (*i* puede ser, por ejemplo, el PCG, el AP o las emisiones de agua);

$EICV_{i,\alpha}$ = Inventario del ciclo de vida para el impacto medioambiental *i*; para el producto α como número métrico (por ejemplo, toneladas) en un periodo de tiempo determinado, normalmente por año;

$IAIB_{i,y}$ = Impacto medioambiental interno bruto para *i* en el país *y* como número métrico (por ejemplo, toneladas) en un determinado período de tiempo, normalmente por año;

HAB_y = Número neto de habitantes del país *y* medido en habitantes en un periodo de tiempo determinado, normalmente por año.

El mismo procedimiento se repite para todas las demás categorías de impacto. La media de $FN_{i,\alpha}$, $FN_{i,\beta}$, etc. se utiliza entonces como uno de los factores de cálculo para la agregación. Cuanto mayor sea un $FN_{i,\alpha}$, más importante es relativamente la categoría medioambiental para la aplicación analizada. Para determinar qué categoría medioambiental es más relevante, se realiza una media ponderada de cada factor de normalización de los productos analizados Un factor de ponderación social regional indica circunstancias y peculiaridades específicas que dan cuenta, por ejemplo, de la escasez de recursos:

$$IA_{,\alpha} = \Sigma(FP_i \text{ x } FN_{i,\alpha}) \quad (2)$$

Donde:

$IA_{,\alpha}$ = Impacto medioambiental del producto α;

FP_i = Factor de ponderación social regional ($\Sigma FP_i = 100\%$).

El siguiente paso en la evaluación de la ecoeficiencia es la determinación de los costos del sistema de productos mediante un costo del ciclo de vida. Estos CCV se pondrán en relación con el producto interior bruto de la región considerada. A diferencia del ACV, la unidad monetaria común del CCV permite obtener una sola cifra sin tener que realizar un cálculo para las distintas categorías. En consecuencia, el factor de normalización de costos es:

$$FN_{C,\alpha} = (CCV_\alpha \text{ / } PIB_y) \text{ x } HAB_y \quad (3)$$

Donde:

$FN_{C,\alpha}$ = Factor de normalización de los costos del sistema de producto *α;*

CCV_α = Costos del ciclo de vida del producto *α* en la moneda del país *y* (mismos límites del sistema EICV) en un periodo de tiempo determinado, normalmente por año;

PIB_y = Producto interno bruto sin transacciones financieras del país *y* (en la moneda del país *y*), en un periodo de tiempo determinado, normalmente al año;

HAB_y = Número neto de habitantes del país *y*.

Este factor muestra en qué magnitud contribuye el producto en cuestión al PIB de una determinada región. Un enfoque análogo a la ecuación (2) requeriría tener en cuenta también

un factor de ponderación social de los datos económicos. Esto podría referirse a los bienes que producen externalidades positivas y que, por lo tanto, son de mayor importancia para la sociedad. Sin embargo, en aras de la simplicidad, los autores ignoraron este problema.

Para relacionar el impacto medioambiental con los costos económicos, se tiene que calcular el cociente entre los factores medios de normalización medioambiental (IA) y el factor medio de normalización de costos (FN_C):

$$R_{A,C} = [(\Sigma IA) / j] / [(FN_C) / j] \quad (4)$$

Donde:

$R_{A,C}$ = Relación entre medio ambiente y costos de un proyecto completo;

j = Número de productos del proyecto (1,2,3...).

Un $R_{A,C}$ superior a 1 implica que el impacto medioambiental del proyecto es superior a sus costos normalizados, y viceversa. La utilización del procedimiento de normalización para llevar a cabo un análisis de ecoeficiencia con vistas a la toma de decisiones estratégicas de gestión necesita un tipo de visualización adecuado, una presentación gráfica del $R_{A,C}$ y la cartera de ecoeficiencia. Para lograrlo, Kicherer et al. (2006) normalizan el IA y el FN_C al valor medio en un primer paso, que se fija en 1, con las siguientes ecuaciones:

$$PP_{A,\alpha} = IA_\alpha / [(\Sigma IA) / j] \quad (5)$$

$$PP_{C,\alpha} = FN_{C,\alpha} / [(\Sigma FN_C) / j] \quad (6)$$

Donde:

$PP_{A,\alpha}$ = Posición de la cartera de impacto ambiental del producto α;

$PP_{C,\alpha}$ = Posición de la cartera de impacto de costos para el producto α;

j = Número de productos considerados.

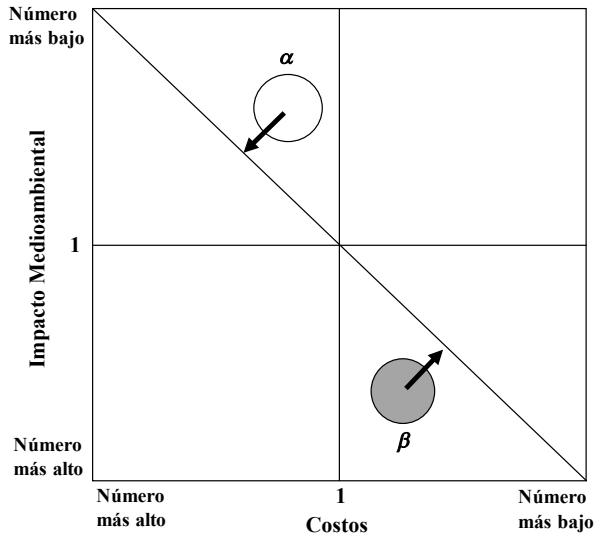
Las posiciones preliminares (PP) se mejoran mediante el factor $R_{A,C}$, con el fin de obtener una nueva posición (PP') en la que exista un equilibrio entre los impactos medioambientales y los costos. Basándose en el teorema geométrico de Pitágoras y en el teorema del cateto, los autores utilizan la raíz cuadrada del factor $R_{A,C}$ para calcular estas nuevas posiciones (PP'):

$$PP'_{A,\alpha} = [(\Sigma PP_{A,\alpha})/j + [PP_{A,\alpha} - ((\Sigma PP_{A,\alpha})/j)] \times (R_{A,C})^{(1/2)}] / ((\Sigma PP_{A,\alpha})/j) \quad (7)$$

$$PP'_{C,\alpha} = [(\Sigma PP_{C,\alpha})/j + [PP_{C,\alpha} - ((\Sigma PP_{C,\alpha})/j)] \times (R_{A,C})^{(1/2)}] / ((\Sigma PP_{C,\alpha})/j) \quad (8)$$

Las cifras obtenidas se traducen en una cartera gráfica (figura 6) donde el eje horizontal muestra el rango de las cifras de costos y el eje vertical muestra los impactos medioambientales.

Figura 6: Estructura de una cartera de ecoeficiencia



Fuente: Kicherer et al. (2006), elaboración propia

Debido a la normalización, el centro de ambos ejes es siempre igual a 1. Desde el punto de vista de la ecoeficiencia, los productos más favorables se sitúan en la esquina superior derecha, mientras que los menos favorables estarán más abajo, a la izquierda. En consecuencia, las distancias de dos productos respecto a la diagonal pueden expresarse como diferencias en el rendimiento de ecoeficiencia. Así, el producto β de la figura 6 se consideraría menos ecoeficiente que el producto α, en sentido relativo. La visualización gráfica convierte procedimientos bastante complicados en indicadores sencillos y completos de ecoeficiencia y allana el camino para incorporar la ecoeficiencia a la toma de decisiones estratégicas de las empresas. La presentación de cartera también apoya la comunicación con los clientes y otras partes interesadas.

En esta segunda sección se ha definido en primer lugar la ecoeficiencia, que es el concepto que vincula las cuestiones medioambientales con las económicas y que mide el impacto

medioambiental añadido causado por unidad monetaria ganada. Luego se han desarrollado tres técnicas: el análisis de ciclo de vida (ACV), el costo de ciclo de vida (CCV) y el costo nivelado de la energía (LCOE). Estas son necesarias para el análisis de ecoeficiencia de BASF, en el cual la evaluación ecológica se realiza sobre la base de un ACV y la evaluación económica en base de un CCV. Es a partir de este método, descrito por Kicherer et al. (2006), que más adelante se intentará determinar la ecoeficiencia relativa de los proyectos financiados con bonos verdes.

Parte C – Mitigación de las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe

La presente investigación tiene dos objetivos específicos relacionados con los GEI en América Latina y el Caribe: por una parte, establecer la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre estas emisiones y por otra, explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de estos programas. Por lo tanto, en esta sección, se presentarán las especificidades regionales de las emisiones de GEI, el estado del arte sobre los proyectos para mitigar estas emisiones, así como los modelos de evaluación integrada que más adelante servirán a estudiar los cambios climáticos en LAC.

2.C.1. Emisiones de GEI en la región

Las emisiones netas de GEI en Latinoamérica y el Caribe están acordes con su tamaño económico y su población. La participación de LAC en las emisiones globales netas de GEI (que incluyen el impacto de las prácticas de uso del suelo) es del 8,4% y es ampliamente coherente con el tamaño de sus economías, de modo que las emisiones netas de GEI per cápita de 6,4 toneladas métricas de CO_{2eq} se acercan a la media mundial. En cambio, las emisiones brutas de GEI per cápita (5,2 toneladas métricas de CO_{2eq}), que excluyen el impacto de las prácticas del suelo, están por debajo de la media mundial (6,3 toneladas métricas de CO_{2eq}). Las mayores emisiones netas (en relación con las brutas) de LAC reflejan una contribución positiva a las emisiones netas de GEI de las prácticas de uso de la tierra, en gran parte a causa de la deforestación en la región. Entre los países, la contribución de LAC a las emisiones globales netas de GEI está impulsada principalmente por los tres mayores emisores de la región: Brasil (5%), México (1,7%) y Argentina (1,5%). Aunque los países que dependen en gran medida de las exportaciones de combustibles fósiles (Bolivia, Colombia, Ecuador, Guyana, Surinam, Trinidad y Tobago y Venezuela) representan en total sólo el 1,7% de las emisiones mundiales netas de GEI, sus exportaciones de combustibles fósiles contribuyen a las emisiones de los países importadores. Algunos países de América Latina son también importantes exportadores de productos agrícolas y, por lo tanto, son vulnerables a los riesgos de transición derivados del posible abandono de los productos de origen animal que, según las estimaciones, contribuyen en un 15% a las emisiones netas de GEI a nivel mundial. LAC también alberga países especialmente vulnerables al impacto del cambio climático. En particular, el Caribe es una de las regiones más vulnerables del mundo y se destaca en términos de frecuencia e impacto

económico de los desastres naturales relacionados con el clima por superficie terrestre. América Central también es vulnerable en este sentido.

La composición de las emisiones netas de GEI en LAC difiere notablemente de la del resto del mundo. La región destaca por su gran proporción de emisiones netas de GEI (45% del total) procedentes de la agricultura, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura combinados, en comparación con la media mundial del 14%. En cuanto al sector energético -que sigue siendo el principal generador de emisiones- representa el 43% de las emisiones de GEI en LAC, muy por debajo de la media mundial del 74%, lo que refleja unas fuentes de suministro energético más limpias que en la mayoría de las demás regiones (IMF, 2021).

En América Latina y el Caribe, los GEI aumentaron un 0,7% anual entre 1990 y 2014. El 70% de este incremento estuvo relacionado con el consumo de energía (35%) y el cambio en el uso del suelo y la silvicultura (35%). El aumento de los GEI en la región está directamente asociado con el crecimiento económico de la región, que intensifica el consumo de energía y, en consecuencia, las emisiones. El consumo de energía siguió la misma tendencia del crecimiento del PIB per cápita. Según datos del Banco Mundial, en 1989 el consumo de energía eléctrica en LAC era de 1175,35 kWh per cápita, y en 2014 había alcanzado los 2155,70 kWh per cápita (Koengkan & Fuinhas, 2020). Sin embargo, la región dispone de una matriz energética más sostenible y diversificada, puesto que está dotada de un gran potencial de recursos energéticos renovables, que representan el 33% del suministro total de energía de la región, frente al 13% a nivel mundial. En los últimos años, varios países de LAC han avanzado considerablemente en la creación de mercados de energías renovables. En 2020, las energías limpias representaban el 61% (952 TWh) de la generación regional de electricidad, y de esta cifra el 75% correspondía a energía hidroeléctrica, y el 25% a energía solar, eólica, de biomasa y geotérmica. No obstante, existen importantes divergencias dentro de la región: la producción de electricidad en el Caribe se inclina hacia fuentes no renovables en un 88%, en contraste con alrededor del 40% en el resto de LAC (OCDE et al., 2022).

2.C.2. Proyectos para mitigar los GEI

Entre la literatura académica que se ha focalizado en proyectos que buscan atenuar las emisiones de GEI en América Latina y el Caribe, encontramos el artículo de Schipper et al (2011) que examina las tendencias agregadas de las emisiones de CO_2 del transporte por

carretera en la región. Los autores constataron que alrededor del 60% de todas las emisiones del transporte por carretera en América Latina están asociadas a las zonas urbanas, siendo los vehículos livianos responsables de más de la mitad de las emisiones urbanas. En Ciudad de México, el CO_2 procedente del transporte procedía en su mayoría (68%) de vehículos individuales, es decir, coches, camionetas, taxis y motocicletas. Los patrones de Santiago de Chile, Bogotá y Sao Paulo son similares ya que los vehículos livianos representaban menos del 25% de los desplazamientos, pero más del 60% de la cuota de tráfico urbano y de las emisiones de CO_2 en las zonas urbanas. Las emisiones del transporte por carretera en esta región están estrechamente relacionadas con la propiedad y el uso elevado de automóviles livianos. Mencionan el caso del impacto de la introducción de un corredor del bus rápido a lo largo de una de las rutas más transitadas de la Ciudad de México. Este proyecto redujo las emisiones en el corredor procedentes de todo el tráfico en un 10%, incluso sin abordar directamente el problema del combustible y las emisiones. Un tercio de ese ahorro se debió a que los usuarios del Metrobús dejaron el coche en casa y cogieron el autobús. El valor monetizado de la externalidad del CO_2 es pequeño en comparación con otros beneficios del Metrobús como proyecto de transporte y la reducción de CO_2 puede evaluarse como un co-beneficio de este programa. La investigación concluye que el CO_2 es un síntoma de las elevadas tasas de uso del automóvil, y que atacándose a los problemas fundamentales del transporte urbano que aquejan a América Latina, se podrían limitar considerablemente las emisiones de CO_2 con un "costo" de ahorro mínimo o nulo.

El trabajo de Sheinbaum-Pardo y Ruiz (2012) presenta una visión general de la producción y el consumo de energía en LAC con un especial hincapié en las emisiones de CO_2 relacionadas con estas actividades. Los autores señalan que, en 2009, aproximadamente 5% de los habitantes de América Latina carecían de acceso a la electricidad y 15% dependían del uso tradicional de la biomasa para cocinar. Los dispositivos para cocinar con leña en América Latina son en su mayoría fuegos de tres piedras sin chimeneas ni campanas que funcionen. La consecuencia es que los niveles de contaminación en el interior de los hogares que cocinan con biomasa suelen ser muchas veces superiores a los niveles del exterior, incluso en ciudades muy contaminadas. América Central y el Caribe son las subregiones que más recurren a la biomasa para satisfacer las necesidades energéticas de los hogares. La investigación señala que para lograr una energía sostenible para el futuro de la región de LAC se requiere aumentar la seguridad energética, reducir las emisiones de GEI, disminuir otros impactos ambientales procedentes de la producción y el consumo de energía, y tener acceso a los servicios energéticos más básicos,

como electricidad y cocinas, para toda la población. El estudio menciona que el acceso universal a instalaciones limpias para cocinar podría lograrse mediante inversiones adicionales acumuladas de tan sólo 2.000 millones de dólares hasta 2030. En cuanto a la reducción de las emisiones de CO_2, esta requerirá importantes esfuerzos en eficiencia energética y fuentes de energía renovables especialmente por parte de los países con mayores emisiones (México, Brasil y Argentina). LAC puede reducir las emisiones de CO_2 con un acceso universal a los combustibles modernos y además debe satisfacer las necesidades energéticas de los pobres urgentemente. El acceso a formas modernas de energía es esencial para el suministro de agua potable, saneamiento y atención sanitaria, y aporta grandes beneficios de desarrollo al proporcionar servicios de iluminación, cocina, energía mecánica, transporte y telecomunicaciones.

Montagnini et al. (2013) analizaron los sistemas silvopastoriles (SSP) y su mitigación en el cambio climático de América Latina. La ganadería ocupa cerca del 30% de la superficie mundial y contribuye a la subsistencia de la población concentrada en zonas rurales pobres, pero por otro lado también contribuye a cerca del 18% de las emisiones GEI en todo el mundo. En LAC, los sistemas de producción ganadera son responsables de entre el 58 y el 70% de las emisiones totales de GEI de la agricultura y en las regiones tropicales, cerca del 40% de las emisiones de GEI del ganado proceden de la fermentación entérica. Los SSP son una combinación de árboles, pastos y ganado en la misma unidad de producción, en entornos como pastos con árboles diseminados, sistemas de pastos en callejones arbolados, bancos de forraje y pastos con cercas vivas y cortavientos que pueden ayudar a mitigar el cambio climático aumentando la captura de carbono por encima y por debajo del suelo al mismo tiempo que proporcionan beneficios a los agricultores al mejorar el ciclo de los nutrientes, la producción de forraje para los animales y la diversificación de los ingresos. Los autores concluyen que los SSP, y más especialmente los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPI)[39], han demostrado una capacidad de producción ganadera superior a la de los sistemas convencionales. La producción de biomasa a lo largo de todo el año, incluso en la estación seca, permite una mayor transformación de la alimentación del ganado en carne y leche, con densidades de carga ganadera casi cuatro veces superiores y rendimientos de carne de vacuno superiores a los de los sistemas convencionales. Los SSP muestran capacidad de adaptación de los árboles y arbustos sobre la temperatura del aire, lo que contribuye a mejorar el confort y la productividad de los

[39] En los SSPI, los bancos de forraje para el ramoneo directo se intercalan con pastos mejorados para aumentar el suministro de forraje, así como con árboles madereros o frutales para obtener ingresos adicionales a corto y largo plazo.

animales. Además, los casos prácticos expuestos en Colombia, Costa Rica y Nicaragua demuestran que si se planifican y gestionan bien, los SSP pueden ser eficaces sumideros de carbono. Se describen dos maneras para disminuir la contribución de la producción ganadera a los GEI: alimentar al ganado con forraje de alta digestibilidad y planificar y gestionar los sistemas ganaderos para secuestrar carbono. En combinación, se espera que ambos enfoques conduzcan a sistemas neutros en carbono que ayuden a alcanzar los objetivos de mitigación de los agricultores individuales, las regiones y los países.

2.C.3. El proyecto CLIMACAP-LAMP

El proyecto CLIMACAP-LAMP, finalizado en diciembre de 2015, es un trabajo de comparación entre modelos que se centran en la energía y la mitigación del cambio climático en América Latina. Este ejercicio académico reunió a modeladores de todo el mundo que han participado habitualmente en los esfuerzos por explorar las políticas climáticas internacionales, y a expertos regionales que poseen un conocimiento y una comprensión específica de los datos, los avances y las políticas en este ámbito en América Latina. La investigación incluyó a varios de los grupos de modelización energética más destacados de LAC, así como a un conjunto representativo de equipos de modelización de evaluación global integrada de Europa y Estados Unidos. Alrededor de dos docenas de universidades, instituciones de investigación y organizaciones de consultoría ambiental participaron en el proyecto de comparación entre modelos CLIMACAP-LAMP. Estos grupos se reunieron en una serie de talleres en varios países de América Latina y el principal resultado del proyecto, fue un estudio coordinado de comparación de 14 modelos[40] que ha vinculado a estas comunidades para proporcionar un análisis cuantitativo más eficaz de los temas de energía, cambio climático y uso de la tierra en América Latina en un contexto global.

El resultado académico son 11 artículos publicados en el volumen 56 de la revista *Energy Economics*. Las cuatro primeras contribuciones investigan una serie de temas generales - proyecciones de referencia, potencial de mitigación, difusión de tecnologías con bajas emisiones de carbono y necesidades de inversión en bajas emisiones de carbono- desde una perspectiva regional latinoamericana. Los cinco documentos siguientes profundizan en el contexto político y de desarrollo con bajas emisiones de carbono de cuatro grandes países concretos de la región: Argentina, Brasil, Colombia y México (con un estudio basado en un

[40] Los catorce modelos que se utilizaron en el proyecto CLIMACAP-LAMP son: ADAGE, E3ME, EPPA, GCAM, IMACLIM-BR, IMAGE, iPETS, LEAP-Argentina, MEG4C, MESSAGE-Brasil, Phoenix, POLES, TIAM-ECN y TIAM-WORLD.

modelo dedicado a un análisis conjunto de Brasil y México). Los dos últimos artículos presentan estudios sobre temas de especial importancia en el contexto de la aplicación de la política de mitigación del cambio climático en América Latina: sus implicaciones en términos de agricultura y uso del suelo, y sus repercusiones en un contexto macroeconómico, es decir, en términos de cuestiones que van más allá del ámbito directo del sistema energético y la mitigación del cambio climático. Todos los artículos se centran en un conjunto de escenarios comunes que pueden clasificarse en cuatro categorías distintas: escenarios de referencia (Tipo 1), escenarios de trayectoria de precios del CO_2 (Tipo 2), escenarios de reducción de emisiones (Tipo 3) y escenarios de objetivos de forzamiento radiactivo (Tipo 4). En total son 11 escenarios que exploran una serie de cuestiones asociadas a los esfuerzos de mitigación climática de América Latina.[41] Por ejemplo, los escenarios de precios del CO_2 proporcionan información sobre el nivel de mitigación que se produciría dado un precio específico del CO_2, así como la incertidumbre en la respuesta de la mitigación correspondiente. Los escenarios de reducción de emisiones exploran las características, a través de múltiples modelos, de las vías de mitigación necesarias para alcanzar un objetivo de mitigación concreto (van der Zwaan et al., 2016).

Los modelos de evaluación integrada (MEI) son una serie de modelos cuantitativos para estudiar los cambios climáticos en todo el sistema terrestre y el efecto de las diversas políticas públicas sobre las proyecciones del futuro cambio climático (Weyant, 2017). Los MEI se utilizan a menudo para apoyar las decisiones sobre políticas de mitigación mediante el desarrollo de escenarios que describen las posibles tendencias en la producción de energía y las emisiones, tanto en ausencia de políticas climáticas (es decir, escenarios "de referencia") como en presencia estas políticas (los escenarios "con políticas"). Los escenarios de referencia proporcionan información útil para evaluar por qué son necesarias las políticas y cuál será el costo potencial de la intervención política. Los elementos clave de estos escenarios de referencia son las proyecciones de las fuerzas motrices, como la población, la actividad económica y las hipótesis sobre el cambio tecnológico, que pueden diferir considerablemente de un modelo a otro. Como consecuencia, los principales resultados de los escenarios de referencia, incluidas las proyecciones del uso de la energía y las emisiones a lo largo del tiempo en ausencia de políticas públicas, también pueden diferir significativamente (van Ruijven et al., 2016).

[41] La base de datos que contiene el resultado completo de los 11 escenarios, para todos los modelos que contribuyen al proyecto CLIMACAP-LAMP, está disponible públicamente en el sitio web https://tntcat. iiasa.ac.at/CLIMACAP-LAMPDB/ (CLIMACAP-LAMP, 2015).

El artículo de van Ruijven et al. (2016) es el primero de los 11 del proyecto y su objetivo es proporcionar información de fondo sobre los supuestos de partida y dar una visión general de las principales proyecciones de los modelos en los escenarios de referencia para los países de la región latinoamericana. En base a un conjunto de datos de resultados seleccionados de 13 modelos, los autores presentaron proyecciones para 2005-2050 en los escenarios de referencia para el mundo, América Latina en su conjunto, México y Brasil. Algunas diferencias en los resultados se deben a las distintas estructuras de los modelos, mientras que otras se deben a las diferentes hipótesis sobre el futuro desarrollo social, económico y tecnológico. Además, en los escenarios básicos de referencia no se armonizaron las políticas energéticas y medioambientales presentes y futuras. Los autores precisan que utilizan la palabra *proyección* para los resultados de los escenarios de los modelos, pero que la población y el PIB son supuestos tomados de otros modelos o proyectos para la mayoría de los modelos y no son realmente proyectados por los modelos del proyecto CLIMACAP-LAMP. Los resultados son los siguientes:

- Los modelos prevén que la *población* de América Latina crecerá de unos 560 millones de personas en 2005 a unos 650-720 millones en 2030 y a unos 650-810 millones en 2050. Las proyecciones de población para México y Brasil presentan tendencias similares a las mundiales y a las de la región latinoamericana agregada. Ninguno de los modelos proyecta un aumento del crecimiento demográfico para 2005-2050 y la mayoría muestran un freno del crecimiento de la población después de 2030 debido a un descenso de las tasas de fertilidad.
- Para 2050, los modelos prevén un *PIB per cápita* a nivel mundial de entre 12.000 y 22.000 dólares; de entre 11.000 y 22.000 dólares para América Latina; de entre 12.000 y 31.000 dólares para México, y de entre 10.000 y 26.000 dólares para Brasil. Todos los modelos participantes proyectan una población cada vez más rica con el paso del tiempo.
- El *consumo total de energía* difiere según los modelos y en algunos casos, las diferencias son sustanciales. Sin embargo, la mayoría de los modelos prevén una dependencia continua de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural) durante el periodo 2020-2050 y un rol cada vez mayor del gas natural. La mayor parte de las discrepancias entre los modelos están relacionados con el uso energético de la biomasa y el rol del carbón. Para 2050, algunos modelos prevén una contribución sustancial de la energía eólica y solar.

- Las *emisiones de CO_2* crecen de forma constante en todas las proyecciones de los modelos para los principales escenarios de referencia. Se prevé que las emisiones en LAC crezcan de 1400-1700 Mt CO_2 en 2005 a aproximadamente 2200- 4350 Mt CO_2 en 2050. Brasil y México son los principales contribuyentes a las emisiones de América Latina. Se prevé que las emisiones de Brasil aumenten de aproximadamente 400 Mt de CO_2 en 2005 a aproximadamente 800-1600 Mt de CO_2 en 2050, y que las emisiones de México aumenten de aproximadamente 450 Mt de CO_2 en 2005 a aproximadamente 700-1100 Mt de CO_2 en 2050.

Para entender lo que impulsa el cambio de las emisiones a lo largo del tiempo, los autores descompusieron la contribución relativa de los factores de la *identidad de Kaya*. Esta última es un marco matemático sencillo, introducido en 1995 por el profesor japonés Yoichi Kaya, para evaluar los principales factores que rigen las emisiones mundiales de CO_2:

$$C = P * (G/P) * (E/G) * (C/E)$$

en el que: C, son las emisiones globales de CO_2; P, el crecimiento global de la población; G, el producto interior bruto global y E, el consumo global de energía. Los cambios en las emisiones de CO_2 pueden atribuirse al crecimiento de la población (P), la actividad económica per cápita (G/P), la intensidad energética (E/G) y la intensidad de carbono del consumo energético (C/E). Con una población mundial creciente y una producción económica en aumento, la identidad de Kaya revela que las emisiones globales aumentarán a menos que se reduzca la intensidad energética y/o la intensidad de carbono (Feron, 2016). La descomposición realizada por van Ruijven et al. (2016) de los factores Kaya en los principales escenarios de referencia indica que el aumento previsto de las emisiones en los países latinoamericanos está impulsado principalmente por el crecimiento del PIB, el aumento de la población y un ligero cambio hacia combustibles más intensivos en carbono; es sin embargo amortiguado por la reducción de la intensidad energética. El rango de previsiones de emisión total de carbono para 2050 de todos los modelos participantes se sitúa entre 2000 y 4500 Mt CO_2/año, aunque existe una clara agrupación en torno a 3500 Mt CO_2/año.

En este capítulo se han revisado las teorías y conceptos necesarios para realizar los objetivos e hipótesis planteados en la presente tesis. En la primera parte se han definido los bonos con sus

diferentes características y categorías. Se han examinado por un lado las teorías que determinan el tipo de interés y por otro lado las de la estructura del capital, que son las que sustentan las motivaciones de las empresas a financiarse con bonos. Una vez estos conceptos integrados, se han detallado las particularidades de los bonos verdes que son el centro de la presente investigación. Se ha hecho un énfasis especial en la manera de cómo un bono es considerado verde, en base al uso de los recursos y los sectores de los proyectos financiados. Tres de los cuatro objetivos específicos de este estudio se focalizan en estos proyectos, de ahí la importancia de repasar los fundamentos de los informes de asignación de fondos, de los informes, los folletos de emisión y las revisiones externas.

Para poder trabajar la ecoeficiencia relativa de los proyectos financiados con bonos verdes, se ha expuesto en la segunda parte del capítulo el método de BASF y las técnicas utilizadas para poder aplicarlo, a saber, el ACV, el CCV y el LCOE.

Finalmente, en la tercera parte del marco teórico, se han cubierto los conceptos necesarios para establecer la incidencia de estos proyectos sobre las emisiones de GEI en LAC, particularmente el proyecto CLIMACAP-LAMP, esencial para realizar proyecciones más adelante.

Capítulo III – Proyectos financiados con bonos verdes: ecoeficiencia

En el siguiente capítulo se aplicarán los conceptos teóricos y metodológicos revisados previamente para desarrollar dos de los objetivos específicos de esta tesis. Se iniciará con la descripción de la evolución del mercado de bonos verdes en LAC en el rango de fechas determinado. Más adelante, se dará cuenta del análisis de la ecoeficiencia relativa de los proyectos financiados por los bonos descritos previamente.

Parte A – Descripción del mercado de bonos verdes en LAC de 2014 a 2019

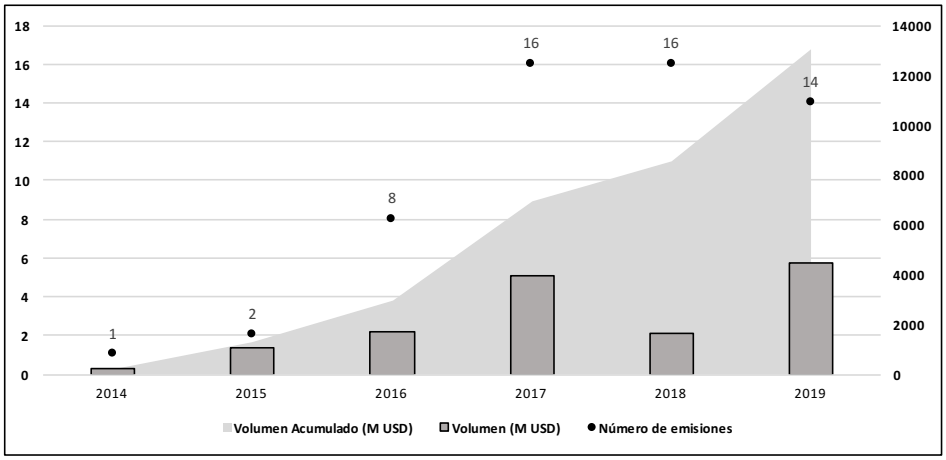
El primer objetivo específico es describir las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe. Dentro del marco metodológico se especificó que la presente investigación se centra exclusivamente en los bonos verdes emitidos entre diciembre de 2014 y agosto de 2019, por empresas y entidades domiciliadas en los países y territorios de la región denominada Latinoamérica y el Caribe (LAC). Este estudio se concentró únicamente en los bonos verdes auto-etiquetados de la base de datos enviada por el CBI (Climate Bonds Initiative, 2019b). En total son un préstamo verde y 56 bonos verdes latinoamericanos de los cuales es importante revisar sus diferentes características, particularmente para entender el tipo de instrumentos financieros que suscitaron el interés de los inversores.

3.A.1. Análisis geográfico

El primer bono verde de la región fue emitido en diciembre de 2014 por la empresa peruana Energía Eólica con el propósito de financiar dos campos eólicos en el noroeste de Perú. A partir de 2015 y la COP 21, el número de emisiones fueron aumentando considerablemente al igual que en otras regiones del mundo como Europa o Norteamérica. En 2018, hubo una desaceleración global en la emisión de bonos, incluyendo de bonos convencionales, y esta se sintió particularmente en LAC en lo que respecta al mercado de los bonos verdes. Las causas detrás de este freno fueron las malas condiciones de los mercados emergentes, la incertidumbre en torno a las elecciones en Brasil y México, la crisis económica argentina, y los efectos indirectos de la inestabilidad política en Venezuela (Climate Bonds Initiative, 2019a). A pesar de que la base de datos registra el mismo número de emisiones, los volúmenes cayeron un 59% en 2018 versus 2017. En el rango de análisis, en total 44 emisores diferentes introdujeron en el

mercado 56 bonos verdes y un préstamo verde por un monto equivalente a USD 13,016 millones. La figura 7 resume la evolución del mercado durante este periodo:

Figura 7: Emisiones y volumen de bonos verdes en LAC (millones de USD)



Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

En LAC coexisten economías de diversos tamaños: pequeñas, típicas de la zona del Caribe; medianas, como Colombia o Chile y grandes, como Brasil y México. Según Mejía-Escobar et al. (2021), estas características se reflejan en mayor o menor medida en sus esfuerzos en materia medioambiental, en el avance de sus mercados de capitales y, en definitiva, en el nivel de avance de sus mercados de bonos verdes. La composición de la muestra corrobora este argumento puesto que, en términos de repartición geográfica, Brasil es el líder incontestable de la región con 22 bonos, que significan 43% del monto equivalente en dólares emitido. Por detrás está Chile con siete emisiones (24% del monto) y México con siete emisiones (11% del monto). Argentina consta con cuatro bonos verdes (5% del monto). Únicamente ocho países y tres instituciones supranacionales de Centro y Sudamérica emitieron bonos verdes durante el período seleccionado.

3.A.1.1. Brasil

Brasil es la primera economía de la región y el mayor emisor de bonos verdes de la muestra. Un hito importante fue la publicación en 2016 por la Federación Brasileña de Bancos (FEBRABAN) y el Consejo Empresarial Brasileño para el Desarrollo Sostenible (CEBDS) de la Guía de Bonos Verdes para apoyar a los emisores potenciales y el desarrollo del mercado de bonos verdes. Esta guía tiene como objetivo proporcionar directrices a los participantes y partes interesadas en el mercado brasileño de valores de renta fija en relación con el proceso de

emisión de bonos verdes (FEBRABAN & CEBDS, 2016). Para su elaboración se contó con la participación de diversos actores como reguladores, instituciones financieras, potenciales emisores, inversores, revisores externos y organizaciones civiles ambientales. Aunque se esperaba un crecimiento debido al impulso de los bonos verdes a nivel mundial, estas directrices han sido reconocidas como el punto clave para el desarrollo de este mercado en el país (Mejía-Escobar et al., 2021).

El primer bono verde brasileño fue emitido en 2015 por la multinacional procesadora de alimentos BRF S.A. (bono número 8 del anexo 2). Fue la primera operación con tamaño de referencia[42] de LAC (500 millones de euros equivalente a 564 millones de dólares), así como uno de los primeros bonos verdes a nivel mundial en financiar a la categoría "industria" (Climate Bonds Initiative, 2019a). La emisión de BRF S.A. es la única en euros, todas las operaciones posteriores se realizaron en reales o en dólares americanos. Las empresas no financieras representan 20 de los 22 bonos de la lista. Las dos excepciones son: (i) el banco de desarrollo BNDES que emitió un bono de 1.000 millones de USD en mayo de 2017 para financiar ocho proyectos de energía eólica (bono número 7 del anexo 2); (ii) la empresa estatal respaldada por el gobierno ISA CTEEP que emitió 617 millones de BRL en abril de 2018 para financiar proyectos energéticos de su sistema de transmisión (bono número 13 del anexo 2). Hasta agosto de 2019, los bancos privados todavía no habían entrado en el mercado de bonos verdes.

La economía brasileña depende en gran medida de la agricultura y la silvicultura que son dos de los sectores que más GEI emiten en el país. Cuatro productores de papel (Celulose Irani, Fibria, Klabin y Suzano Papel e Celulose[43]) salieron al mercado con 8 emisiones diferentes[44] (bonos número 9, 12, 14, 15, 22-25 del anexo 2). Los fondos de estos bonos sirvieron para financiar productos forestales certificados (silvicultura comercial), casi todos relacionados con la producción de pulpa y papel. Una parte menor está relacionada con los esfuerzos de conservación de los bosques de estos mismos productores de papel. El resto de bonos de Brasil financiaron al sector de la energía (eólica o de transmisión y distribución) a excepción de BRF

[42] Los bonos de referencia son emisiones de gran volumen (generalmente superior o igual a 500 millones de dólares), con características estándar, como cupones de interés fijo y amortización sólo al vencimiento final.
[43] En enero de 2019, Suzano Papel e Celulose SA, cerró el acuerdo para comprar a su rival nacional más grande Fibria Celulose SA.
[44] El bono de Suzano de noviembre de 2016 (bono número 24 del anexo 2) fue el primer ABS de la región emitido en forma de un CRA verde ("Certificados de Recebíveis do Agronegócio").

S.A. que es un bono que financió proyectos en diversos sectores (eficiencia energética, reciclaje).

3.A.1.2. Chile

Chile es el segundo país más importante de la base de datos con siete emisiones (24% del monto). La Bolsa de Comercio de Santiago (BCS) también ha tomado medidas para desarrollar las finanzas verdes y publicó la Guía del Segmento de Bonos Verdes y Sociales en 2018. El primer bono verde del país llegó en 2017 con la empresa CMPC, uno de los mayores fabricantes de pulpa y papel del mundo, que emitió 500 millones USD para financiar proyectos de silvicultura comercial, gestión sostenible del agua, entre otros (bono número 31 del anexo 2). CMPC se convirtió en el tercer productor de papel en emitir un bono verde, y el primero fuera de Brasil. En 2018 salieron al mercado dos nuevos emisores: Aguas Andinas y Agrosuper, este último siendo el primero en utilizar un préstamo verde para financiar la pesca sostenible (bono número 29 y préstamo número 27 del anexo 2). El verdadero estímulo al mercado de bonos verdes se produjo a mediados de 2019, cuando la República de Chile emitió los dos primeros bonos soberanos verdes de América: uno en el mercado estadounidense (1418 millones de USD) y el otro en la zona euro (861 millones EUR) (bonos número 32 y 33 del anexo 2). El 95% de las emisiones chilenas están denominadas en USD o EUR, debido al peso de las operaciones soberanas. El 5% restante procede de los dos bonos de Aguas Andinas, denominados en la Unidad de Fomento, una unidad de cuenta cuyo tipo de cambio con el peso chileno se ajusta constantemente en función de la inflación (bonos número 28 y 29 del anexo 2).

El transporte es el sector que domina las emisiones chilenas puesto que los fondos de los bonos verdes del Estado se emplearán principalmente para el transporte con bajas emisiones de carbono. La mayoría de los proyectos financiarán la construcción y modernización de líneas de metro, pero también incluyen el despliegue de autobuses eléctricos e infraestructuras para vehículos eléctricos. Además de contar con la mayor flota de autobuses eléctricos de LAC (la segunda del mundo, sólo por detrás de China), la Estrategia de Electromovilidad del Gobierno chileno aspira a alcanzar una cuota del 40% en vehículos privados y del 100% en transporte público urbano para el año 2040 (Climate Bonds Initiative, 2019a).

3.A.1.3. México

Pese a ser el segundo país en términos de población y PIB después de Brasil, México ocupa el tercer lugar en importancia en términos de volumen de bonos verdes emitidos durante el período seleccionado. Una iniciativa importante para el desarrollo de estos productos fue la creación en 2016 de un segmento dedicado para el listado de bonos verdes en la Bolsa Mexicana de Valores (BMV), convirtiéndola así en la primera bolsa de América Latina en ofrecer este tipo de listado (Grupo BMV, 2016). El primer bono verde fue emitido en 2015 por el banco de desarrollo Nacional Financiera (NAFIN) por un monto de 500 millones de USD. NAFIN reincidió en 2016 con una segunda emisión, esta vez por 2000 millones de pesos mejicanos (bonos número 45 y 46 del anexo 2). El sector público está muy presente en la lista del mercado mejicano puesto que otro banco de desarrollo, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) realizó una emisión en 2018, y el gobierno regional de la Ciudad de México recurrió al mercado en dos ocasiones (bonos número 42-44 del anexo 2). Dentro del sector privado, el BBVA Bancomer, uno de los bancos más grandes del país, y la empresa Eólica Mesa Paz realizaron cada uno una operación en 2018 (bonos número 40 y 41 del anexo 2). Únicamente dos bonos fueron emitidos en USD, pero estos representan 63% del monto emitido. El sector mayormente financiado es el de la energía.

El Nuevo Aeropuerto de Ciudad de México (NAICM) tenía que convertirse en el mayor proyecto de infraestructura a nivel mundial financiado con bonos verdes y para esto se emitieron 6.000 millones de dólares a través de cuatro bonos verdes entre 2016 y 2017. A finales de 2018, tras organizar un referéndum, el nuevo Gobierno mexicano anunció la cancelación del NAICM. El Gobierno recompró únicamente 1.800 millones de dólares a los inversores (“buy-back” en inglés), el resto de los ingresos siendo considerado por algunos operadores de mercados financieros como “greenwashing”. El CBI no los conceptúa como verdes y fueron excluidos de la base de datos recibida.

3.A.1.4. Argentina

El mercado de bonos verdes argentinos fue inaugurado a principios de 2017 por un gobierno regional, la Provincia de La Rioja, que emitió 200 millones de USD para financiar el proyecto del Parque Eólico Arauco. En noviembre del mismo año, se realizó una emisión “tap” de 100 millones de USD (bonos número 3 y 4 del anexo 2). Pocos meses antes, otro gobierno local, la Provincia de Jujuy, salió al mercado con 210 millones de USD para financiar el Parque Fotovoltaico Cauchari, situado en la región de La Puna (bono número 2 del anexo 2). La

emisión de USD 100 millones de Banco Galicia de 2018 fue el primer bono verde emitido por una institución privada en Argentina (bono número 1 del anexo 2). Este fue suscrito en una colocación privada por la Corporación Financiera Internacional (IFC), filial del Grupo Banco Mundial. Los fondos recaudados se utilizaron para financiar proyectos en diversas áreas: energía solar, biocombustibles, biomasa y eficiencia energética (Merlyn S., 2022). En 2019, Bolsas y Mercados Argentinos (BYMA) y la Comisión Nacional de Valores (CNV), publicaron la Guía de Bonos Sociales, Verdes y Sustentables para promover estos instrumentos en el mercado de capitales argentino.

3.A.1.5. Otros países y emisores supranacionales

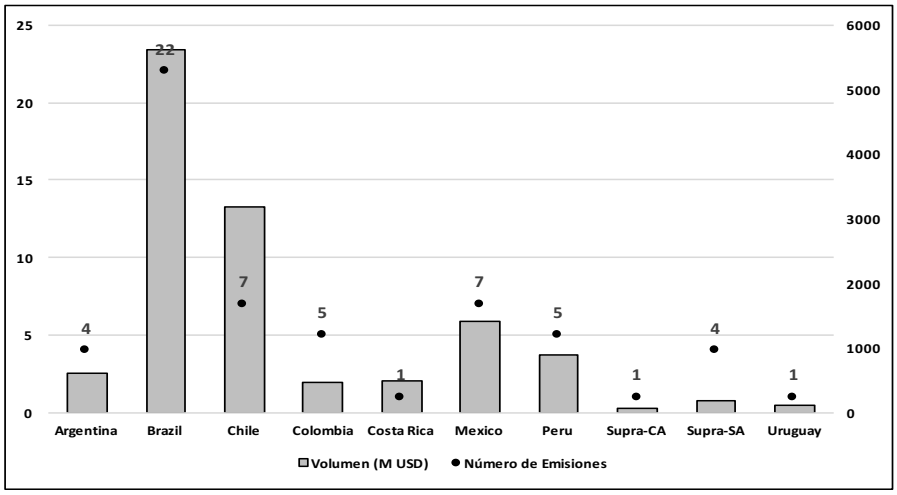
En 2014, Perú fue el primer país latinoamericano en emitir un bono verde. Cuatro años después, Protisa, filial del productor chileno de papel CMPC, realizó una operación de 100 millones de soles peruanos (PEN). Es también en 2018 cuando Perú se dotó de una guía para la emisión de bonos verdes. Hasta la fecha del cierre de la base recibida, se emitieron cinco bonos verdes peruanos por un monto total de equivalente a 886 millones de USD que, a excepción de Protisa, financiaron todos proyectos en el sector de la energía (bonos números 47-51 del anexo 2).

El banco Bancolombia fue la primera institución financiera en emitir un bono verde en la región en 2016. Davivienda, su competidor, hizo lo propio en 2017 y un año después, Bancolombia volvió con una segunda emisión. La IFC compró los tres bonos emitidos por estas dos entidades. El banco de desarrollo Bancoldex y la Empresa de Energía del Pacífico (EPSA) completaron los emisores de Colombia. Los cinco bonos fueron emitidos en pesos colombianos (COP) y el sector de la construcción fue el mayor beneficiario de estos fondos (bonos números 34-38 del anexo 2).

La empresa Atlas Renewable Energy emitió el único instrumento de deuda verde uruguayo de la muestra (bono número 52 del anexo 2) al igual que en Costa Rica, el banco estatal epónimo Banco Nacional de Costa Rica (bono número 39 del anexo 2). Tres bancos de desarrollo latinoamericanos también participaron en el mercado de bonos hasta agosto de 2019: el Banco Centroamericano de Integración Económica (CABEI[45]), la Corporación Andina de Fomento (CAF) y la Corporación Interamericana para el Financiamiento de Infraestructura (CIFI). La figura 8 sintetiza el desglose geográfico de la región durante el período seleccionando:

[45] Por las siglas de su denominación en inglés, Central American Bank for Economic Integration.

Figura 8: Emisiones y volumen de bonos verdes por país (millones de USD)



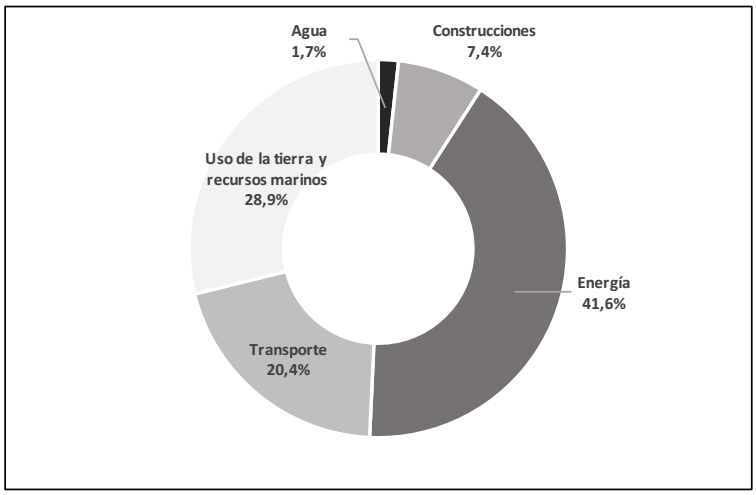
Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

3.A.2. Uso de los fondos

3.A.2.1. Sectores

La *energía* fue el sector más financiado de la muestra, con más de 40% de los ingresos de los bonos verdes de Latinoamérica y el Caribe destinados a proyectos renovables, especialmente eólicos y solares. Esto es similar al mercado mundial, donde el 35% de los fondos financian la categoría de energía. Como se ha mencionado durante esta investigación, el *uso de la tierra y recursos marinos* es un sector muy importante en muchos países de LAC y contribuye en gran medida al PIB de la región, pero también a sus emisiones de GEI. El sector pesa 29% del uso de los fondos de los bonos seleccionados y la mayor parte consiste en proyectos de silvicultura comercial y papel certificados, casi todos relacionados con la producción de pulpa y papel especialmente en Brasil. El tercer sector en importancia en la región es el *transporte* con el 20% de los fondos recaudados. Esto se debe casi exclusivamente a la importancia de los bonos soberanos chilenos que destinaron 95% de los recursos a proyectos de transporte público. Las *construcciones* y el *agua*, dos de los sectores más financiados a nivel mundial, se encuentran entre los menos financiados en LAC durante este período, con menos del 8% y el 2% respectivamente. La figura 9 sintetiza el uso de los fondos durante el rango de fechas de este estudio.

Figura 9: Uso de los fondos LAC (2014-2019)

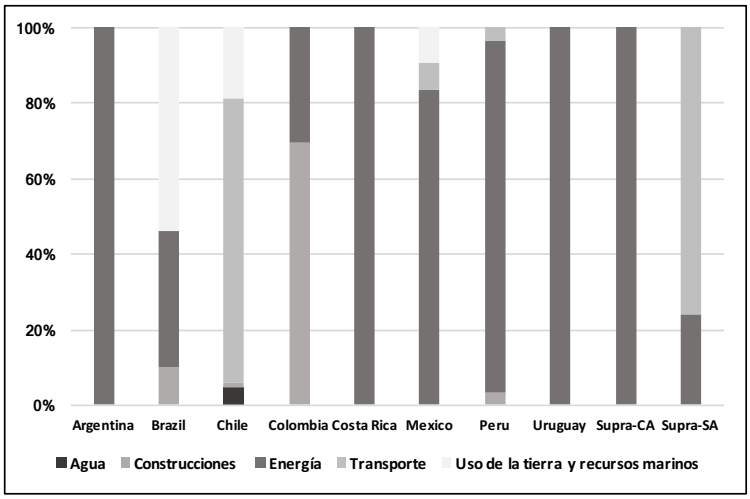


Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

3.A.2.2. Sectores por país

Al desglosar el uso de los fondos por países (figura 10), la energía es la categoría más financiada en casi todos los países. La mayor excepción es Chile, donde los sectores del transporte y el uso de la tierra son los mayormente financiados. La energía tampoco es la mayor categoría en Colombia, donde los bancos emisores han financiado una gran cantidad de proyectos de edificios verdes. En cuanto a Brasil, es el uso de la tierra y los recursos marinos el sector más importante, debido a los emisores productores de pulpa y de papel.

Figura 10: Uso de los fondos por país (2014-2019)



Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

3.A.2.3. Bonos multisectoriales

Más de un tercio de los 57 bonos seleccionados financiaron proyectos en varios sectores de la taxonomía del CIB. La segmentación de las figuras 9 y 10 incluye únicamente a los subsectores de la segunda etapa del desglose sectorial realizado en el primer capítulo (tabla 6). Si bien la mayor parte de los bonos multisectoriales financiaron proyectos únicamente en dos sub-sectores dentro del mismo sector (como, por ejemplo, energía eólica e hidroeléctrica), algunos dedicaron los recursos a varios sectores completamente diferentes. A continuación, se presentarán dos casos de bonos verdes que financiaron más de dos subsectores:

a) *Bonos soberanos de la República de Chile*

   La República de Chile emitió los dos primeros bonos verdes soberanos de LAC en junio y julio de 2019. La mayor parte de los ingresos se destinaron a financiar el transporte público (95%), y una menor parte a proyectos de agua y energía (5%). Los informes de asignación de fondos publicados (con nivel de detalle ampliado) expresan predominantemente el impacto en términos de emisiones evitadas (toneladas de $CO_{2\text{-}eq}$). Algunos ejemplos de proyectos financiados:

   - Construcción de la nueva línea 7 del metro de Santiago (26 km) y ampliaciones de las líneas 3 (4 km) y 5 (5 km), así como la refinanciación de la construcción de la línea 3 (22 km);
   - Proyecto de electromovilidad que incluye la incorporación de 600 nuevos autobuses eléctricos, nueve estaciones de carga y más de 140 paradas de autobús inteligentes en Santiago;
   - Edificios públicos verdes;
   - Instalación de paneles solares en viviendas sociales y edificios públicos;
   - Seguimiento, análisis e investigación sobre estrategias de conservación de los recursos hídricos (Gobierno de Chile, 2022)

b) *Bono corporativo de la empresa BRF S.A. (Brasil)*

   BRF S.A., una de las mayores empresas alimentarias del mundo, emitió el primer bono brasileño en 2015. Los informes de asignación de fondos publicados (con nivel de detalle ampliado) revelan inversiones en proyectos que abarcan diversas categorías de la taxonomía del CBI, convirtiéndolo en uno de los de los bonos verdes más variados de la muestra. Si bien a los sectores a los cuales se destinaron la mayor cantidad de recursos son la eficiencia energética (30%), el tratamiento de residuos (24%) y la

silvicultura comercial (23%), también se destinaron fondos a la energía renovable y a la infraestructura hidráulica, entre otros. Algunos ejemplos de proyectos financiados, con su respectivo impacto, son:

- Implantación de regeneradores en Mineiros (Brasil) para reducir el consumo de electricidad: reducción del 30% del consumo de energía.
- Producción de biomasa para producir energía a partir de fuentes renovables con un proyecto de desarrollo de plantaciones de eucalipto gestionadas de forma sostenible: 1.398 hectáreas plantadas y 518 toneladas de eucalipto recogido.
- Optimizar y controlar la demanda de agua en los procesos industriales: reducción del 1,6% el consumo absoluto de agua entre 2019 y 2020; tasa de retorno de agua al medio ambiente del 84,2% (BRF S.A., 2021).

3.A.3. Características de los bonos verdes

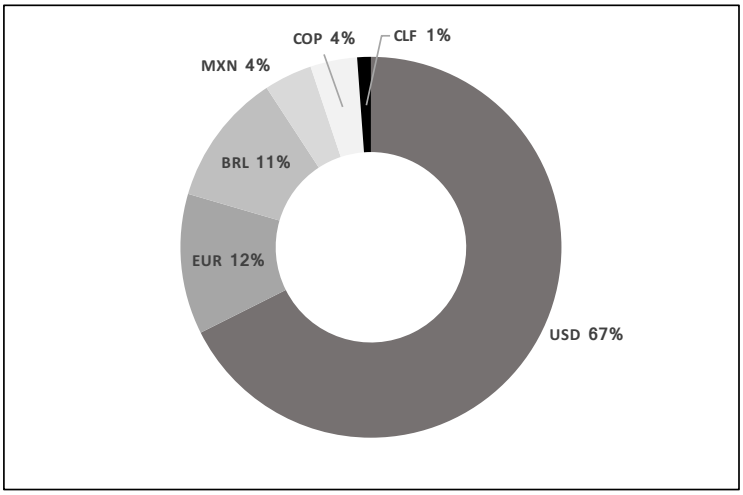
Las características de estos instrumentos de deuda se especificaron en el capítulo anterior. Entre las principales se encuentran: la moneda de denominación, la fecha de vencimiento, el monto emitido, el tipo de emisor y el diferencial de rendimiento. Dentro de este análisis descriptivo es importante detallar estos elementos de los bonos verdes emitidos durante el período seleccionado.

3.A.3.1. Moneda de denominación

El 79% del volumen de emisión de bonos verdes de LAC se realizó en divisas fuertes, en comparación con sólo el 34% del mercado general de bonos de la región (es decir, incluyendo los bonos convencionales) durante las mismas fechas. Debido a la elevada demanda internacional, la volatilidad de las divisas locales y los estrechos vínculos con EE.UU., el 67% de las emisiones de bonos verdes de LAC se realizaron en USD, más que en ninguna otra región, excluyendo Norteamérica. Esto sólo es cierto para el 47% de los bonos por recuento, es decir el dominio del dólar americano se aplica sobre todo a las grandes operaciones, más atractivas para los inversores internacionales. Las emisiones en USD dominan en todos los países con excepción de Colombia, donde los cinco bonos verdes fueron denominados en pesos colombianos. Durante este período, únicamente BRF S.A. y el segundo bono soberano de Chile fueron emitidos en euros (EUR), aunque su tamaño relativamente grande se traduce en un 12% del mercado por importe. A medida que se desarrollan los mercados de capitales de LAC, se espera que los emisores que generan la mayor parte de sus ingresos en monedas locales

favorezcan la emisión en esas mismas monedas (Climate Bonds Initiative, 2019a). La siguiente figura resume la repartición por divisas:

Figura 11: Desglose por divisas (LAC: 2014-2019)

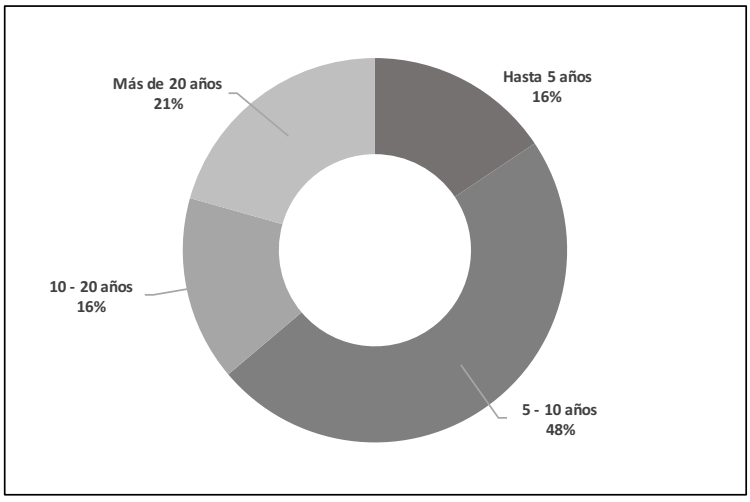


Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

3.A.3.2. Fecha de vencimiento

El plazo de vencimiento original medio entre 5 y 10 años fue el preferido de los emisores ya que, como lo muestra la figura 12, casi la mitad de las emisiones de LAC fueron en este rango (48%), por encima de la media mundial (37%). En cuanto a la categoría de vencimiento hasta 5 años, la cuota de LAC es considerablemente inferior (21%) al resto del mundo (35%).

Figura 12: Desglose por fecha de vencimiento (LAC: 2014-2019)



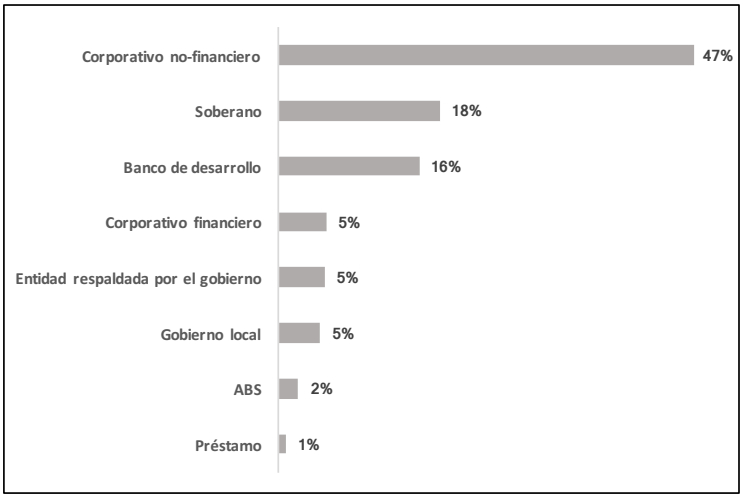
Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

La proporción de bonos con vencimiento largo es mayor en LAC que en el resto del mundo, impulsada por la gama de "más de 20 años". Esta importante proporción se debe al bono soberano de la República de Chile de 1.400 millones de USD, con fecha de vencimiento en 2050. La deuda con términos largos es especialmente adecuada para financiar proyectos a largo plazo, intensivos en capital y a gran escala, como el transporte y las infraestructuras. También se adaptan bien a los horizontes largos de los inversores de los fondos de pensiones, y suelen atraer una buena demanda de los inversionistas, ya que existen menos bonos a largo plazo que a corto plazo (Climate Bonds Initiative, 2019a).

3.A.3.3. Tipos de emisores y montos emitidos

Los bonos soberanos, los corporativos no financieros y los de los bancos de desarrollo representan 81% del volumen de emisiones. Hasta agosto de 2019, Chile era el único país de la zona LAC en haber emitido un bono soberano. Solo dos países contaban con bonos de gobiernos locales -Argentina y México- con las emisiones de la Provincia de la Rioja, la Provincia de Jujuy y la Ciudad de México. Además, dos entidades respaldadas por el gobierno salieron al mercado: Banco Nacional de Costa Rica e ISA CTEEP en Brasil. Cinco bancos de desarrollo nacionales de cuatro países diferentes también figuran en la muestra: BNDES de Brasil, NAFIN y FIRA de México, Bancóldex de Colombia y Cofide de Perú. A estos se juntaron tres bancos de desarrollo supranacionales: CAF, CABEI y CIFI. La figura 13 indica la descomposición por tipo de emisores.

Figura 13: Desglose por tipo de emisores (LAC: 2014-2019)



Fuente: Climate Bonds Initiative, (2019b), elaboración propia

El tamaño medio de las emisiones fue de 228 millones de USD, con una mediana de 108 millones de USD. El instituto Climate Bonds Initiative (2019a) indica que, durante el mismo periodo, el tamaño medio de las operaciones en LAC fue considerablemente superior a la media mundial (134 millones de USD). Sin embargo, las cifras globales están sesgadas debido a los pequeños bonos municipales en Estados Unidos y a las numerosas pequeñas operaciones titulizadas del emisor Fannie Mae. Excluyendo estos bonos, la media mundial sube a 291 millones de USD. Once de las 57 operaciones de LAC (19%), que representan el 61% del monto total, son emisiones de referencia, es decir, de al menos 500 millones de USD.

En cuanto al diferencial de rendimiento de los bonos latinoamericanos emitidos durante este período, tanto a nivel absoluto como relativo con respecto a los bonos convencionales del mismo emisor, es un análisis que va más allá del marco de esta tesis. Los estudios de Arellano Cadena y Pérez Delgado (2019), Uribe Giraldo (2019), Durán Quintana y Morales Zamora (2020) citados en el segundo capítulo, incluyen a varios de los bonos verdes de la muestra utilizada. Estas tres investigaciones demostraron que los bonos verdes en Latinoamérica se colocaron con un rendimiento de vencimiento inferior al de los bonos convencionales.

3.A.4. Conclusiones

En esta primera parte del capítulo se ha cumplido con el primer objetivo de la tesis, que es describir las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, desde 2014 hasta 2019. Tal como el resto de los mercados, las emisiones de bonos verdes latinoamericanos aumentaron considerablemente tras la Conferencia sobre el Clima de Paris (COP 21). Sin embargo, debido a factores propios de la región, el volumen de operaciones sufrió un freno en 2018, resorbido totalmente en los primeros ocho meses del año siguiente. El análisis en términos de repartición geográfica mostró que Brasil es el país que más bonos ha emitido en la región (22 bonos, 43% del monto equivalente en dólares emitido), seguido de Chile con siete emisiones (24% del monto) y México con siete emisiones (11% del monto). El estudio descriptivo también permitió identificar a las empresas privadas y los bancos de desarrollo como el tipo de emisores que más operaciones realizaron: 40 bonos sobre 57, que representan 63% del volumen emitido. En lo que se refiere a la moneda de emisión de los bonos verdes de LAC, se precisó que el 79% del volumen se realizó en divisas fuertes (EUR y USD), la mayor parte en dólares estadounidenses (67%). En cuanto a las fechas de vencimiento, el 84% de los bonos se emitieron con plazos de vencimiento superiores a cinco años, generando

deudas con términos largos idóneas para financiar proyectos que toman tiempo en realizarse. El análisis del uso de los fondos es el que permitió determinar qué tipos de proyectos se financian, siendo el sector de la energía el que más fondos recibió de la muestra, con más de 40% de los ingresos de los bonos verdes de LAC destinados a proyectos renovables. Son precisamente estos proyectos que se trabajarán en detalle en la siguiente parte del capítulo, dando cuenta del segundo objetivo específico de esta tesis.

Parte B – Ecoeficiencia de los proyectos financiados

El segundo objetivo específico de la presente investigación es determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos. La base de datos enviada por el organismo Climate Bonds Initiative (2019b) únicamente incluía un resumen del uso de los fondos, que mencionaba cuales de los ocho sectores de la actividad económica de su taxonomía se habían financiado, sin dar detalle alguno sobre las proporciones en caso de ser bonos con proyectos multisectoriales. Para determinar los proyectos a analizar, se tuvo que desarrollar una clasificación sectorial en tres etapas que fue presentada en la parte metodológica y que permitió establecer a qué subsector de la Taxonomía del CBI pertenecían los proyectos más importantes financiados con los 56 bonos y el préstamo verde de la muestra.

3.B.1. Recolección de datos sectoriales

El punto de partida de la clasificación sectorial fueron los informes de asignación de fondos. Una de las características distintivas más importantes de los bonos verdes y en la que se puso mayor énfasis durante la revisión teórica, son los informes anuales que los emisores deben poner a disposición de los inversores y que deben incluir: las informaciones sobre el uso de los fondos, una lista de los proyectos a los que se han asignado los fondos, una breve descripción de los proyectos, las cantidades asignadas y su impacto esperado. De los 44 emisores de la muestra, tan solo 25 publicaron reportes de asignación de fondos, de los cuales 17 con un nivel de detalle ampliado y siete con nivel condensado. Estos informes se encontraron en las páginas web corporativas de los emisores, algunas de las cuales ponen incluso a disposición una sección dedicada exclusivamente a los bonos verdes (como por ejemplo el Gobierno de Chile). Los informes que no se encontraron con esta fuente, fueron solicitados a los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas. Esta iniciativa tuvo poco éxito ya que se constató que los emisores o disponen de estos informes y los publican, o no disponen de reportes.

Tal como se describió en el marco teórico, los reportes con nivel de detalle *ampliado* proporcionaron las informaciones sobre los nombres y los sectores de los proyectos financiados, necesarias para medir la ecoeficiencia. Además, estos informes aportaron los datos del volumen evitado de emisiones de GEI, medido en términos de toneladas de equivalentes de

CO_2/año, indispensables para lograr los objetivos específicos que se desarrollarán en el capítulo 4. En tan solo ocho de los 17 informes con detalle ampliado se mencionan a los indicadores de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. La plantilla del informe de impacto del bono verde del Banco Centroamericano de Integración Económica (CABEI) figura en el anexo 6 como ilustración de los datos publicados en de este tipo de informes. En cuanto a los reportes con nivel de detalle *condensado*, estos aportaron esencialmente informaciones sectoriales. En varios casos, las plantillas con las informaciones sobre los bonos verdes formaban parte de una sección dentro de los informes globales de sostenibilidad de los emisores, sin tener un informe exclusivo para la deuda verde (como es el caso de los bonos del Grupo Bancolombia). En el anexo 6, un extracto del informe anual de seguimiento del bono verde de BBVA México ilustra las plantillas condensadas. Para 22 instrumentos de deuda de la muestra no se obtuvieron datos de esta fuente debido a la falta de publicación o la no puesta a disposición de los inversionistas de los informes post-emisión de asignación de los fondos recaudados.

Para las emisiones que no disponían de reportes detallados de asignación de fondos, se recurrió a la segunda fuente de datos secundarios de esta investigación: los folletos de emisión de bonos. Estos folletos se encontraron en la sección de relaciones con los inversionistas de las páginas web de los emisores y, en el caso de los bonos brasileños, en el sitio financiero especializado de ANBIMA. Se consultaron en total 18 folletos de los cuales se extrajeron informaciones sobre los nombres y los sectores de los proyectos financiados. En ciertos casos como el de Energía Eólica (Perú), el folleto de emisión hasta proporcionó ciertos datos técnicos sobre los proyectos financiados.

Las revisiones externas, otra de las particularidades que caracterizan los bonos verdes que definimos previamente, constituyeron la tercera fuente de datos secundarios que permitió completar la clasificación sectorial. Sobre el préstamo y los 56 bonos verdes de la muestra, se lograron reunir en total 38 documentos de revisiones externas, de los cuales las opiniones de segundas partes (SPO) representan el 63%, el resto siendo calificaciones y verificaciones repartidas con la misma proporción. Si se mira más en detalle estas cifras por el tipo de proveedores, se trata de 24 SPO (17 realizadas por Sustainalytics, cinco por Sitawi y dos por Vigeo Eiris), siete calificaciones (S&P Global con cuatro y Moody's con tres) y siete verificaciones (una de EY, el resto de Vigeo Eiris). Únicamente 12 bonos obtuvieron una certificación por parte del CBI. A excepción del bono de Eólica Mesa Paz (México) para el cual se dispuso de dos calificaciones, se tuvo acceso a una sola revisión externa para cada programa

o bono verde. Todas las revisiones consultadas fueron realizadas previamente a las emisiones, por lo cual, al igual que con los folletos de bonos, proporcionaron informaciones sectoriales de los proyectos financiados y ciertos indicadores básicos específicos del sector. Estos documentos se encontraron en las páginas web de los emisores, en las secciones de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas.

Tabla 10: Documentos asociados a los emisores de bonos verdes de la muestra

#	Emisor	Informes de Asignación			Folletos de Emisión	Revisiones Externas			Certificación CBI
		Si/No	Condensado	Ampliado		Si/No	Nombre	Tipo	
1	Banco Galicia	N	N	N	S	N			N
2	Province of Jujuy	N	N	N	S	S	Sustainalytics	SPO	N
3	Province of La Rioja	N	N	N	S	S	Standard & Poors	Calificación	N
4	Province of La Rioja								N
5	AES Tiete	S	S	N	S	S	Vigeo Eiris	Verificación	S
6	Athon Energia	N	N	N	N	S	Sitawi	SPO	N
7	BNDES	S	N	S	S	S	Sustainalytics	SPO	N
8	BRF SA	S	N	S	S	S	Sustainalytics	SPO	N
9	Celulose Irani	N	N	N	N	S	Sitawi	SPO	N
10	CPFL Energias Renovaveis	N	N	N	N	S	Vigeo Eiris	Verificación	S
11	Enel	N	N	N	S	S	Vigeo Eiris	Verificación	S
12	Fibria	S	N	S	S	S	Sustainalytics	SPO	N
13	ISA CTEEP	S	N	S	S	S	Sitawi	SPO	N
14	Klabin	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
15	Klabin								N
16	Neoenergia (Iberdrola)	N	N	N	N	S	Sitawi	SPO	N
17	PEC Energia	N	N	N	S	S	Vigeo Eiris	Verificación	N
18	Potami Energia (OMEGA 2)	N	N	N	S	S	Vigeo Eiris	Verificación	S
19	Potami Energia (OMEGA 1)								S
20	Rio Energy II	N	N	N	S	S	Vigeo Eiris	Verificación	S
21	Rio Energy I								S
22	Suzano Papel e Celulose	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
23	Suzano Papel e Celulose (2017)								N
25	Suzano Papel e Celulose (2016)								N
24	Suzano Papel e Celulose								N
26	Taesa	N	N	N	S	S	Sitawi	SPO	N
27	Agrosuper	N	N	N	N	N			N
28	Aguas Andinas	S	N	S	N	S	Vigeo Eiris	SPO	N
29	Aguas Andinas								N
30	Banco de Chile	N	N	N	N	N			N
31	CMPC	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
32	Republic of Chile	S	N	S	S	S	Vigeo Eiris	SPO	S
33	Republic of Chile								S
34	Bancoldex	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
35	Bancolombia (2)	S	S	N	N	N			N
36	Bancolombia (1)								N
37	Davivienda	S	S	N	N	N			N
38	EPSA	S	S	N	N	S	EY	Verificación	S
39	Banco Nacional de Costa Rica	S	S	N	N	S	Moody's	Calificación	N
40	BBVA Bancomer	S	S	N	S	S	Sustainalytics	SPO	N
41	Eolica Mesa Paz wind farm	N	N	N	N	S	Standard & Poors	Calificación	N
42	FIRA	S	N	S	S	S	Sustainalytics	SPO	S
43	Mexico City (2)	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
44	Mexico City (1)								N
45	Nafin (2) MXN	N	N	N	N	S	Sustainalytics	SPO	N
46	Nafin (1) USD	S	S	N	N	S	Sustainalytics	SPO	S
47	Cofide	S	N	S	N	N			N
48	Consorcio Transmantaro S.A.	S	N	S	S	S	Moody's / Standard & Poor	Calificación	N
49	Energia Eolica	N	N	N	S	N			N
50	Ergon Perú	N	N	N	N	S	Standard & Poors	Calificación	N
51	PROTISA Peru (CMPC)	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
52	Atlas Renewable Energy	N	N	N	N	S	Moody's	Calificación	N
53	CABEI	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
54	CAF	S	N	S	N	S	Sustainalytics	SPO	N
55	CAF								N
56	CAF								N
57	CIFI	S	S	N	N	S	Sustainalytics	SPO	N
	TOTAL	**25**	**8**	**17**	**18**	**37**			**12**

Fuente: elaboración propia.

En total se consultaron 80 publicaciones, y como lo detalla la tabla 10, se halló por lo menos uno de estos tres tipos de documentos para cada bono verde de la lista, a excepción del préstamo verde de Agrosuper.

A partir de los datos conseguidos con estas tres fuentes secundarias, el resultado de la clasificación fueron 75 tipos de proyectos elegibles, dentro de 16 subsectores diferentes (tabla número 8 del primer capítulo). Tal como se mencionó en la parte descriptiva de este capítulo, el sector de la energía fue el más financiado con más de 40% de los ingresos de los bonos verdes de LAC, lo que corresponde a 17 proyectos de energía eólica, siete de solar y cuatro de trasmisión y distribución. Es lógicamente hacia este sector que la presente investigación decidió enfocarse, teniendo en cuenta su preponderancia en la muestra.

3.B.2. Ecoeficiencia de los proyectos de energía eólica

El cálculo de la ecoeficiencia relativa de los proyectos eólicos requirió la recolección de una serie de datos técnicos de los proyectos, indispensables para aplicar las teorías y los métodos expuestos previamente. La siguiente sección desarrolla los resultados de la metodología expuesta en el primer capítulo para la obtención de estos datos específicos.

3.B.2.1. Características de los campos eólicos financiados

Los 17 proyectos mencionados en la sección anterior hacen referencia a 17 bonos de la muestra lanzados al mercado por 14 emisores diferentes[46]. Estos bonos financiaron proyectos del subsector energía eólica que representaron más del 22% de los fondos recaudados.

3.B.2.1.1. Informes y documentos de bonos verdes

Los "proyectos" corresponden en su mayoría a varios campos eólicos que fueron financiados total o parcialmente con los recursos de los bonos. Consecuentemente, la primera etapa para calcular la ecoeficiencia relativa consistió en determinar el número exacto y los nombres respectivos de todos los campos eólicos financiados. Esta información se encontró gracias a los datos publicados por las tres fuentes de datos secundarios revisadas, con tres excepciones: la primera fue el bono de BBVA México (bono número 40 del anexo 2) para el cual los informes de asignación de fondos únicamente mencionaban la existencia de 3 proyectos eólicos. Las

[46] El segundo bono de la Provincia de La Rioja (diciembre de 2017) al ser una emisión "tap" y al financiar el mismo proyecto que el bono original, es considerado como una sola emisión en esta sección.

otras dos excepciones fueron los bonos de NAFIN (bonos número 45 y 46 del anexo 2) para los cuales, si bien los reportes mencionaban la lista de campos eólicos, en vez de citar el nombre exacto del proyecto, se referían a estos usando los nombres de los Estados mexicanos donde están situados los campos. En conjunto, los bonos de la muestra financiaron total o parcialmente 92 campos eólicos. La tabla 11 ilustra el caso del bono verde del Banco Nacional de Costa Rica (BNCR) donde 40% de los fondos recaudados se utilizaron para financiar cinco campos eólicos diferentes.

Tabla 11: Proyectos eólicos del bono verde del BNCR

Banco Nacional de Costa Rica
Proyecto Eólico los Santos
Proyecto Eólico Fila Mogote
Proyecto Eólico Chiripa
Proyecto Eólico Tilawind
Proyecto Eólico Cacao
Proyecto Eólico los Santos

Fuente: (BNCR, 2021), elaboración propia

3.B.2.1.2. Cuestionarios a los emisores

El cálculo de la ecoeficiencia necesita datos técnicos que no figuran en las tres fuentes secundarias, como el factor de planta, los resultados del ACV de las turbinas o los cálculos del costo total de la electricidad producida desde el punto de vista del cliente. Para acceder a estas informaciones, se enviaron cuestionarios auto-administrados e individuales, por correo electrónico, a los responsables de los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas de los emisores. Los cuestionarios se adaptaron en función de los datos obtenidos con las fuentes secundarias (en el caso de BBVA México y de NAFIN, se solicitó los nombres exactos de los proyectos financiados). Los indicadores solicitados fueron los siguientes:

- Aerogeneradores (turbinas eólicas): fabricante, modelo, número de turbinas en el campo y potencial de calentamiento global (PCG).
- Electricidad producida: factor de planta, energía total generada (MW/h) y costo o precio (USD/MWh).
- Las emisiones de GEI ($tCO_{2\text{-}eq}$/año) evitadas a causa de los proyectos eólicos.

El anexo 4 incluye el cuestionario remitido a la persona a cargo del informe sobre bonos verdes del BNCR. Cuestionarios similares fueron enviados por correo electrónico a 12 de los 14

emisores. No fue necesario contactar con el Gobierno de la Provincia de La Rioja puesto que se obtuvo en internet una presentación realizada por esta Administración con varios detalles técnicos sobre el proyecto financiado, el campo eólico Arauco II (Gobierno de La Rioja, 2020). En cuanto al bono de la empresa peruana Energía Eólica, filial de la americana ContourGlobal, no se encontró un interlocutor idóneo para realizar esta consulta. La siguiente tabla sintetiza las comunicaciones que se mantuvieron con los emisores:

Tabla 12: Seguimiento de los cuestionarios enviados a los emisores de proyectos eólicos

#	Emisor	Relaciones con los inversores (RI) / Departamentos de sostenibilidad						Otros Contactos o Fuentes	
		Contactado	Respuesta	Utilidad	# Correos Enviados	# Correos Recibidos	# Llamadas	Si/No	Tipo
1	Province of La Rioja Province of La Rioja	N	N	N	0	0	0	S	Presentación Provincia
2	BNDES	S	S	S	3	1	0	N	
3	CPFL Energias Renovaveis	S	S	N	13	6	3	S	WhatsApp RI
4	Enel	S	N	N	5	0	5	N	
5	Neoenergia (Iberdrola)	S	N	N	4	0	2	N	
6	PEC Energia	S	S	N	9	6	0	S	NDA
7 8	Potami Energia (OMEGA 2) Potami Energia (OMEGA 1)	S	S	N	1	0	1	S	WhatsApp RI Externo Machina Cohn Wolfe
9 10	Rio Energy II Rio Energy I	S	S	N	4	3	0	N	
11	Banco Nacional de Costa Rica	S	N	N	2	0	2	S	LinkedIn RI
12	BBVA Bancomer	S	S	N	10	6	1	S	BBVA Madrid
13	Eolica Mesa Paz wind farm	S	N	N	2	0	0	N	
14 15	Nafin (2) MXN Nafin (1) USD	S	S	N	6	3	2	N	
16	Energia Eolica	N	N	N	0	0	0	S	Comunicados, Web
17	CABEI	S	S	N	2	1	0	N	
	TOTAL	**12**	**8**	**1**	**61**	**26**	**16**	**7**	

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 plantea una observación contundente sobre los cuestionarios. Si bien se obtuvieron respuestas de dos tercios de los emisores contactados, únicamente el banco de desarrollo brasileño BNDES envió todos los indicadores solicitados. Al lado opuesto, el departamento de relaciones con los inversionistas de BBVA México, pese a relanzarlo varias veces, no comunicó ni siquiera el nombre completo de los campos eólicos financiados. Ante varias negativas, se contactó con la casa matriz en España, quien puntualizó que únicamente la filial en México es la que tiene acceso a ese tipo de informaciones. El caso de NAFIN fue similar, puesto que los interlocutores enviaron un enlace electrónico hacia una plataforma gubernamental, inaccesible desde el extranjero. En varios casos, con el objeto de obtener respuestas consistentes para los cuestionarios, se reactivó a los responsables de los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas de los emisores por vía telefónica, la aplicación WhatsApp® o por la red social LinkedIn®, sin mucho éxito. La empresa brasileña PEC Energía accedió a comunicar los datos únicamente si se firmaba un acuerdo de confidencialidad (“non-disclosure agreement” o “NDA” en inglés). Durante toda esta etapa, se constató que el personal de estos

departamentos no está familiarizado con los detalles técnicos de los proyectos y que tuvo dificultades para relacionar al investigador con las unidades operativas.

3.B.2.1.3. Expertos

A fin de desbloquear esta situación y de obtener los datos necesarios, se contactó a varios expertos en temas medioambientales: tres del mundo académico y un profesional con experiencia en proyectos eólicos y solares. Un solo experto del mundo académico respondió a la solicitud, orientándonos hacia tres grandes agencias internacionales: la Agencia Internacional de Energía (IEA), la World Wind Energy Association (WWEA) y la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA[47]). Conociendo ya el tipo de datos publicados por la IEA, se indagó sobre las publicaciones de las dos otras organizaciones. La WWEA es una organización internacional sin fines de lucro que trabaja para la promoción y el despliegue mundial de la tecnología de la energía eólica con más de 600 miembros en 100 países (GreenFacts, 2023c). El IRENA es una organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible y que sirve como la principal plataforma para la cooperación internacional, alentando la adopción generalizada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable (bioenergía, hidroeléctrica, solar, eólica, etc.) (GreenFacts, 2023a). Las demandas realizadas a esta agencia no obtuvieron respuesta.

El profesional del sector medioambiental accedió a conceder una entrevista para esta investigación. Sobre la falta de transmisión de datos por parte de los patrocinadores de los proyectos eólicos, al experto le pareció totalmente normal puesto que, en muchos casos, los datos sobre la economía del proyecto son considerados como "información sensible", en particular los temas de precios. Además, y de su experiencia personal, generalmente son empresas o filiales pequeñas y el personal simplemente "no dispone de tiempo" para responder a solicitudes como las de este estudio. Su principal recomendación para la obtención de datos fue que se los solicite a agrupaciones del sector como la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) o que se recurra a bases de datos especializadas como Standard & Poor's o BloombergNEF.

[47] Por las siglas de su denominación en inglés, International Renewable Energy Agency.

3.B.2.1.4. Base de datos Bloomberg NEF

La base de datos Bloomberg New Energy Finance (también llamada BloombergNEF) dispone de varias herramientas. La denominada "Energía Limpia" fue de particular interés para la presente investigación puesto que, dentro de esta, la sección "Seguimiento del impacto del proyecto" recopila datos sobre más de 76 mil proyectos eólicos y solares en los cinco continentes. Para cada campo eólico, la base dispone de informaciones completas sobre la situación geográfica, la identidad, los accionistas y la cronología del proyecto. En especial, existen datos precisos sobre la capacidad nominal (kW), la electricidad total generada (kWh), los aerogeneradores (número, fabricante y modelo) y las emisiones evitadas ($tCO_{2\text{-}eq}$/año). Además, en muchos casos, la información sobre el precio al que se vendió la electricidad (USD/MWh) también es publicada. Todo este contenido permitió completar los vacíos generados por los cuestionarios puesto que los datos que no se recibieron, o figuran en la base, o pueden ser calculados con las cifras publicadas, con excepción del potencial de calentamiento global (PCG). Sin embargo, el hecho de conocer el modelo exacto de las turbinas empleadas en los campos permitió más adelante solicitar los resultados del análisis de ciclo de vida (ACV) a los constructores.

En BloombergNEF se consiguieron únicamente los datos de los campos eólicos para los que se disponía el nombre exacto. En el caso de los proyectos de los bonos de NAFIN, con la ayuda de la capacidad nominal (kW) y la localización geográfica publicadas en el informe de asignación de fondos para el bono en USD (Nacional Financiera, 2018) y en la opinión de segundas partes para el bono en MXN (Sustainalytics, 2011), se logró encontrar en BNEF diez de los doce campos financiados. Se eliminaron los tres proyectos financiados por BBVA México, al igual que seis de los 9 proyectos financiados por CPFL Energias Renovaveis (bono número 10 del anexo 2) que no figuraban en la base de datos. En esta etapa de la investigación, se conservaron 81 campos eólicos.

3.B.2.1.5. Cuestionarios a los constructores

La base de datos BNEF permitió determinar el número total y el modelo exacto de los aerogeneradores utilizados en los campos eólicos estudiados. Estos fueron comparados con otras bases como Power-technology.com y Thewindpower.net que también facilitan estas informaciones sobre los campos eólicos. En total, como lo detalla la tabla 13, se identificaron 30 modelos de turbinas, de nueve constructores diferentes:

Tabla 13: Modelos de aerogeneradores

Constructor	Modelos de Turbinas	Rango de Potencia Nominal
Nordex Acciona	3	1.5 - 3 MW
General Electric	7	1.7 - 2.7 MW
Siemens Gamesa	10	0.85 - 3.47 MW
Suzlon	1	2.1 MW
Vestas	5	1.8 - 3.45 MW
Enercon	2	2.35 MW
WEG	1	2.1 MW
Goldwind	1	2.5 MW
Envision	1	2.5 MW

Fuente: BloombergNEF, elaboración propia

Una vez los modelos claramente identificados, se contactó a los fabricantes solicitándoles los informes del análisis de ciclo de vida de las turbinas correspondientes. La siguiente tabla sintetiza las comunicaciones que se mantuvieron con los constructores:

Tabla 14: Seguimiento de los cuestionarios enviados a los constructores de aerogeneradores

#	Constructor	Relaciones con los inversores (RI)						Otros Contactos o Fuentes	
		Contactado	Respuesta	Utilidad	# Correos Enviados	# Correos Recibidos	# Llamadas	Si/No	Tipo
1	Nordex Acciona	S	N	N	3	0	2	N	
2	General Electric	S	N	N	3	0	1	N	
3	Siemens Gamesa	S	S	S	5	2	2	N	
4	Suzlon	S	N	N	3	0	1	N	
5	Vestas	N	N	N	0	0	0	S	Informe de ACV
6	Enercon	S	N	N	2	0	1	S	Informe sostenibilidad
7	WEG	S	N	N	1	0	0	N	
8	Goldwind	S	N	N	1	0	0	N	
9	Envision	S	N	N	1	0	0	N	
	TOTAL	**8**	**1**	**1**	**19**	**2**	**7**	**2**	

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos fueron igual de decepcionantes que en el caso de los cuestionarios enviados a los emisores: sobre las ocho empresas contactadas, únicamente Siemens Gamesa respondió a la solicitud. El departamento de relaciones con los inversionistas de esta empresa solo disponía del ACV para cinco de los diez modelos que constan en la lista. No hubo necesidad de contactar con el constructor danés Vestas, puesto que este publica los informes sobre el ACV de todas sus turbinas. En cuanto a la empresa alemana Enercon, el PCG de ciertos de sus modelos estaban mencionados en el informe de sostenibilidad de la compañía. En total, se consiguieron datos sobre el potencial de calentamiento global de 11 aerogeneradores sobre los 30.

3.B.2.1.6. Estimación del PCG

Con el propósito de incluir en el análisis los parques eólicos que se construyeron con los 19 modelos para los cuales los constructores no enviaron la información sobre el ACV, se estimó el PCG de los aerogeneradores utilizando el estudio de Bhandari et al. (2020). A modo de recordatorio, los autores determinaron las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de diferentes tecnologías de energía eólica utilizando la metodología del ACV. La investigación se centró sobre tres enfoques de energía eólica: los parques eólicos terrestres, marinos y la turbina eólica única.

El conjunto de proyectos financiados con los fondos de los bonos verdes de la muestra siendo parques eólicos terrestres, se utilizó la ecuación (3) de la sección 2.B.2.1., reproducida a continuación:

$$\text{PCG [g/kWh]} = -7{,}671 \times \ln(\text{REA [GWh]}) + 22{,}323$$

Para calcular el rendimiento energético anual (REA), se multiplicó el factor de planta (%) por la potencia nominal (kW). El factor de capacidad se computó dividiendo la energía total generada (kWh) por la capacidad nominal (kW) multiplicada por el número de horas anuales, dos categorías de datos que generalmente fueron recuperados de los informes anuales de seguimiento o de Bloomberg NEF. La lista completa de los 81 campos eólicos, con el PCG de sus turbinas figuran en el anexo 7.

3.B.2.1.7. Estimación del CCV

Previamente se expuso que para el análisis de la ecoeficiencia es necesario determinar del costo total desde el punto de vista del cliente final. Igualmente, el trabajo de Heijungs et al. (2013) menciona que todos los costos que se soportan secuencian arriba en una determinada etapa de la cadena de suministro, se resumen en el precio de cualquier bien o servicio adquirido en esa etapa. A medida que se producen transacciones entre los agentes que operan en las distintas fases, el flujo de costos resultante imita conceptualmente el flujo de materiales y otros insumos a lo largo de la cadena. Sobre esta base, el precio de venta al cliente final se asimiló al costo de ciclo de vida de la electricidad.

A fin de entender el funcionamiento de los precios en el mercado de la electricidad de la energía renovable, se realizó una segunda entrevista con el experto del sector. Los precios generalmente

se determinan mediante un PPA ("Power Purchase Agreement" en inglés) que es un acuerdo de compraventa de energía limpia a largo plazo, a un precio prefijado, entre el productor de energía renovable y un consumidor final (por ejemplo, las empresas grandes) o un comercializador que revenderá la energía. Otro tipo de precios son los que se realizan mediante subastas en los mercados liberalizados. El LCOE, contrariamente a las subastas o a los PPA, es un precio teórico, calculado utilizando diversas hipótesis. Sin embargo, el trabajo revisado anteriormente de Santa Catarina (2022), puntualizó que el LCOE es el costo total de producir 1 kWh, o sea un concepto de costo del ciclo de vida, que trata de contabilizar todos los activos físicos y recursos necesarios para producir una unidad de electricidad. En base de estos conceptos y teorías, los precios de venta de la electricidad que se emplearon para el análisis de la ecoeficiencia de los 81 campos eólicos fueron: (i) los comunicados por los emisores directamente o en sus informes; (ii) los PPA encontrados en BloombergNEF; (iii) los LCOE del país y del año de puesta en marcha del proyecto; (iv) las estimaciones del experto para ciertos proyectos mexicanos, el mercado con su mayor pericia. El anexo 7 contiene los precios de todos los campos eólicos, mientras la siguiente tabla ilustra con el ejemplo del BNCR, los datos técnicos de los proyectos eólicos financiados:

Tabla 15: Características de los proyectos eólicos del bono verde del BNCR

Nombre del Proyecto	Capacidad Nominal (MW)	Factor de Planta (%)	Energía Generada (kWh)	PCG - ACL ($KgCO_2/MWh$)	Precio de Venta (USD/MWh)
Proyecto Eólico los Santos	12,75	25,97%	29 010	17,3	114
Proyecto Eólico Fila Mogote	21	35,18%	64 720	5,3	98
Proyecto Eólico Chiripa	49,51	46,11%	200 000	8,5	114
Proyecto Eólico Tilawind	21	28,33%	52 120	6,9	87
Proyecto Eólico Cacao	21,15	35,28%	65 360	7,1	92
Proyecto Eólico los Santos	12,75	25,97%	29 010	17,3	114

Fuente: BNCR (2021), Vestas Wind Systems (2013), BloombergNEF, elaboración propia

En el caso concreto de este ejemplo, las fuentes de los datos fueron las siguientes:

- Informe de asignación de fondos BNCR: Nombre del proyecto y capacidad nominal.
- BloombergNEF: Energía generada, nombre de las turbinas y LCOE (eólica terrestre de Costa Rica).
- Informe del ACV de las turbinas Vestas V90-3,0 MW: PCG de dos proyectos.

El factor de planta fue calculado gracias a la capacidad nominal y a la energía generada mientras que el PCG para tres proyectos fue estimado con la ecuación de Bhandari et al. (2020).

3.B.2.2. Ecoeficiencia relativa

Tal como lo afirman Saling et al. (2002), el centro del análisis de la ecoeficiencia es siempre el beneficio específico del cliente. En la mayor parte de los casos, un cliente con necesidades y requisitos particulares puede elegir entre varios productos y procesos alternativos. En el contexto de esta elección, el análisis de ecoeficiencia compara los pros y los contras económicos y medioambientales de cada solución a lo largo de todo el ciclo de vida. Las soluciones ecoeficientes son las que proporcionan este beneficio específico al cliente de forma más impactante que otras, tanto desde el punto de vista del costo económico como medioambiental. En el caso específico de esta investigación, se trata de determinar si los encargados de tomar decisiones en términos de políticas energéticas en Latinoamérica optaron por la solución más ecoeficiente relativamente a otros proyectos alternativos.

3.B.2.2.1. Proyectos energéticos alternativos

Partiendo del postulado que la persona que tomó la decisión de financiar un proyecto eólico pudo escoger entre varias opciones, se debe determinar cuáles fueron las posibilidades que se presentaron a ella. Según el grupo de reflexión Ember[48], la producción de electricidad en LAC proviene esencialmente de las siguientes fuentes:

Tabla 16: Fuentes de generación de electricidad en LAC

Fuente	LAC	Mundo
Hidráulica	40,5%	15,3%
Gas	27,8%	22,7%
Petróleo	9,2%	2,9%
Eólica	7,4%	6,6%
Carbón	4,9%	36,2%
Bioenergía	4,7%	2,4%
Solar	3,0%	3,7%
Nuclear	2,1%	9,9%
Otras renovables	0,5%	0,3%

Fuente: Ember (2023), elaboración propia

[48] La base de Ember contiene datos anuales de generación, capacidad, emisiones, importación y demanda de electricidad de más de 200 zonas geográficas. Los datos proceden de bases de datos de organismos internacionales (EIA, Eurostat, ONU), así como de fuentes nacionales (por ejemplo, datos de la Oficina Nacional de Estadística de China).

Utilizando el tipo de fuentes de electricidad existentes en la región, se consideró que la instancia decisoria tuvo la opción entre el proyecto eólico y cinco tipos de proyectos energéticos diferentes, que representan 80% de la generación de electricidad en LAC. Para poder hacer una comparación valida con los 81 campos eólicos, fue necesario encontrar el PCG y el precio de venta de la electricidad de estas fuentes de energía. Respecto al potencial de calentamiento global, Roser (2023) indica las emisiones de GEI medidas en emisiones equivalentes de CO_2 por gigavatio a lo largo del ciclo de vida de la central eléctrica para todas las fuentes de energía citadas anteriormente, con excepción del petróleo. En cuanto a los precios de venta de cada tipo de energía, se utilizaron los LCOE medianos publicados por la Agencia Internacional de Energía (IEA & NEA, 2020). La tabla 17 sintetiza los datos técnicos para los proyectos de electricidad alternativos que se considerarán en la siguiente sección:

Tabla 17: Precios y PCG de las fuentes de electricidad alternativas

Fuente	**PCG – ACV ($KgCO_2$/MWh)**	**Precio de Venta (USD/MWh)**
Hidráulica	34	68
Gas	490	71
Bioenergía	154	118
Carbón	780	88
Nuclear	3	32

Fuente: IEA & NEA (2020), Roser (2023) elaboración propia

3.B.2.2.2. Aplicación del método de BASF

El análisis de ecoeficiencia de BASF que se desarrollará a continuación sigue el curso expuesto en la sección 2.B.5. La primera etapa consistió en la normalización de las categorías de impacto del ACV para determinar la relación entre el impacto del proceso y el impacto medioambiental total de un país o región. En este caso, se procedió a tomar los límites del sistema de la región LAC como base de referencia. Las siguientes cifras se recuperaron de la base de datos con los Indicadores del Desarrollo Mundial (IDM) del Banco Mundial (World Bank, 2023):

- Emisiones de CO_2 América Latina - 2019 (Kg $CO_{2\text{-eq}}$): 1 620 695 000 000.
- Habitantes América Latina - 2019: 645 295 804.

También fue necesario normalizar las cifras del CCV para lo cual se utilizó el producto interno bruto de la misma fuente:

- PIB América Latina - 2019 (USD): 5 622 813 152 783.

Estas cifras fueron la base para la normalización y la integración de las cifras económicas y ecológicas.

a) Proyectos alternativos hidráulicos.

La energía hidráulica es la fuente más utilizada en LAC y representa el 40,5% de la generación de electricidad de la región. Para realizar el análisis de la ecoeficiencia relativa, se supuso que los responsables de las decisiones energéticas pudieron elegir entre los proyectos eólicos estudiados y un proyecto hidráulico genérico con las características de la tabla 17. Mediante el caso concreto del campo eólico "CGE Delta 3 VIII" (proyecto número 40 del anexo 7), se dará cuenta del método utilizado. Producir un MWh de electricidad con las turbinas utilizadas resulta en un PCG de 9.2 Kg de $CO_{2\text{-}eq}$. mientras que con el proyecto hidráulico genérico en uno de 34 Kg de $CO_{2\text{-}eq}$. Los factores de normalización (FN_{PCG}) de los impactos ambientales se calcularon utilizando la ecuación (1) de la sección 2.B.5., dividiendo por las emisiones totales y multiplicando por el número de habitantes de LAC. En la presente investigación, el PCG es el único impacto ambiental estudiado por lo que la ecuación (2) no fue necesaria. Asimismo, se calcularon los factores de normalización de costos (FN_C) dividiendo los precios de las dos opciones (55,17 y 68 USD/MWh respectivamente) por el PIB de la región. Siguiendo el orden de la sección 2.B.5, se calculó el cociente entre los factores medios de normalización ($R_{A,C}$), las posiciones preliminares de la carteras de impacto ambiental y de costos (PP_A y PP_C) y las posiciones mejoradas (PP'_A y PP'_C). La siguiente tabla sintetiza los cálculos realizados:

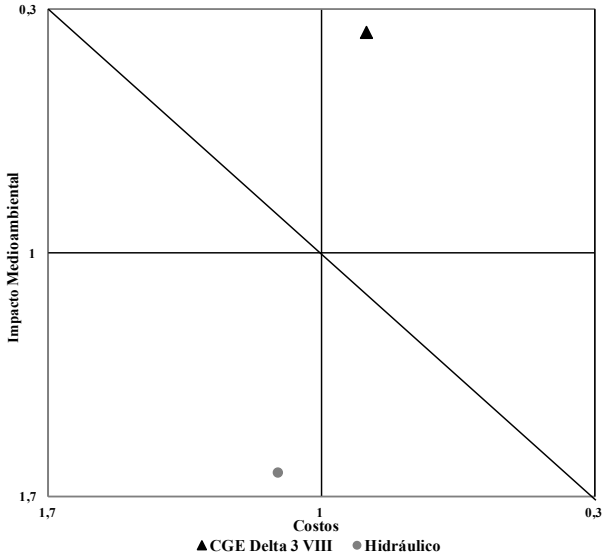
Tabla 18: Resultados del proyecto CGE Delta 3 VIII

	CGE Delta 3 VIII	***Hidráulico***
FN_{PCG}	3,32,E-03	1,35,E-02
FN_C	6,33,E-03	7,80,E-03
$R_{A,C}$	1,22	
PP_A	0,43	1,57
PP_C	0,90	1,10
PP'_A	0,37	1,63
PP'_C	0,89	1,11

Fuente: elaboración propia

En este caso, el cociente de relación entre los factores de normalización ($R_{A,C}$) es superior a 1 por lo cual el impacto ambiental es, en términos relativos, más importante que los costos. Los valores $PP'_{A,P}$ y el $PP'_{C,P}$ se utilizan para el posicionamiento del proyecto "CGE Delta 3 VIII" en la cartera de ecoeficiencia y los cálculos del $PP'_{A,H}$ y del $PP'_{C,H}$ para el proyecto hidroeléctrico (figura 14):

Figura 14: Cartera de ecoeficiencia del proyecto CGE Delta 3 VIII



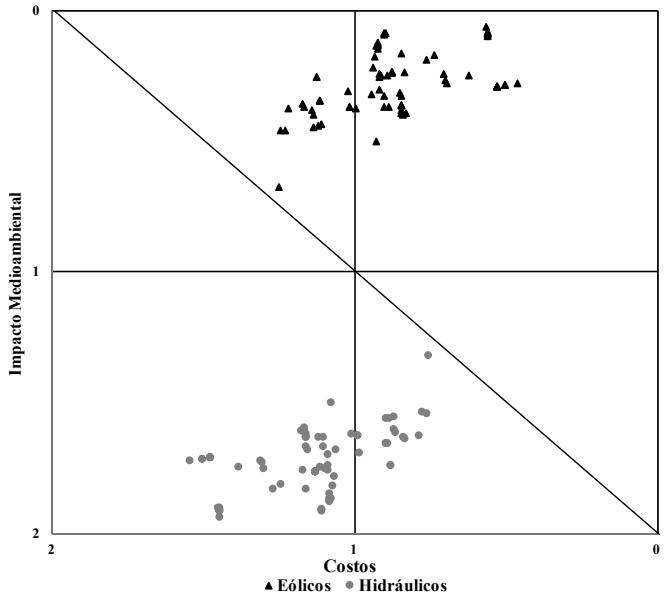
Fuente: Elaboración propia

El proyecto eólico se sitúa en la esquina superior derecha, donde se sitúan las opciones más favorables desde el punto de vista de la ecoeficiencia. En este ejemplo, el impacto medioambiental es más importante ($R_{A,C}$=1,22), lo que implica que el beneficio medioambiental es mayor que los costos adicionales.

Se aplicó el mismo método para los 81 proyectos eólicos seleccionados. Todos los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) así como las posiciones mejoradas de las carteras de impacto ambiental y de costos (PP'_A y PP'_C) se encuentran publicados en el anexo 8. La figura 15 posiciona todos los proyectos en la cartera de ecoeficiencia. El 77% de los casos (62 proyectos eólicos) están aglutinados en la esquina superior derecha, por lo cual estos proyectos son relativamente más ecoeficientes que los proyectos hidráulicos alternativos, que se encuentran en su mayoría acumulados en el lado inferior izquierdo. Sin embargo, existen casos particulares, ya que para 16 proyectos hidráulicos situados en el cuadro inferior derecho, el cociente de relación

entre los factores de normalización ($R_{A,C}$) es inferior a 1, por lo cual generar energía hidráulica hubiese sido relativamente más ecoeficiente puesto que los costos fueron más importantes que el impacto medioambiental. En otras palabras, el beneficio medioambiental no compensó los costos adicionales.

Figura 15: Cartera de ecoeficiencia: proyectos eólicos vs. hidráulicos



Fuente: Elaboración propia

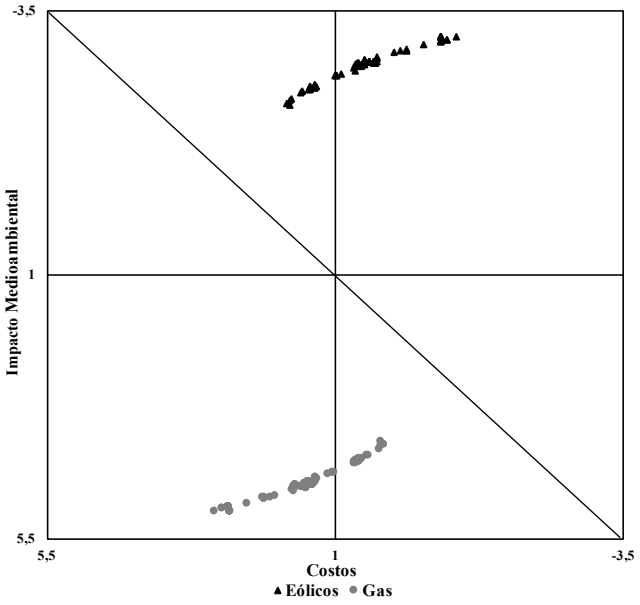
b) *Proyectos alternativos: gas, bioenergía, carbón y nuclear.*

El mismo método se aplicó con cuatro fuentes de energía eléctrica: gas (27,8% de la generación de electricidad en la región LAC), carbón (4,9%), bioenergía (4,7%) y nuclear (2,1%). Los datos de los campos eólicos y de la tabla 17 se combinaron en las ecuaciones de la sección 2.B.5, al igual que se realizó en el punto anterior con los proyectos hidroeléctricos. Los resultados de los cálculos, es decir los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) así como las posiciones mejoradas de las carteras de impacto ambiental y de costos (PP'_A y PP'_C) figuran en los anexos 9 a 12.

Al comparar los 81 programas eólicos con el proyecto de *gas* genérico, se puede apreciar en la figura 16 que existe una menor dispersión, que los resultados son más homogéneos que con los proyectos hidráulicos. 66 proyectos se ubican en marco superior derecho, el lado más favorable en términos de ecoeficiencia. En el caso del gas, todos los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) son superiores a 1, lo que implica que los 15 proyectos

restantes son de igual forma relativamente más ecoeficientes, puesto que el beneficio medioambiental es mayor que los costos adicionales.

Figura 16: Cartera de ecoeficiencia: proyectos eólicos vs. gas

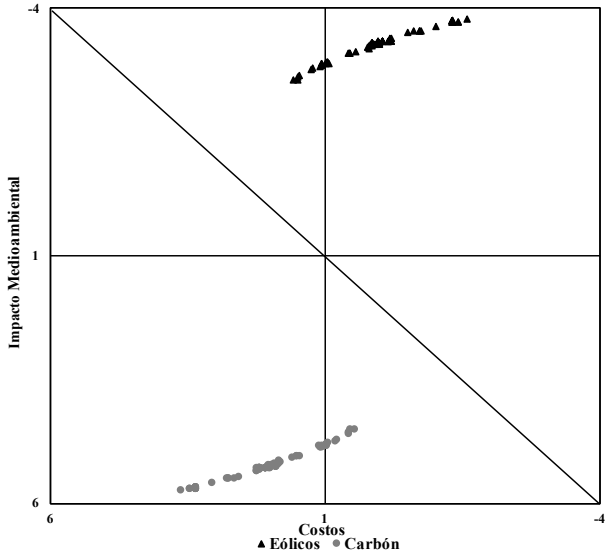


Fuente: Elaboración propia

La lectura de resultados es similar cuando se contraponen los campos eólicos con el proyecto genérico de *carbón*. Tal como lo muestra la figura 17, únicamente 11 proyectos no se colocan en la zona más positiva en términos de ecoeficiencia. Sin embargo, estos proyectos son relativamente más ecoeficientes que la opción del carbón, puesto que el beneficio medioambiental es mayor que los costos suplementarios ($R_{A,C}>1$).

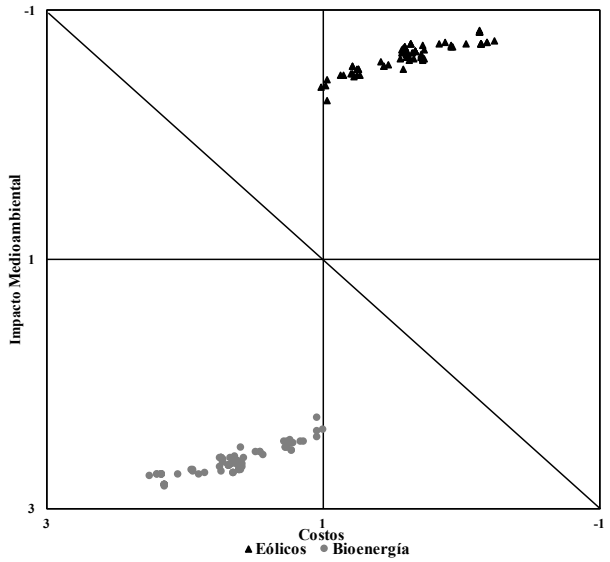
La figura 18 junta los resultados de los cálculos del cotejo de los campos eólicos seleccionados con los programas genéricos de *bioenergía*. En este caso, los proyectos se encuentran aglutinados de una manera homogénea en el marco superior derecho, mostrando así la mayor ecoeficiencia relativa de los proyectos eólicos sobre la biomasa. Un solo proyecto se encuentra fuera de este lugar puesto que presenta una posición mejorada en la cartera de costos (PP'_C) ligeramente superior a uno. Sin embargo, teniendo en cuenta que el factor medio de normalización ($R_{A,C}$) es superior a 1, el proyecto es también relativamente más ecoeficiente.

Figura 17: Cartera de ecoeficiencia: proyectos eólicos vs. carbón



Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Cartera de ecoeficiencia: proyectos eólicos vs. bioenergía

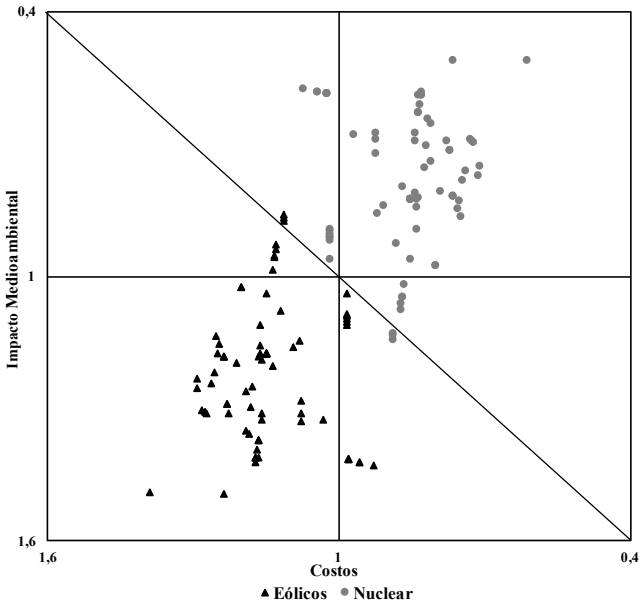


Fuente: Elaboración propia

En el caso de los campos eólicos estudiados contrapuestos con el proyecto genérico *nuclear*, la figura 19 muestra una dispersión más amplia que en las comparaciones con las otras fuentes de energía. Además, al contrario de los que se observó anteriormente, la mayor parte de los proyectos eólicos están concentrados en la zona baja de la izquierda, indicando una ecoeficiencia relativa inferior con respecto a la energía nuclear. 58 alternativas nucleares a los campos eólicos se sitúan en la región más favorable para

la ecoeficiencia. Todos los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) son inferiores a 1, por lo tanto los 8 proyectos eólicos situados en el lado superior izquierdo son los únicos relativamente más ecoeficientes.

Figura 19: Cartera de ecoeficiencia: proyectos eólicos vs. energía nuclear



Fuente: Elaboración propia

En esta sección se han presentado los resultados de la ecoeficiencia relativa de los proyectos eólicos financiados con los bonos verdes de la muestra. Las carteras de ecoeficiencia evidenciaron que los proyectos eólicos financiados son, en su mayoría, relativamente más ecoeficientes que los proyectos genéricos hidráulicos (en un 77% de los casos), de gas (100%), carbón (100%), y bioenergía (100%), con la excepción de la energía nuclear (únicamente 10%). Teniendo en cuenta la hipótesis de partida, es decir que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación con otros programas alternativos, esta puede ser confirmada en el caso de los proyectos de energía eólica.

3.B.3. Ecoeficiencia de los proyectos de energía solar

La tercera sección de este capítulo dará cuenta de los cálculos de la ecoeficiencia relativa de los proyectos solares. Se desarrollará con la misma metodología que la que se empleó en el apartado anterior para los campos eólicos.

3.B.3.1. Características de los campos solares financiados

En la primera parte del capítulo se indicó que los fondos recaudados con los bonos verdes de la muestra financiaron siete proyectos solares. Estos hacen referencia a siete bonos de siete emisores diferentes que representaron más del 6% de los fondos recaudados.

3.B.3.1.1. Informes y documentos de bonos verdes

Al igual que con los campos eólicos, los "proyectos" corresponden en su mayoría a varios parques solares que fueron financiados total o parcialmente con los recursos de los bonos. Por ende, se procedió en primer lugar a establecer el número exacto y los nombres respectivos de todos los parques solares financiados. Los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión de bonos y las revisiones externas permitieron acceder a esta información, con dos excepciones. La primera fue el bono de Athon Energia (bono número 6 del anexo 2) donde se encontraron los nombres exactos de los parques únicamente en una nota publicada por la empresa financiera brasileña Vórtx, especializada en servicios de "back-office". La segunda fue el bono de EPSA (bono número 38 del anexo 2) para el cual la información sobre los parques publicada únicamente en la página web corporativa se completó con la ayuda del responsable de las relaciones con los inversionistas. En cuanto a las emisiones de AES Tiete y de CIFI (bonos número 5 y 57 del anexo 2), las informaciones sobre el uso de los fondos de los bonos verdes se encontraron dentro de los informes de sostenibilidad de las empresas. En conjunto, los bonos de la muestra financiaron total o parcialmente 24 parques solares. El bono de Ergon Perú (bono número 50 del anexo 2) financió exclusivamente pequeños sistemas fotovoltaicos ("kits") en zonas rurales, sin conexión a la red del país andino, que no fueron considerados en el análisis. La tabla 19 ilustra el caso del bono verde de la compañía energética brasileña AES Tiete, en el cual los fondos recaudados se utilizaron para financiar dos parques fotovoltaicos diferentes:

Tabla 19: Proyectos solares del bono verde AES Tiete

AES Tiete
Complexo Solar Guaimbé
Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV

Fuente: (AES Brasil, 2022), elaboración propia

3.B.3.1.2. Cuestionarios a los emisores

Con el objeto de obtener los datos técnicos que no figuran en las fuentes secundarias, se enviaron cuestionarios autoadministrados e individuales, por correo electrónico, a los responsables de los departamentos de sostenibilidad o de relaciones con los inversionistas de los emisores. En función de los datos obtenidos con los informes publicados, se adaptaron los cuestionarios. Los indicadores solicitados fueron los siguientes:

- Paneles solares fotovoltaicos: fabricante, modelo, número de paneles en el parque y potencial de calentamiento global (PCG).
- Electricidad producida: potencia nominal (MW), energía total generada (MW/h) y costo o precio (USD/MWh).
- Parque solar: vida útil (años), superficie (Ha) y reducción de emisiones de carbono ($tCO_{2\text{-}eq}$/año).

Se enviaron cuestionarios por correo electrónico a seis de los siete emisores. No se contactó a la empresa peruana Ergon puesto que, como se indicó anteriormente, no financiaron paneles solares comparables. La siguiente tabla sintetiza las comunicaciones que se mantuvieron con los emisores:

Tabla 20: Seguimiento de los cuestionarios enviados a los emisores de proyectos solares

#	Emisor	Relaciones con los inversores (RI) / Departamentos de sostenibilidad						Otros Contactos o Fuentes	
		Contactado	Respuesta	Utilidad	# Correos Enviados	# Correos Recibidos	# Llamadas	Si/No	Tipo
1	Province of Jujuy	S	N	N	1	0	0	S	Artículo prensa
2	AES Tiete	S	S	S	3	1	0	S	Informe sostenibilidad
3	Athon Energia	S	S	N	9	3	0	S	Marco Bonos Verdes
4	EPSA	S	S	S	2	1	0	S	Página web
5	Ergon Perú	N	N	N	0	0	0	N	
6	Atlas Renewable Energy	S	N	N	1	0	0	S	Comunicados prensa
7	CIFI	S	S	S	7	4	0	S	Informe sostenibilidad
	TOTAL	**6**	**4**	**3**	**23**	**9**	**0**	**6**	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron respuestas útiles de la mitad de los emisores solicitados, lo que representa un porcentaje de éxito de 50%, muy superior al de los cuestionarios a los emisores de proyectos eólicos (8%) y a los constructores de aerogeneradores (12%). Sin embargo, si bien los servicios de relaciones con los inversionistas de los emisores AES Tiete, EPSA y CIFI estaban familiarizados con los detalles técnicos y comunicaron rápidamente las características de los paneles solares, ninguno de ellos proporcionó algún tipo de información sobre el PCG.

3.B.3.1.3. Expertos

No hubo un aporte específico del experto entrevistado con respecto a los proyectos fotovoltaicos. No obstante, las recomendaciones mencionadas en la sección 3.B.2., especialmente en lo que se refiere al LCOE, fueron igualmente aplicadas en esta parte de la investigación.

3.B.3.1.4. Base de datos BloombergNEF

Tal como se señaló previamente, la sección "Seguimiento del impacto del proyecto" de la base de datos Bloomberg New Energy Finance recopila datos sobre proyectos eólicos y solares a nivel mundial. Para cada parque fotovoltaico, la base pone a disposición informaciones sobre la situación geográfica, la identidad, los accionistas y la cronología del proyecto. De la misma manera que para los proyectos eólicos, figuran datos sobre la capacidad nominal (kW), la electricidad total generada (kWh), la tecnología de las células fotovoltaicas y las emisiones evitadas ($tCO_{2\text{-}eq}$/año). En ciertos casos, la información del precio de venta de la electricidad (USD/MWh) también es publicada. No se encontraron datos ni sobre el PCG, ni sobre los nombres de los constructores de los paneles solares. Gracias a BNEF, para los proyectos que se disponía de los nombres completos de los parques, se pudo completar datos, con la excepción de los seis parques financiados por el bono de la empresa Athon Energia. En esta etapa del estudio, se conservaron 22 parques fotovoltaicos puesto que se eliminaron dos parques financiados con el bono verde de la empresa colombiana EPSA, mencionados en la página web corporativa pero que no fueron corroborados en la tabla enviada por el departamento de relaciones con los inversionistas.

3.B.3.1.5. Cuestionarios a los constructores

Las fuentes de datos secundarios, así como las respuestas a los cuestionarios enviados, proporcionaron los nombres de los fabricantes de los paneles solares para 12 de los 22 proyectos. Únicamente para los proyectos del bono de EPSA se obtuvieron los modelos exactos de los paneles fotovoltaicos utilizados, con su potencia nominal (KW). Los nombres de los siete productores recibidos, citados a continuación por orden alfabético, provienen todos de la República Popular de China:

- BYD, Chint, Huawei, JA Solar, Jinko, Talesun Solar y Trina Solar.

Lamentablemente no se pudo conseguir de los fabricantes los informes del análisis de ciclo de vida de los paneles solares debido a que: (i) para la mayor parte de estas empresas no se obtuvo un interlocutor idóneo; (ii) cuando se encontró el departamento de relaciones con los inversionistas, no se obtuvo respuesta alguna.

3.B.3.1.6. Estimación del PCG

Al no haber obtenido informaciones ni de los emisores ni de los constructores, se tuvo que estimar el PCG de todos los paneles solares del estudio. Para realizar esta estimación, primero fue necesario determinar la tecnología de las células fotovoltaicas. Con la ayuda de BloombergNEF, se tuvo conocimiento que nueve de los proyectos utilizaron paneles de la primera generación con estructura de base de silicio cristalino, por lo que se partió del supuesto que todos los proyectos utilizaron células de silicio multicristalino (mc-Si). Durante la revisión de la literatura, se pudo observar que el PCG puede mostrar una gran variabilidad, situándose en un rango de 9,4 a 167 $gCO_{2\text{-}eq}$/kWh (Asdrubali et al., 2015). El estudio de Stylos y Koroneos (2014) calculó las emisiones de GEI causadas durante el ciclo de vida de un sistema fotovoltaico completo (módulos fotovoltaicos, inversores, baterías y cimientos de acero) conectado a la red, utilizando un enfoque "de la cuna al uso", es decir desde la extracción de las materias primas hasta la fabricación y el uso de los módulos. Los autores analizaron cuatro escenarios diferentes de fabricación de un panel mc-Si, con una eficiencia de las células variable entre el 14% y el 20%. El escenario “mejorado” lo definieron como la tecnología que ya se ha había alcanzado en 2014 y que estaría disponible comercialmente de forma generalizada en los próximos dos años. Teniendo en cuenta que los parques de este estudio fueron puestos en funcionamiento entre 2015 y 2020, se consideró el escenario “mejorado con el 50% de aluminio reciclado” para estimar el PCG, que resulta en un PCG de 18,11 $gCO_{2\text{-}eq}$/kWh.

3.B.3.1.7. Estimación del CCV

Siguiendo los conceptos y teorías presentados anteriormente, se utilizaron los precios de venta de la electricidad para estimar el CCV del análisis de la ecoeficiencia relativa de los 22 campos solares. Las fuentes de los precios fueron: (i) los PPA comunicados por los emisores en sus informes o publicados en Bloomberg NEF; (ii) los LCOE del país y del año de puesta en marcha del proyecto. En el anexo 13 figuran los precios de todos los parques fotovoltaicos, mientras la siguiente tabla ilustra con el ejemplo de AES Tiete, los datos técnicos de los dos proyectos solares financiados:

Tabla 21: Características de los proyectos solares del bono verde de AES Tiete

Nombre del Proyecto	Capacidad Nominal (MW)	Energía Generada (kWh)	PCG - ACV ($KgCO_2$/MWh)	Precio de Venta (USD/MWh)
Complexo Solar Guaimbé	150	277 780	18,11	87,08
Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	144,1	300 020	18,11	75,78

Fuente: (AES Brasil, 2022), BloombergNEF, elaboración propia

Las fuentes de los datos fueron las siguientes:

- Informe de sostenibilidad de AES Tiete: Nombre del proyecto, capacidad nominal y energía generada.
- BloombergNEF: Precio de venta (PPA).
- Estimación del PCG en base del análisis de Stylos y Koroneos (2014).

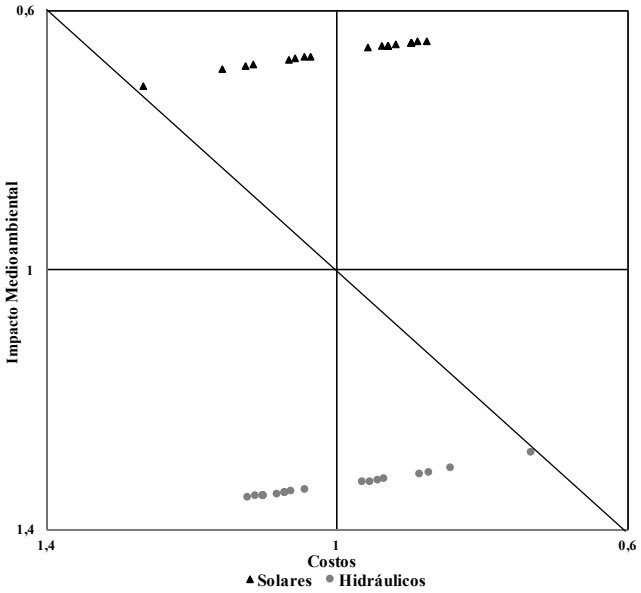
3.B.3.2. Ecoeficiencia relativa

Uno de los objetivos de la presente tesis es determinar si los proyectos financiados con bonos verdes, en este caso los proyectos solares, fueron la solución más ecoeficiente relativamente a otros proyectos alternativos. Para el análisis desarrollado a continuación, las fuentes de energía alternativas con los que se compararán los parques fotovoltaicos son las mismas que las que se utilizaron para los programas eólicos, a saber: hidráulica, gas, bioenergía, carbón y nuclear (tabla 17). De igual manera, las cifras para la normalización y la integración de las cifras regionales económicas y ecológicas son las mismas que se emplearon para los eólicos, extraídas de la base de datos del Banco Mundial.

Se aplicó el método de ecoeficiencia de BASF expuesto en la sección 2.B.5. a los 22 proyectos solares seleccionados, confrontándoles en un primer lugar a la energía *hidráulica.* Todos los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) así como las posiciones mejoradas de las carteras de impacto ambiental y de costos (PP'_A y PP'_C) se encuentran publicados en el anexo 14. La figura 20 representa la cartera de ecoeficiencia obtenida, donde 12 parques solares (64% de los casos) están posicionados en la esquina superior derecha, por lo que estos proyectos son relativamente más ecoeficientes que los proyectos hidráulicos alternativos, que se encuentran en su mayoría acumulados en el lado inferior izquierdo. El resto de los proyectos solares son igualmente relativamente más ecoeficientes, puesto que los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) son superiores a 1, con una sola excepción: el parque San Juan (proyecto 18 del anexo 13) presenta

un cociente de relación entre los factores de normalización ($R_{A,C}$) inferior a 1, lo que implica que generar energía hidráulica hubiese sido relativamente más ecoeficiente.

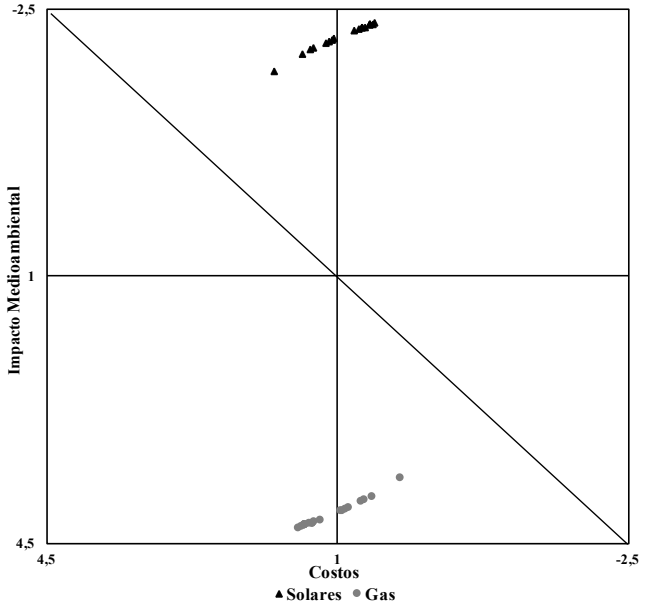
Figura 20: Cartera de ecoeficiencia: proyectos solares vs. hidráulicos



Fuente: Elaboración propia

Al aplicar el mismo método al *gas* como fuente alternativa de energía eléctrica, se obtuvo la cartera de ecoeficiencia de la figura 21. Los hallazgos son similares a los programas hidráulicos, puesto que 64% de los casos (12 parques) están posicionados en la esquina superior derecha, y son por ende relativamente más ecoeficientes. Sin embargo, como lo muestran los resultados de los cálculos (anexo 15), todos los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) son superiores a 1, indicando que los proyectos solares tienen un beneficio ambiental mayor que los costos adicionales.

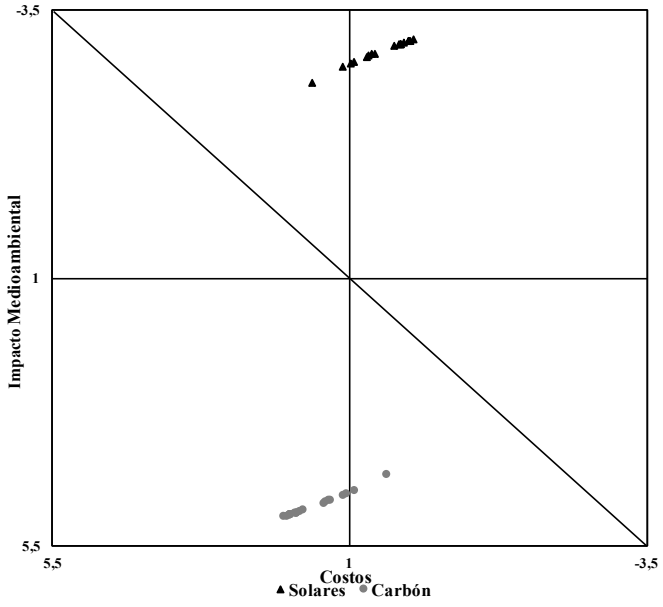
Figura 21: Cartera de ecoeficiencia: proyectos solares vs. gas



Fuente: Elaboración propia

Las carteras de ecoeficiencia que surgen de las comparaciones de los proyectos fotovoltaicos con las fuentes de energía de carbón y biomasa aportan resultados muy semejantes entre ellas puesto que, en ambos casos, se observa una aglutinación de los proyectos solares en el cuadro superior derecho, la zona más positiva en términos de ecoeficiencia (figuras 22 y 23).

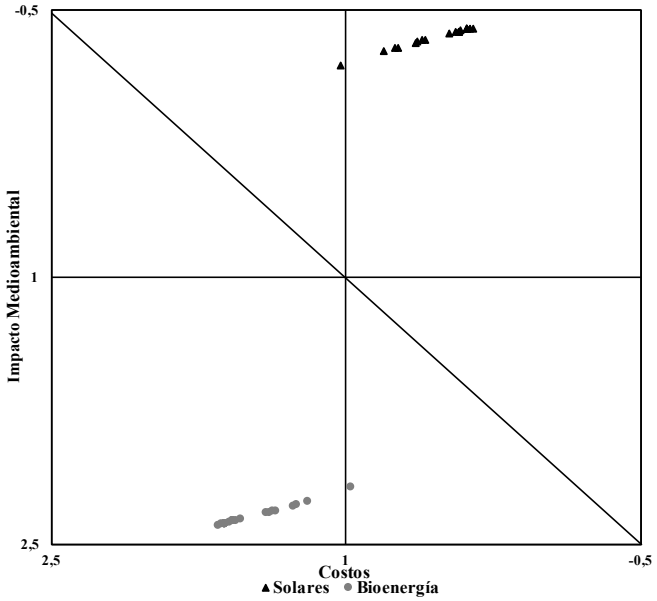
Figura 22: Cartera de ecoeficiencia: proyectos solares vs. carbón



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la contraposición con los proyectos genéricos de carbón, 20 proyectos (90%) se encuentran en la esa área del gráfico y esta cifra aumenta a 21 programas (95%) en el caso de la bioenergía. Los cocientes de relación entre los factores de normalización ($R_{A,C}$) son todos superiores a 1, indicando que todos los proyectos financiados son relativamente más ecoeficientes que las dos otras opciones. Los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) así como las posiciones mejoradas de las carteras de impacto ambiental y de costos (PP'_A y PP'_C) de estas dos carteras figuran en los anexos 16 y 17.

Figura 23: Cartera de ecoeficiencia: proyectos solares vs. bioenergía



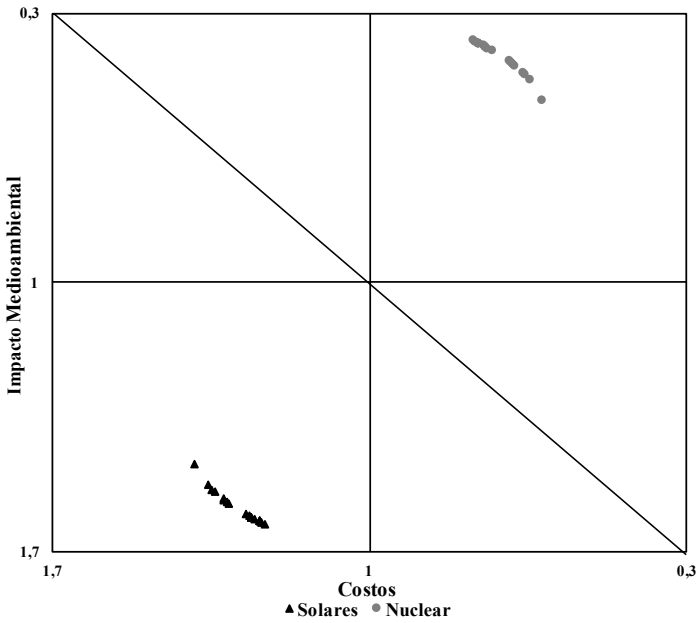
Fuente: Elaboración propia

La lectura de resultados es completamente opuesta cuando se comparan los proyectos seleccionados con el proyecto genérico nuclear en vista de que todos los programas fotovoltaicos están concentrados en la zona baja de la izquierda (figura 24), indicando una ecoeficiencia relativa inferior con respecto a la energía nuclear. Los factores medios de normalización ($R_{A,C}$) son todos inferiores a 1 (anexo 18).

Esta última comparación concluye los resultados de la ecoeficiencia relativa de los proyectos solares financiados con los bonos verdes de la muestra. Las carteras de ecoeficiencia evidenciaron que los proyectos fotovoltaicos financiados son, en su mayoría, relativamente más ecoeficientes que los proyectos alternativos genéricos hidráulicos (en un 95% de los casos), de gas (100%), carbón (100%), y bioenergía (100%), con la clara excepción de la energía nuclear

(0%). Siendo la hipótesis primera que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación a otros programas alternativos, esta puede ser confirmada en el caso de los proyectos de energía fotovoltaica.

Figura 24: Cartera de ecoeficiencia: proyectos solares vs. nuclear



Fuente: Elaboración propia

3.B.4. Conclusiones sobre la ecoeficiencia relativa

La segunda parte del capítulo ha cumplido con el segundo objetivo específico de la tesis que consiste en determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos. Teniendo en cuenta que los bonos verdes de la muestra financiaron 75 proyectos elegibles dentro de 16 subsectores diferentes de la Taxonomía del CBI y que detrás de cada "proyecto" existen en realidad una serie de proyectos financiados, la investigación se centró en el sector más financiado, la energía (40% de los ingresos), y particularmente en los subsectores de eólicas y solares.

Respecto a los programas eólicos, los 17 "proyectos" financiaron total o parcialmente 92 campos eólicos en LAC. Enviando cuestionarios autoadministrados a los emisores de los bonos verdes y a los constructores de los aerogeneradores, consultando a expertos en el tema y en base a las fuentes de datos secundarios, se consiguieron datos para poder calcular la ecoeficiencia relativa de 81 campos eólicos. Utilizando el método de BASF, se compararon estos campos

eólicos con cinco fuentes alternativas de energía eléctrica: hidráulica, gas, biomasa, carbón y nuclear. Los resultados mostraron que, con excepción de la energía nuclear, los proyectos eólicos financiados son en su mayoría (86 a 100% de los casos) más ecoeficientes que los proyectos genéricos de las cuatro otras fuentes de energía.

En cuanto a los siete proyectos solares, los bonos verdes latinoamericanos financiaron total o parcialmente 22 parques fotovoltaicos. Empleando la misma metodología que para los campos eólicos, se llegó a una lectura de resultados muy similar: los proyectos solares financiados son en su mayoría (95 a 100% de los casos) relativamente más ecoeficientes que los proyectos genéricos alternativos, nuevamente a excepción de la energía nuclear. Teniendo en cuenta la hipótesis de partida, es decir que los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación a otros programas alternativos, esta puede ser confirmada en el caso de los proyectos de energía eólica y solar.

Capítulo IV – Proyectos financiados con bonos verdes: emisiones de GEI

En el siguiente capítulo se trabajará el vínculo que existe entre los proyectos financiados con bonos verdes y los gases de efecto invernadero de Latinoamérica y el Caribe, desarrollando el tercer y cuarto objetivo de la presente investigación. En primer lugar, se establecerá la repercusión que han tenido actualmente los proyectos sobre los gases de efecto invernadero. Más adelante se explorará, en base a los conceptos teóricos de proyecciones revisados previamente, el futuro alcance de este tipo de financiación sobre el cambio climático en LAC.

Parte A – Incidencia de los proyectos financiados sobre las emisiones de GEI

El tercer objetivo específico es establecer la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de GEI ($TCO_{2\text{-}eq}$) en Latinoamérica y el Caribe. Dentro del marco teórico, se sentó que la participación de LAC en las emisiones globales de GEI (incluyendo el impacto de las prácticas de uso del suelo) es del 8,4% y que esta es ampliamente coherente con la talla de su economía. Las contribuciones de la región están impulsadas mayormente por los tres más importantes emisores de GEI, a saber: Brasil (5%), México (1,7%) y Argentina (1,5%). El aumento constatado de los GEI en la región está directamente asociado con el crecimiento económico, que intensifica el consumo de energía y, en consecuencia, las emisiones. Sin embargo, LAC dispone de una matriz energética sostenible y diversificada, puesto que los recursos energéticos renovables representan el 33% del suministro total de energía.

Al revisar la literatura académica sobre los proyectos que se han realizado para mitigar las emisiones de GEI, se encontraron programas dentro de tres sectores de la taxonomía del CBI: la energía, el transporte y el uso de la tierra y los recursos marinos. Es clara la correspondencia con los proyectos financiados con los bonos verdes que se emitieron en la región entre 2014 y 2019, visto que más de 40% de los ingresos de los bonos fueron destinados al sector de la energía renovable, 29% a la silvicultura comercial y 20% al transporte. Otra relación directa es que dos de los países que más contaminan forman parte de los mayores emisores de bonos verdes: Brasil representa 43% del monto equivalente en dólares emitido durante el rango de fechas seleccionadas y México el 11%. Seguidamente, se dará cuenta en qué proporción los proyectos financiados con los 56 bonos y el préstamo verde contribuyeron a mitigar las emisiones de GEI en LAC.

4.A.1. Recolección de datos sobre GEI

Siguiendo la misma metodología que en las secciones anteriores, la primera fuente de datos que se consultó fueron los informes de asignación de fondos. Tal como se describió en el tercer capítulo, 25 de los 44 emisores de la muestra publicaron reportes de asignación de fondos, de los cuales 17 con un nivel de detalle ampliado y siete con nivel condensado. El volumen evitado de emisiones de GEI, medido en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año, se encontró dentro de estos documentos para 17 emisores. Los datos fueron publicados en 13 informes con nivel de detalle ampliado y en cuatro secciones dedicadas a los bonos verdes (nivel condensado) dentro de los informes de sustentabilidad. En el caso de los emisores ISA CTEEP y Consorcio Transmantaro S.A. (bonos número 13 y 48 del anexo 2), pese a poner a disposición informes con detalles ampliados, no se publicaron cifras sobre los GEI evitados, puesto que estos instrumentos financiaron proyectos de trasmisión y distribución de electricidad cuyo impacto es medido con el número de utilizadores de energía renovable como indicador clave de rendimiento. Ningún folleto de emisión revisado aportó números sobre los GEI evitados y únicamente la opinión de segundas partes (SPO) del bono de la empresa brasileña Neoenergia (bono número 16 del anexo 2) fue de utilidad en este tema.

Para los bonos que no se consiguió las métricas sobre GEI en las fuentes de datos secundarios, se enviaron cuestionarios autoadministrados e individuales, por correo electrónico, a los departamentos de relaciones con los inversionistas o de sostenibilidad de los emisores. El único indicador solicitado fue el siguiente:

- Las emisiones de CO_2 u otras emisiones de GEI (medidas en $TCO_{2\text{-}eq}$/año) evitadas a causa de los proyectos financiados con los bonos verdes.

En el caso de los bonos verdes que financiaron proyectos eólicos o solares, la pesquisa sobre las emisiones de GEI fue incluida dentro del cuestionario con los demás indicadores. Cabe señalar que los interlocutores de los departamentos solicitados estaban más familiarizados con este tipo de indicadores claves de rendimiento y que las respuestas fueron reactivas y pertinentes. Una clara excepción fue la empresa brasileña BRF S.A., cuyo servicio de relaciones con los inversionistas contestó que los datos que no se encuentran publicados dentro del informe anual de asignación de fondos, en este caso las emisiones evitadas, son considerados “confidenciales”. La siguiente tabla resume las comunicaciones que se mantuvieron con los emisores de los bonos y del préstamo verde de la muestra:

Tabla 22: Seguimiento de los cuestionarios enviados a los emisores de bonos verdes

#	Emisor	Relaciones con los inversores (RI) / Departamentos de sostenibilidad					
		Contactado	Respuesta	Utilidad	# Correos Enviados	# Correos Recibidos	# Llamadas
1	Banco Galicia	S	S	S	6	5	0
2	Province of Jujuy	S	N	N	1	0	0
3	Province of La Rioja	N	N	N	0	0	0
4	Province of La Rioja						
5	AES Tiete	S	S	S	3	1	0
6	Athon Energia	S	S	N	9	3	0
7	BNDES	S	S	S	3	1	0
8	BRF SA	S	S	N	3	2	0
9	Celulose Irani	S	S	S	6	8	0
10	CPFL Energias Renovaveis	S	S	N	13	6	3
11	Enel	S	N	N	5	0	5
12	Fibria	N	N	N	0	0	0
13	ISA CTEEP	S	N	N	1	0	0
14	Klabin	N	N	N	0	0	0
15	Klabin						
16	Neoenergia (Iberdrola)	S	N	N	4	0	2
17	PEC Energia	S	S	N	9	6	0
18	Potami Energia (OMEGA 2)	S	S	N	1	0	1
19	Potami Energia (OMEGA 1)						
20	Rio Energy II	S	S	N	4	3	0
21	Rio Energy I						
22	Suzano Papel e Celulose	N	N	N	0	0	0
23	Suzano Papel e Celulose (2017)						
25	Suzano Papel e Celulose (2016)						
24	Suzano Papel e Celulose						
26	Taesa	N	N	N	0	0	0
27	Agrosuper	S	S	S	5	3	3
28	Aguas Andinas	N	N	N	0	0	0
29	Aguas Andinas						
30	Banco de Chile	S	N	N	2	0	0
31	CMPC	S	S	S	5	3	0
32	Republic of Chile	N	N	N	0	0	0
33	Republic of Chile						
34	Bancoldex	N	N	N	0	0	0
35	Bancolombia (2)	S	S	S	2	1	0
36	Bancolombia (1)						
37	Davivienda	S	S	S	4	1	0
38	EPSA	S	S	S	2	1	0
39	Banco Nacional de Costa Rica	S	N	N	2	0	2
40	BBVA Bancomer	S	S	N	10	6	1
41	Eolica Mesa Paz wind farm	S	N	N	2	0	0
42	FIRA	N	N	N	0	0	0
43	Mexico City (2)	N	N	N	0	0	0
44	Mexico City (1)						
45	Nafin (2) MXN	S	S	N	6	3	2
46	Nafin (1) USD						
47	Cofide	N	N	N	0	0	0
48	Consorcio Transmantaro S.A.	N	N	N	0	0	0
49	Energia Eolica	N	N	N	0	0	0
50	Ergon Perú	N	N	N	0	0	0
51	PROTISA Peru (CMPC)	N	N	N	0	0	0
52	Atlas Renewable Energy	S	N	N	1	0	0
53	CABEI	S	S	N	2	1	0
54	CAF	N	N	N	0	0	0
55	CAF						
56	CAF						
57	CIFI	S	S	S	7	4	0
	TOTAL	**27**	**19**	**10**	**118**	**58**	**19**

Fuente: Elaboración propia

No fue posible sacar conclusiones sobre el porcentaje de éxito de los cuestionarios en base a las respuestas mencionadas en la tabla número 22. En varios casos, los informes de asignación de fondos contenían las cifras sobre las emisiones de GEI evitadas y no fue necesario contactar a los emisores, como por ejemplo con los bonos de la República de Chile o las empresas Klabin y Suzano Papel e Celulose (bonos número 14, 15, 22-24, 32 y 33 del anexo 2). Una peculiaridad es la compañía peruana Protisa (bono número 51 del anexo 2): al ser filial de la chilena CMPC, se solicitaron los datos directamente a la sociedad matriz.

Finalmente, para los bonos que no obtuvieron cifras con las fuentes de datos citadas previamente, se recurrió a la base BloombergNEF. Esta última fue particularmente útil para los proyectos eólicos y fotovoltaicos que se trabajaron previamente, para los cuales ya se había recuperado las emisiones evitadas.

4.A.2. Incidencia sobre las emisiones de GEI

Uno de los objetivos de la presente investigación es establecer las repercusiones que han tenido los proyectos financiados con bonos verdes en la prevención de emisiones de GEI en la región. En otras palabras, es determinar si los patrocinadores de estos proyectos han contribuido a la lucha contra el cambio climático mediante este tipo de financiaciones.

La tabla 23 sintetiza las informaciones obtenidas con las fuentes de datos primarias y secundarias mencionadas en la sección anterior. De los 57 bonos de la muestra, se encontraron informaciones sobre las emisiones de GEI evitadas para 47 de ellos. Cuatro emisores no comunicaron datos: (i) la empresa BRF S.A. (bono número 8 del anexo 2), que pese a tener un informe de asignación de fondos de bonos verdes con detalle ampliado, no publicó informaciones sobre las emisiones de GEI al considerarlas “confidenciales”; (ii) el Banco de Chile (bono número 30 del anexo 2), del cual se recibió una respuesta automática de no entrega por parte del único correo electrónico del departamento de relaciones con los inversionistas; (iii) el banco BBVA México (bono número 40 del anexo 2), del que nunca se obtuvo ningún detalle sobre los proyectos financiados; y (iv) el segundo bono emitido por el Gobierno de la Ciudad de México (bono número 43 del anexo 2) debido a que no se encontraron los datos en los informes. Por otro lado, las emisiones de GEI evitadas no fueron consideradas como un indicador clave de rendimiento para seis bonos. Los proyectos de trasmisión y distribución de energía eléctrica financiados por las empresas ISA CTEEP, Taesa y Consorcio Transmantaro

S.A. midieron su impacto con el número de utilizadores de energía renovable (bonos 13, 26 y 48 del anexo 2).

Tabla 23: Emisiones de GEI evitadas por los proyectos financiados con bonos verdes

#	Emisor	Ahorro real GEI ($tCO_{2\text{-}eq}$ /año)	% LAC	Fuente	Taxonomía CBI Sub-sector (1)	Codigo País (ISO 3)
1	Banco Galicia	210 227	0,01%	Relaciones con los inversores	Bioenergía	ARG
2	Province of Jujuy	780 000	0,05%	Página web corporativa (JEMSE)	Solar	ARG
3	Province of La Rioja	132 000	0,01%	BloombergNEF	Eólica	ARG
4	Province of La Rioja	133 000	0,01%		Eólica	ARG
5	AES Tiete	35 650	0,00%	Informe de sostenibilidad	Solar	BRA
6	Athon Energia	4 011	0,00%	BloombergNEF (estimado)	Solar	BRA
7	BNDES	274 754	0,02%	Informe de asignación Bonos Verdes	Eólica	BRA
8	BRF SA	NC*		Informe de asignación Bonos Verdes	Eficiencia Energética	BRA
9	Celulose Irani	108 324	0,01%	Dirección de la empresa	Silvicultura Comercial	BRA
10	CPFL Energias Renovaveis	510 607	0,03%	BloombergNEF	Eólica	BRA
11	Enel	147 000	0,01%	BloombergNEF	Eólica	BRA
12	Fibria	3 225 836	0,20%	Informe de asignación Bonos Verdes	Silvicultura Comercial	BRA
13	ISA CTEEP	NP**		Informe de asignación Bonos Verdes	Trasmisión y Distribución	BRA
14	Klabin	93 997	0,01%	Informe de asignación Bonos Verdes	Silvicultura Comercial	BRA
15	Klabin					
16	Neoenergia (Iberdrola)	734 818	0,05%	SPO & BloombergNEF	Trasmisión y Distribución	BRA
17	PEC Energia	101 000	0,01%	Bloomberg NEF	Eólica	BRA
18	Potami Energia (OMEGA 2)	260 000	0,02%	BloombergNEF	Eólica	BRA
19	Potami Energia (OMEGA 1)	128 000	0,01%	BloombergNEF	Eólica	BRA
20	Rio Energy II	470 000	0,03%	BloombergNEF	Eólica	BRA
21	Rio Energy I	359 000	0,02%	BloombergNEF	Eólica	BRA
22	Suzano Papel e Celulose	5 015 727	0,31%	Informe de asignación Bonos Verdes	Silvicultura Comercial	BRA
23	Suzano Papel e Celulose (2017)					
25	Suzano Papel e Celulose (2016)					
24	Suzano Papel e Celulose					
26	Taesa	NP**		Página web corporativa (Taesa)	Trasmisión y Distribución	BRA
27	Agrosuper	NP**		Relaciones con los inversores	Pesquerías y Acuicultura	CHL
28	Aguas Andinas	99 621	0,01%	Informe de asignación Bonos Verdes	Infraestructura Hidráulica	CHL
29	Aguas Andinas					
30	Banco de Chile	NC*			Eficiencia Energética	CHL
31	CMPC	20 453	0,00%	Informe de asignación Bonos Verdes	Silvicultura Comercial	CHL
32	Republic of Chile	205 567	0,01%	Informe de asignación Bonos Verdes	Transporte Público de Pasajeros	CHL
33	Republic of Chile					
34	Bancoldex	31 139	0,00%	Informe de asignación Bonos Verdes	Eficiencia Energética	COL
35	Bancolombia (2)	85 400	0,01%	Informe de sostenibilidad	Construcciones	COL
36	Bancolombia (1)	76 000	0,00%		Energía Hidroeléctrica	COL
37	Davivienda	10 500	0,00%	Informe anual	Construcciones	COL
38	EPSA	114 711	0,01%	Página web corporativa (Celsia)	Solar	COL
39	Banco Nacional de Costa Rica	98 000	0,01%	BloombergNEF	Energía Hidroeléctrica	CRI
40	BBVA Bancomer	NC*		Informe de asignación Bonos Verdes	Eólica	MEX
41	Eolica Mesa Paz wind farm	508 000	0,03%	BloombergNEF	Eólica	MEX
42	FIRA	837	0,00%	Informe de asignación Bonos Verdes	Agricultura	MEX
43	Mexico City (2)	NC*			Transporte Público de Pasajeros	MEX
44	Mexico City (1)	49 188	0,00%	Informe de asignación Bonos Verdes		
45	Nafin (2) MXN	141 000	0,01%	BloombergNEF	Eólica	MEX
46	Nafin (1) USD	2 667 000	0,16%	BloombergNEF	Eólica	MEX
47	Cofide	8 106	0,00%	Informe de asignación Bonos Verdes	Microcredito	PER
48	Consorcio Transmantaro S.A.	NP**		Informe de asignación Bonos Verdes	Trasmisión y Distribución	PER
49	Energia Eolica	244 000	0,02%	BloombergNEF	Eólica	PER
50	Ergon Perú	NP**			Solar	PER
51	PROTISA Peru (CMPC)	NP**		Informe de asignación Bonos Verdes & IR	Eficiencia Energética	PER
52	Atlas Renewable Energy	54 300	0,00%	Página web corporativa (Atlas RE)	Solar	URY
53	CABEI	705 700	0,04%	Informe de asignación Bonos Verdes	Infraestructura Hidráulica	SUP
54	CAF	2 685 733	0,17%	Informe de asignación Bonos Verdes	Transporte Público de Pasajeros	SUP
55	CAF					
56	CAF					
57	CIFI	269 387	0,02%	Informe ASG	Solar	SUP
	TOTAL	**20 798 593**	**1,28%**			

** Las cifras no fueron comunicadas (NC)*

*** Las emisiones de GEI evitadas no son un indicador pertinente (NP)*

Fuente: Elaboración propia

En el caso de Agrosuper (préstamo verde número 27 del anexo 2), los fondos fueron destinados a adquirir las empresas productoras de salmón Aquachile y estuvieron condicionados a indicadores como la reducción del uso de antibióticos o el cumplimiento de los estándares ASC[49]. En cuanto a los proyectos de Protisa (bono número 51 del anexo 2), algunos de los indicadores de impacto utilizados fueron el ahorro de energía (medido en MWh/t), de agua (m^3/t) y la recirculación del agua (%). Finalmente, el bono de Ergon Perú (bono número 50 del anexo 2) que financió pequeños sistemas fotovoltaicos ("kits") en zonas rurales para los cuales es difícil de medir el impacto, tampoco fue considerado en esta parte del análisis.

Los resultados de la tabla 23 muestran una vez más la correspondencia entre los proyectos de los sectores a los cuales se destinaron los mayores ingresos de los bonos verdes emitidos en el rango de fechas, y el número de emisiones atenuadas. En base del desglose sectorial por subsectores utilizado a lo largo de la presente investigación, la selvicultura comercial fue el sector más prolífico con más del 41% de las emisiones prevenidas, pese a haber captado únicamente 29% de los fondos. Los programas desplegados por las empresas brasileñas productoras de papel resultaron particularmente eficaces. Los proyectos eólicos y solares representaron el 29% y el 6% de las emisiones evitadas, en línea con los recursos que les fueron destinados. En cuanto al sector del transporte, que recibió 20% de los ingresos, sus proyectos únicamente sumaron 14% de las emisiones evitadas. Esto se debe esencialmente a que varios de los proyectos financiados por los bonos verdes de la República de Chile todavía no estaban operativos. La relación geográfica también se comprueba puesto que el país más contaminador, Brasil, emitió el mayor volumen de bonos verdes (43%), y tiene los proyectos que evitaron el mayor número de emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$ (55%). Los programas financiados por las empresas e instituciones de México (el segundo mayor contaminador), ocupan el tercer lugar en el ranking de las emisiones prevenidas (16%) después de los supranacionales (18%) y del previamente mencionado Brasil.

La suma de las emisiones de GEI evitadas gracias a los proyectos financiados con 82% de los bonos de la muestra totaliza 20,8 millones de toneladas de $CO_{2\text{-eq}}$/año. Esta cifra es equivalente al 1,28% del total de las emisiones que se emitieron en la región en 2019 según el Banco Mundial. Teniendo en cuenta la segunda hipótesis, es decir que los proyectos financiados con

[49] El Aquaculture Stewardship Council (ASC) es una organización independiente sin fines de lucro que establece un programa de certificación y etiquetado que garantiza un proceso de acuicultura sostenible desde el punto de vista medioambiental y responsable desde el punto de vista social.

bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la región, esta puede ser confirmada.

4.A.3. Conclusiones

La primera parte del capítulo ha cumplido con el tercer objetivo de la tesis, que es establecer la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe, medida en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año. Tras recolectar los datos en las fuentes primarias y secundarias, se constató que 47 sobre los 57 bonos de la muestra hicieron público los datos sobre las emisiones de GEI que efectivamente fueron evitadas gracias a los programas financiados. Para seis de los diez emisores restantes, los patrocinados utilizaron otro tipo de indicadores de rendimiento, más adecuados para medir el impacto de los proyectos, y para cuatro no se encontraron datos. En cuanto a la segunda hipótesis de partida, es decir que los proyectos financiados con bonos verdes en LAC contribuyen a mitigar las emisiones de GEI en la región, aquella pudo ser confirmada, puesto que la suma de las emisiones de GEI eludidas por causa de 82% de los proyectos desplegados, equivalió al 1,28% del total de las emisiones de LAC.

Parte B – Proyectos financiados con bonos verdes y cambio climático en LAC

El cuarto objetivo específico de la presente tesis consiste en explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de la región por causa de la financiación de proyectos con bonos verdes. En la sección anterior, se pudo medir las emisiones totales de GEI evitadas gracias a los programas existentes. Seguidamente, se desarrollarán proyecciones realizadas basándose en estas cifras y utilizando ciertos modelos de la revisión teórica.

4.B.1. El modelo EPPA (MIT)

El proyecto CLIMACAP-LAMP descrito en el segundo capítulo es un estudio coordinado de comparación de 14 modelos que se centran en la energía y la mitigación del cambio climático en América Latina. Se trata de una serie de modelos cuantitativos para estudiar los cambios climáticos en todo el sistema terrestre y el efecto de las diversas políticas públicas sobre las proyecciones del futuro cambio climático.

Uno de estos modelos es el "Emissions Prediction & Policy Analysis" (EPPA) promocionado por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) de Estados Unidos. El modelo EPPA proporciona proyecciones del desarrollo económico mundial a escala regional y sectorial, incluidas las implicaciones económicas de las emisiones de GEI, la contaminación atmosférica convencional, el cambio del uso del suelo, la demanda de alimentos y el uso de los recursos naturales. El EPPA simula la evolución de los procesos económicos, demográficos, comerciales y tecnológicos que intervienen en las actividades que afectan al medio ambiente. Es utilizado para investigar las implicaciones económicas de una amplia gama de fenómenos, entre otros:

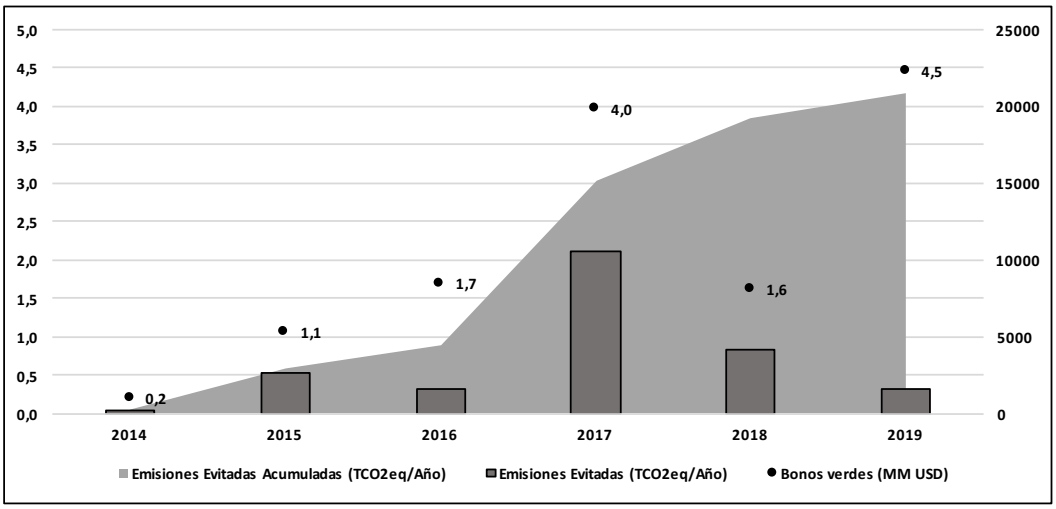
- Los impactos climáticos y medioambientales (por ejemplo, cambios en el rendimiento de los cultivos y la salud humana);
- El agotamiento de recursos y nuevas tecnologías;
- Las políticas destinadas a reducir las emisiones de GEI y otros contaminantes;
- Las políticas destinadas a limitar el comercio o el cambio de uso del suelo;
- El despliegue de tecnologías específicas (por ejemplo, energía eólica, energía solar, captura y almacenamiento de carbono);
- Simulaciones de futuras emisiones de GEI y otros contaminantes;
- Cambios en el uso del suelo y en la cubierta vegetal (IAMC, 2023).

El modelo básico incluye 18 regiones mundiales, entre ellas Latinoamérica y el Caribe. Su año base es 2005. Para las estimaciones de población utiliza las cifras de la ONU, mientras que para el PIB sus fuentes son el Fondo Monetario Internacional (FMI), el "Global Trade Analysis Project (GTAP)" y la Agencia Internacional de Energía (IEA). El GTAP y la IEA también contribuyen con los datos del uso de energía primaria. El consumo de energía y las emisiones de CO_2 son resultados del modelo. Las emisiones se determinan de forma endógena, aplicando factores de emisión específicos de cada combustible a las estimaciones de consumo de combustibles fósiles. Los factores de emisión son idénticos para todas las regiones. El EPPA da parte de las emisiones derivadas del cambio del uso del suelo, la producción de cemento y de los combustibles de biomasa. Sin embargo, no hace un seguimiento de las emisiones procedentes de la quema de gas (van Ruijven et al., 2016).

4.B.1. Proyecciones

La primera parte del capítulo dio cuenta de las emisiones de GEI en LAC evitadas gracias a los proyectos financiados con los bonos verdes emitidos entre 2014 y agosto de 2019. De las 57 emisiones de deuda verde, que representan un total emitido de más de 13 mil millones de USD, se pudo determinar que 47 contribuyeron a evitar un total acumulado de casi 21 mil toneladas de equivalentes de CO_2/año. La figura 25 realiza un desglose anual de las emisiones de GEI evitadas en relación con el monto de bonos verdes emitidos:

Figura 25: Emisiones de GEI evitadas en LAC ($TCO_{2\text{-}eq}$/año)



Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

Las cifras obtenidas para los bonos de la muestra fueron el punto de partida de las proyecciones que se desarrollarán seguidamente. La primera etapa consistió en determinar el número de emisiones de GEI que se evitaron en la región por cada millón de USD de bonos verdes emitido. Utilizando la *Plataforma de datos interactiva* del instituto Climate Bonds Initiative, se obtuvo los montos exactos de los bonos emitidos en la región hasta el año 2022 (Climate Bonds Initiative, 2023). Considerando que para 2019 se calcularon las emisiones evitadas únicamente por los bonos emitidos hasta agosto de ese año, se planteó el primer supuesto que estipula que se evitaron el mismo número de emisiones en el último cuatrimestre que en los ocho primeros meses y se extrapolaron las cifras obtenidas. El resultado es que entre 2014 y 2019 se evitaron en promedio 1717,5 $TCO_{2\text{-}eq}$/año por cada millón de USD de bonos verdes emitidos en LAC.

Durante la segunda fase se estableció el porcentaje del Producto interno bruto de Latinoamérica y el Caribe que representaron los bonos verdes emitidos. Para el PIB de la región, se utilizó la base de datos con los Indicadores del Desarrollo Mundial (IDM) del Banco Mundial (World Bank, 2023). Teniendo en cuenta que las emisiones de bonos verdes cobraron realmente impulso tras la Conferencia sobre el Clima de Paris (COP 21), se consideraron únicamente los volúmenes de bonos verdes emitidos a partir de 2015. El resultado es que entre 2015 y 2022, los bonos verdes emitidos representaron 0,085% del PIB de LAC. La siguiente tabla detalla los datos empleados y los cálculos respectivos:

Tabla 24: Emisiones de GEI evitadas por los proyectos financiados con bonos verdes

	Bonos Verdes (USD M)	**PIB (USD M)**	**% (Bonos Verdes / PIB)**	**Emisiones GEI Evitadas (TCO2/Año)**	**Emisiones GEI Evitadas / Millón USD**
2014	204	6432626		244000	1196,1
2015	1064	5376541	0,020%	2667000	2507,2
2016	1703	5249746	0,032%	1580495	928,3
2017	3962	5832610	0,068%	10607910	2677,1
2018	1622	5706087	0,028%	4129208	2546,3
2019	5200	5622813	0,092%	2339220	449,9
2020	10900	4777569	0,228%		
2021	8900	5510524	0,162%		
2022	3100	6246622	0,050%		
Media			**0,085%**		**1717,5**

Fuente: Climate Bonds Initiative (2023), World Bank (2023),elaboración propia

Finalmente, empleando el modelo EPPA en su escenario de referencia para los países de Latinoamérica, se obtuvieron previsiones para el PIB y las emisiones de CO2 de la región. El

modelo EPPA permite obtener predicciones sobre estas variables hasta el año 2100. Sin embargo, para el presente estudio, únicamente se utilizaron las cifras hasta 2050, las que figuran en la siguiente tabla:

Tabla 25: Modelo EPPA: Predicciones del PIB y de las emisiones de CO_2 en LAC

	2005	2010	2020	2030	2040	2050
Emisiones (TCO2/Año)	4033254	3094505	3263900	3446034	3853485	4332673
PIB (USD M)	2706859	3222273	4417067	6145305	8515346	11765519

Fuente: CLIMACAP-LAMP (2015), elaboración propia

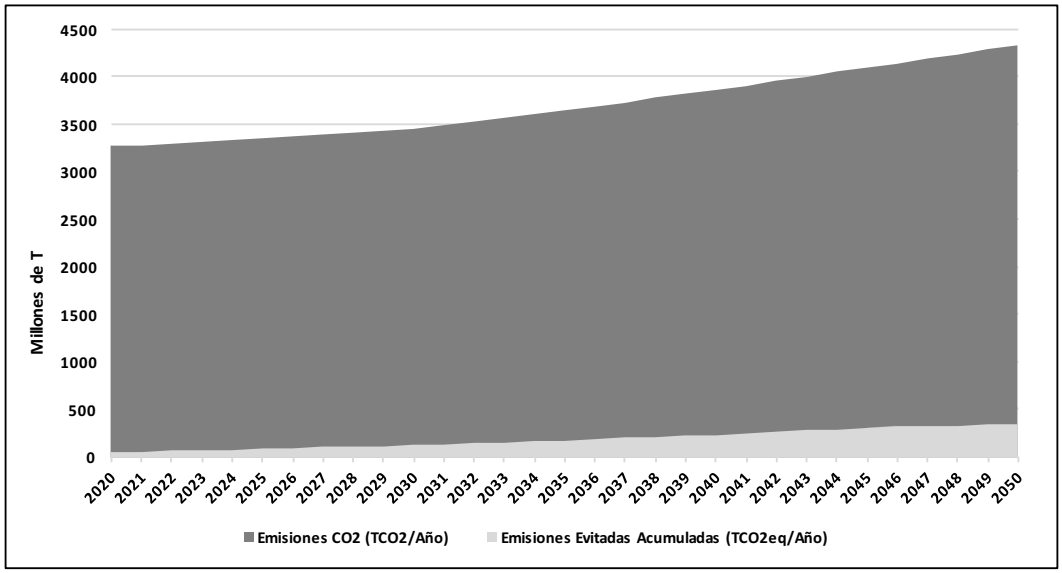
Las proyecciones que se realizaron, para medir el impacto que podrían alcanzar sobre el cambio climático de la región los proyectos financiados con bonos y prestamos verdes, necesitaron una serie de supuestos:

- El monto de bonos verdes -medido en millones de USD- emitido à partir de 2023, es proporcional a una fracción del PIB de LAC, en este caso 0,085%.
- Las emisiones evitadas gracias a los proyectos financiados son calculadas con la media histórica hasta 2019 y corresponden a 1717,5 $TCO_{2\text{-}eq}$/año por cada millón de USD invertido.
- Los proyectos financiados tienen una vida útil de 25 años y durante ese período previenen un número constante de emisiones de $CO_{2\text{-}eq}$. A partir de esta fecha, los proyectos dejan de existir y se retiran sus emisiones evitadas, del total de las emisiones evitadas acumuladas.
- Las predicciones decenales del modelo EPPA permiten obtener cifras anuales aplicando una interpolación lineal.

En base de estas presunciones, se efectuó el primer escenario de proyecciones representado en la figura 26. La lectura del gráfico es que, si el mercado absorbe un volumen de bonos verdes correspondiente al porcentaje promedio histórico del monto emitido con respecto al PIB, las emisiones evitadas con los proyectos financiados con estos instrumentos alcanzarían para 2050 casi el 8% del total de las emisiones de CO_2 de la región. Este escenario indica que se deberían emitir un total de casi 189 mil millones de USD de bonos verdes desde 2023 hasta 2050. Teniendo en cuenta que, según Bloomberg, el mercado de bonos soberanos y corporativos de la región Latinoamérica y el Caribe pesa un total de 4,7 billones de USD a finales de 2023, los

bonos que se deberían emitir en los próximos 27 años representarían únicamente el 4% del total del mercado actual. El detalle de los cálculos se encuentra en el anexo 19.

Figura 26: Primer escenario de proyecciones de emisiones de GEI evitadas en LAC



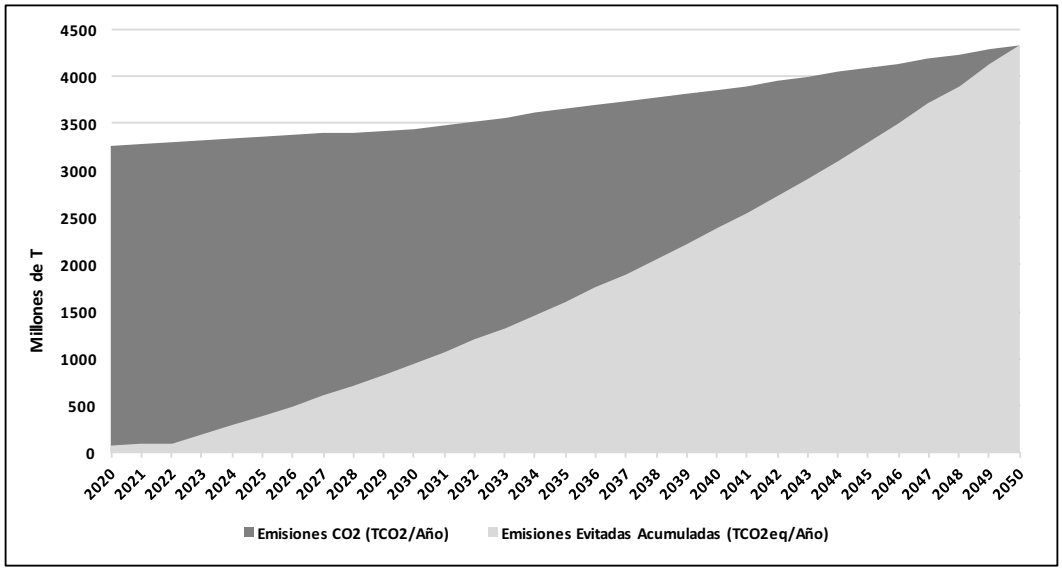
Fuente: CLIMACAP-LAMP (2015), Climate Bonds Initiative (2023), elaboración propia

La media histórica hasta 2019 para calcular las emisiones evitadas gracias a los proyectos financiados es el supuesto que relaciona directamente las proyecciones con los programas analizados previamente. En la primera parte del capítulo, se determinó que, durante el rango de fechas seleccionado, los sectores que más contribuyeron a prevenir nuevas emisiones fueron: la selvicultura comercial con 41%, los eólicos y solares que representaron 29% y 6% respectivamente y el transporte con 14%. Las proyecciones por ende acarrean estas proporciones en el tipo de proyectos que a futuro se deberían de financiar. Teniendo en cuenta que son los sectores que más emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$ generan actualmente, esta suposición parece válida.

Las proyecciones de la figura 26 muestran que para 2050, el 8% del total de las emisiones de CO_2 de la región podrían ser evitadas. Para lograr un mayor impacto sobre el cambio climático en LAC, se construyó un segundo escenario ajustando la variable del monto anual de bonos verdes emitidos. Si el objetivo es evitar el 100% de las emisiones de CO_2 de la región en 2050 gracias a los proyectos financiados, se requeriría emitir anualmente un monto de deuda verde equivalente a 1,122% del PIB a partir de 2023. Bajo este escenario, se lanzarían al mercado un total de casi 2,5 billones de USD de bonos verdes hasta 2050, correspondiente a 53% de la talla

actual del mercado de bonos corporativos y soberanos de la región. La figura 27 representa estas proyecciones mientras que todas las cifras se encuentran en el anexo 20.

Figura 27: Segundo escenario de proyecciones de emisiones de GEI evitadas en LAC



Fuente: CLIMACAP-LAMP (2015), Climate Bonds Initiative (2023), elaboración propia

Tal como se puede observar en la figura 27, el hecho de aumentar al 1% del PIB de la región el volumen de los bonos verdes emitidos, incrementa considerablemente el número de emisiones reducidas. Los otros supuestos siguen siendo idénticos a los del primer escenario, por lo cual los sectores de los proyectos subyacentes son los mismos que los analizados previamente.

4.B.3. Conclusiones

En la segunda parte del capítulo se dio parte del cuarto objetivo de la tesis, que es explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de LAC por la financiación de proyectos medioambientales con bonos verdes en base a técnicas de simulación. Tras describir las características del modelo EPPA, escogido como referencia entre los modelos del proyecto CLIMACAP-LAMP para realizar el trabajo subsiguiente, se enunciaron una serie de supuestos necesarios para planear el volumen de deuda verde emitido y las emisiones de GEI evitadas. El primer escenario de proyecciones se obtuvo con la presuposición de que, a partir de 2023, se emitiría un monto de bonos verdes proporcional a 0,085% del PIB de la región y se evitarían un número de emisiones de GEI correspondientes a la media de emisiones evitadas entre 2014 y 2019. En este caso, las emisiones evitadas gracias a los proyectos financiados llagarían a representar en 2050 el 8% del total de las emisiones de CO_2 de la región. En cuanto al segundo

escenario de proyecciones, este supuso que los mercados de capitales absorberían un monto de bonos verdes equivalentes a 1,112% del PIB de LAC. En este contexto, el impacto sobre el cambio climático de la región sería claramente superior, puesto que se evitarían 100% de las emisiones CO_2 en 2050.

Uno de los supuestos más importantes para realizar las proyecciones fue el del número de emisiones evitadas por millón de USD de bonos verdes emitidos. Este se obtuvo con el trabajo realizado en la primera parte del capítulo, en el cual se trabajó el tercer objetivo de la presente investigación, que es establecer la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de GEI en LAC. Teniendo en cuenta que las emisiones de GEI eludidas por causa de los proyectos desplegados entre 2014 y 2019, equivalieron al 1,28% del total de las emisiones de CO_2 de la región, la segunda hipótesis de partida, es decir que los proyectos financiados con bonos verdes en LAC contribuyen a mitigar las emisiones de GEI en la región, pudo ser confirmada.

Capítulo V – Discusión

A lo largo de esta investigación se ha trabajado alrededor de dos temáticas ampliamente estudiadas por la comunidad académica: las emisiones de gases de efecto invernadero y la ecoeficiencia. La particularidad de este estudio ha sido tratar estos temas alrededor de los instrumentos financieros denominados bonos verdes, y más específicamente de los proyectos financiados con este tipo de deuda. Previamente a enunciar las conclusiones, se impone un trabajo de análisis crítico y de opinión sobre ciertos elementos que se han encontrado a lo largo de este estudio.

5.1. Bonos verdes

5.1.1. Factores de mercado

Los bonos verdes son instrumentos de deuda relativamente recientes puesto que los primeros bonos de este tipo fueron emitidos en 2007 a nivel mundial y siete años después en Latinoamérica. Es a partir de la Conferencia sobre el Clima en Paris (COP21) que los bonos verdes experimentaron una importante expansión. Los mercados financieros son inherentemente cíclicos y su entusiasmo por los productos negociados se traduce generalmente en la creación de productos análogos o derivados.

Durante los años 2000, hubo una enorme oleada hacia los bonos titulizados con hipotecas y hacia otros instrumentos de deuda respaldados por distintos activos financieros, los denominados “collateralized debt obligations (CDO)” en inglés. En plena euforia, se llegaron a crear una gran variedad de instrumentos derivados de los CDO que también contribuyeron a debilitar a las instituciones financieras. En 2008, los bonos respaldados por hipotecas residenciales (los “residential mortgage-backed securities (RMBS)” en inglés) llegaron a representar más del 15% del PIB de Estados Unidos. Actualmente esta cifra es inferior al 2% (Les Cahiers Verts de L’Économie, 2023). El volumen de los bonos verdes ha aumentado considerablemente en los últimos años, provocando la creación de fondos especializados que han atraído ingentes capitales. Sin embrago, el entusiasmo hacia los bonos verdes ha sido relativamente contenido, puesto que, en 2021, estos representaban únicamente entre 0,5% y el 1% del mercado mundial de bonos. A partir de 2015, surgieron otros bonos “sostenibles”, a saber: los bonos sociales (financiación de proyectos sociales) y los bonos sostenibles

(financiación de proyectos verdes y sociales). Más adelante, la aparición de los bonos vinculados a la sostenibilidad (los que no financian proyectos, sino que el cupón o el principal aumenta si el emisor no cumple con ciertos objetivos ambientales o sociales acordados previamente), demuestra la constante evolución de los mercados financieros cuando sienten que una temática atrae un gran número de inversiones. Se cree que los bonos verdes no experimentarán un declive como el de los RMBS y que se instalarán durablemente mientras existan proyectos verdes que financiar. Son instrumentos simples de entender y fáciles de negociar puesto que son similares en todo punto a los bonos convencionales con la diferencia del uso de los fondos. Su impulso no se ha frenado con la creación de los otros instrumentos de deuda mencionados previamente. Sin embargo, desde el punto de vista de un investigador que se interesa en el tipo de proyectos financiados, los bonos sostenibles pueden crear una cierta dispersión, puesto que ciertos programas medioambientales pueden haber sido patrocinados por este tipo de bonos y existe el riesgo de olvidarlos en caso de que el estudio se limite a los bonos verdes.

Por otra parte, durante la presente investigación se pudo constatar en dos ocasiones como las fluctuaciones o los "cambios de humor" de los mercados internacionales afectaron las emisiones de bonos verdes en Latinoamérica. La primera fue en 2018, cuando la subida de los tipos de interés en Estados Unidos creó una deceleración global en la emisión de bonos. Además de la habitual desafección por los mercados emergentes que generan estos episodios de intereses al alza, el contexto latinoamericano con las elecciones en Brasil y México y la crisis económica en Argentina frenaron considerablemente las emisiones de bonos verdes de la región, las que registraron una caída del 59% del volumen emitido con respecto al año anterior. En 2022, un año de fuertes alzas de las tasas de interés a nivel mundial con el objeto de combatir la inflación, fue la segunda vez que se comprobó durante este estudio una reducción en el volumen de emisiones de bonos verdes en LAC, en este caso del 65% con respecto a 2021. Tal como se mencionó en la revisión teórica, los tipos de interés altos tienden a desincentivar el endeudamiento y los bonos verdes no son la excepción a esta regla. Mientras tanto, el calentamiento global no se detuvo por causa de las acciones de los bancos centrales: al contrario, la temperatura superficial promedio global de la Tierra aumentó tanto en 2018 como en 2022 (NASA, 2023). Nos parece entonces que para combatir el cambio climático es necesario combinar los bonos verdes con otro tipo de productos financieros, tal como los fondos de impacto de capital privado o de deuda privada, cuyos recursos también se utilizan para financiar proyectos a favor de la preservación del planeta. Este tipo de fondos de inversión son

generalmente patrocinados por fundaciones (como por ejemplo la Gordon and Betty Moore Foundation) a largo plazo, y dependen menos de los vaivenes de los mercados financieros.

5.1.2. Factores intrínsecos

El uso de los fondos y la selección de los proyectos financiados son dos de las características más relevantes de los bonos verdes. Al definir este tipo de bonos, se insistió en la importancia que los Principios de los Bonos Verdes (GBP) conceden a los informes sobre el uso de los fondos. El ICMA recomienda publicar informes con una frecuencia anual que incluyan una lista de los proyectos a los que se han asignado los fondos, una breve descripción de estos programas, las cantidades asignadas y su impacto esperado. El Marco Armonizado para Informes de Impacto de los GBP es un manual que resume los principios básicos generales y las recomendaciones para la elaboración de informes, con el fin de ayudar a los emisores a desarrollar sus propios informes. Normalmente, los emisores que indican en su folleto de emisión o en cualquier documento oficial referente a la emisión de bonos verdes, que están alineados con los GBP, deberían de publicar algún tipo de informe de asignación de fondos, aunque sea con un nivel de detalle condensado. No obstante, durante esta investigación, hemos encontrado varios casos en que los emisores alegan estar alineados con los GBP y para los cuales no se pudo encontrar ningún tipo de informe de asignación de los fondos. Dos ejemplos dentro de los bonos verdes de la muestra son: Athon Energia (bono número 6 del anexo 2) y NAFIN en MXN (bono número 45 del anexo 2), cuyos informes de segunda opinión confirman la alineación con los GBP. Se podría aumentar considerablemente la transparencia de los bonos verdes tanto hacia los inversionistas como hacia los investigadores, si los emisores del continente publican este tipo de informes sistemáticamente. Las publicaciones deberían de materializarse muy particularmente en los casos en que los emisores se han comprometido a hacerlo, como en los dos ejemplos anteriores, para evitar cualquier riesgo de reputación o de sospecha de "greenwashing".

La falta de informes de asignación de fondos o la carencia de detalles ampliados no facilitó el trabajo de investigación sobre los proyectos financiados con bonos verdes. No somos los primeros en encontrar esta dificultad, puesto que Mejía-Escobar et al. (2021) indican en sus conclusiones que las principales limitaciones a su estudio sobre el mercado de bonos verdes en LAC fueron: (i) la imposibilidad de recopilar los elementos detallados de todas las transacciones para lograr un análisis cuantitativo más riguroso; (ii) el hecho que los inversores no publican información detallada sobre la localización de los proyectos; (iii) la dificultad de

no conocer los subsectores o el tipo de activo invertido. Para sacar adelante la presente investigación, fue necesario consultar varias fuentes de datos y contactar directamente a los emisores. Como fue señalado en varias oportunidades, durante estos tratos con los departamentos de relaciones con los inversionistas o de sostenibilidad, se pudo constatar que el personal de estas divisiones no siempre estaba familiarizado con los detalles técnicos de los proyectos y que no supo brindar acceso a las unidades operativas. Sería ideal que los emisores pongan a disposición la mayor cantidad de información posible sobre los proyectos financiados ya sea a través de los informes o de sus departamentos de comunicación, para que la investigación científica pueda avanzar y transcribir los beneficios y el impacto de estos programas y, de forma más general para el buen desarrollo del mercado de bonos verdes en la región.

5.2. Ecoeficiencia

Una parte de la presente investigación se dedicó a determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes. El concepto de ecoeficiencia en sí es relativamente intuitivo, puesto que en su definición más simple se trata de aumentar la producción reduciendo el impacto medioambiental. La fabricación de bienes o el volumen de ventas son cifras generalmente calculadas y publicadas por la mayor parte de los actores económicos como de las empresas. En cambio, los indicadores de influencia ambiental son de menor divulgación además de ser complejos de calcular. En el presente estudio, para determinar el indicador de emisiones de GEI ($TCO_{2\text{-}eq}$) de los proyectos analizados, se recurrió al método del análisis de ciclo de vida (ACV). A pesar de que el ACV es una técnica consensuada y sujeta a las normas ISO, es un método complejo y técnico para el cual es necesario tener acceso a todos los niveles de la empresa o del proyecto. El alto nivel de conocimientos técnicos necesarios hace que su cálculo sea accesible únicamente a ingenieros o físicos, como es el caso de los autores de los estudios que se utilizaron. Es indispensable para aumentar la transparencia que los productores de turbinas eólicas y de paneles fotovoltaicos calculen y publiquen sistemáticamente los ACV de sus productos.

Esta observación es igualmente válida para otras técnicas que se utilizaron como el costo nivelado de la energía (LCOE) o los modelos de evaluación integrada (MEI). Los fenómenos que afectan al cambio climático son fenómenos físicos y meteorológicos, y para poder crear un puente con las ciencias económicas y las finanzas, se debería bajar el nivel de competencia

técnica y poner todos los resultados a disposición. Al mismo tiempo, los inversionistas deben recurrir a expertos en estas áreas, como el que se contactó durante esta investigación, para acelerar su comprensión de los proyectos financiados y del impacto de estos sobre el calentamiento global.

En cuanto al método de BASF con el que se trabajó la ecoeficiencia de los proyectos eólicos y solares, es una técnica que ha sido diseñada para operacionalizar la ecoeficiencia con fines empresariales y permitir una visión rápida de la relevancia relativa de los bienes o servicios analizados. Efectivamente, tras haber aplicado este procedimiento, podemos confirmar que es un método que permite lograr resultados en términos de ecoeficiencia relativa, que pueden ser interpretados fácilmente, en particular gracias a los diagramas de las carteras de ecoeficiencia.

5.3. Datos medioambientales

Los principales organismos supranacionales investigan y realizan publicaciones sobre el cambio climático. Durante toda la investigación, se han consultado documentos del Banco Mundial, el Fondo Monetario Internacional y de Naciones Unidas; igualmente de otras instituciones internacionales especializadas como la Agencia Internacional de Energía (IEA), el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) o el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), que también ponen a disposición de la comunidad científica sus informes y las estadísticas utilizadas. Sin embargo, algunas bases de datos especializadas, que disponen de ciertas cifras claves como BloombergNEF o Standard & Poor's, son únicamente accesibles previo pago de una tarificación que nos parece prohibitiva para un investigador cuya institución académica o labor profesional no le brinde acceso.

Con respecto a los bonos verdes, existen varias iniciativas para fomentar el desarrollo y aumentar la transparencia del mercado. La organización *Environmental Finance (EF)* brinda acceso público vía su página web a noticias e informes sobre bonos verdes, pero únicamente los subscriptores pueden utilizar su base de datos. En Latinoamérica, la *Plataforma de Transparencia de Bonos Verdes,* patrocinada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) apoya la armonización y estandarización del reporte de bonos verdes, ofreciendo un espacio digital gratuito a los emisores para que estos puedan reportar sobre el uso de los ingresos y los datos de impacto de sus bonos. Otro organismo es el instituto *Climate Bond Initiative (CBI)* cuyo principal objetivo es el de proveer información sobre el mercado de bonos verdes. A este

fin, el antes citado publica regularmente informes regionales y sobre el estado del mercado. La base de datos de bonos verdes del CBI es una de las más completas del mercado y su Taxonomía de los Bonos Climáticos es una referencia para la clasificación de este tipo de bonos. Sobre la base de datos, el CBI facilita en su página web la lista de todos los bonos verdes "etiquetados" de los últimos tres meses. Para un mayor rango de fechas, proporciona datos completos sobre las emisiones y los emisores únicamente a sus socios o con una tarifa reducida a las ONG, las instituciones políticas y académicas. Al solicitar la información en 2019, este sistema de remuneración no existía para las instituciones académicas. Nuevamente se constata que el buen desarrollo de una investigación académica puede encontrar ciertas trabas si no se obtiene una financiación adecuada. A pesar de que sea normal que los organismos como el CBI o el EF sean remunerados por su trabajo, se podría fomentar más los estudios sobre bonos verdes si es que los datos fuesen accesibles, sin facturación, a las universidades y demás instituciones educativas.

La reflexión sobre las bases de datos de bonos verdes concluye este capítulo dedicado a las observaciones que han surgido sobre las fuentes, las técnicas y los conceptos utilizados a lo largo de la realización de este estudio. Una vez estos puntos expuestos, se puede dar paso a continuación a las conclusiones y las contribuciones.

Conclusiones

En este trabajo de investigación se ha desarrollado la temática de los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, centrándose por una parte en la ecoeficiencia relativa de éstos y por otra parte en su aporte a la reducción a las emisiones de GEI de la región. Seguidamente, se sintetizarán los principales asuntos que se han tratado durante la elaboración de la tesis, haciendo referencia al cumplimiento de los objetivos, la convalidación de las hipótesis, los hallazgos y las contribuciones para investigaciones futuras.

El objetivo general enunciado fue: "*Determinar la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Latinoamérica y el Caribe, midiendo las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de estos programas".*
Se han medido las emisiones de GEI evitadas debido a los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, en términos de $CO_{2\text{-eq}}$, determinando así que estos programas contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la región. Además, utilizando el método de BASF, se pudo establecer que los proyectos eólicos y solares financiados con bonos verdes en LAC son relativamente más ecoeficientes que otros programas alternativos. Juntando estos dos hallazgos, se puede afirmar que se cumplió parcialmente con el objetivo general de la tesis; *parcialmente* debido a que no se estableció la ecoeficiencia relativa de *todos* los subsectores financiados con los bonos verdes de la muestra. Seguidamente, se dará cuenta de la metodología que guiaron el rumbo de este trabajo y del cumplimiento de los objetivos específicos.

La estrategia de investigación que acompañó todo el proceso es de orden cuantitativo, puesto que se trató con los tipos de proyectos financiados, la ecoeficiencia y las emisiones de GEI, que son fenómenos a los que se pudieron medir y asignar números. Es una estrategia que implica una visión deductiva de la relación entre teoría e investigación, una predilección por el enfoque del positivismo y una concepción objetivista de la realidad social. El número de bonos emitidos, la financiación de ciertos sectores específicos, el precio de venta de la electricidad de los campos eólicos o de los parques solares y las emisiones de GEI, son fenómenos que representan una realidad externa y autónoma, fuera del alcance del investigador. El diseño de investigación no experimental fue el apropiado para medir variables como el valor ecoeficiente y el impacto

medioambiental de los proyectos financiados que son variables existentes, que se analizaron sin ningún tipo de manipulación del investigador.

Se recortó la población, conservando únicamente los bonos verdes auto-etiquetados de la base de datos del instituto Climate Bond Initiative (CBI) emitidos entre diciembre de 2014 y agosto de 2019 por empresas y entidades domiciliadas en los países y territorios de la región denominada Latinoamérica y el Caribe (LAC). Igualmente, se realizó una clasificación sectorial en tres etapas, basada en los ocho sectores y los 43 subsectores de la Taxonomía del CBI, que permitió determinar los 75 proyectos financiados con bonos verdes que fueron parte del análisis.

La investigación cuantitativa implica la recolección de datos numéricos y, con el fin de medir las variables, se utilizaron cuatro fuentes de datos secundarios: los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión de bonos, las revisiones externas y la base de datos BloombergNEF. También se aplicó una de las técnicas de recolección más empleadas en la observación de los fenómenos sociales, los cuestionarios a los emisores. Se contactó además a expertos medioambientales, académicos y profesionales del área. Finalmente, se establecieron dos técnicas (el análisis del ciclo de vida (ACV) y el costo nivelado de la electricidad (LCOE)) y el modelo EPPA, que se utilizaron para responder a los objetivos específicos enunciados.

Objetivo específico 1: ***Describir las características y el desarrollo del mercado de los bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe, desde 2014 hasta 2019.***

El primer objetivo se cumplió realizando un análisis descriptivo que utilizó los datos encontrados en las fuentes secundarias propias a los bonos verdes, es decir: los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión de bonos y las revisiones externas. Durante este análisis se constató que, en términos de repartición geográfica, es Brasil el país que más bonos emitió en la región (22 bonos, 43% del monto equivalente en dólares emitido), seguido de Chile con siete emisiones (24% del monto) y México con siete emisiones (11% del monto). También se identificó a las empresas privadas y los bancos de desarrollo como el tipo de emisores que más operaciones realizaron: 40 bonos sobre 57, que representan 63% del volumen emitido. En lo que se refiere a la moneda de emisión de los bonos verdes de LAC, se precisó que el 79% del volumen se realizó en divisas fuertes (EUR y USD) y la mayor parte en dólares estadounidenses (67%). En cuanto a las fechas de vencimiento, el 84% de los bonos se emitieron con plazos de vencimiento superiores a cinco años, generando deudas con términos

largos, idóneas para financiar proyectos que toman tiempo en realizarse. El análisis del uso de los fondos permitió determinar qué tipos de proyectos se financiaron, siendo de la muestra, el sector de la energía el que más fondos recibió, con más de 40% de los ingresos de los bonos verdes de LAC destinados a proyectos renovables.

Objetivo específico 2: ***Determinar las contribuciones relativas a la ecoeficiencia de los proyectos financiados con bonos verdes en relación con otros programas alternativos.***

Tratar el tema de la ecoeficiencia a través de los bonos verdes y más específicamente de los proyectos financiados con este tipo de deuda constituye el elemento innovador del presente trabajo. Para cumplir con el segundo objetivo, se realizó en primer lugar un trabajo de recolección de datos sectoriales utilizando tres fuentes secundarias, a saber: los informes de asignación de fondos, los folletos de emisión de bonos y las revisiones externas. Es así como se determinó que los bonos verdes de la muestra financiaron 75 proyectos elegibles dentro de 16 subsectores diferentes de la Taxonomía del CBI. Teniendo en cuenta que detrás de cada "proyecto" existen en realidad una serie de proyectos financiados, la investigación se centró en el sector más financiado, la energía (40% de los ingresos), y particularmente en los subsectores de eólicas y solares. Respecto a los programas eólicos, con los informes y documentos de bonos verdes, se determinó que los 17 "proyectos" financiaron total o parcialmente 92 campos eólicos en LAC. Se enviaron cuestionarios autoadministrados a los emisores de los bonos verdes y a los constructores de los aerogeneradores, se consultaron a expertos en el tema y en base a las tres fuentes de datos secundarios mencionadas previamente más la base BloombergNEF, se consiguieron datos para poder calcular la ecoeficiencia relativa de 81 campos eólicos. Utilizando el método de BASF, se compararon estos campos eólicos con cinco fuentes alternativas de energía eléctrica: hidráulica, gas, biomasa, carbón y nuclear. Los resultados mostraron que, con excepción de la energía nuclear, los proyectos eólicos financiados son en su mayoría (77 a 100% de los casos) más ecoeficientes que los proyectos genéricos de las cuatro otras fuentes de energía. En cuanto a los siete proyectos solares, los bonos verdes latinoamericanos financiaron total o parcialmente 22 parques fotovoltaicos. Empleando la misma metodología que para los campos eólicos, se llegó a una lectura de resultados muy similar: los proyectos solares financiados son en su mayoría (95 a 100% de los casos) relativamente más ecoeficientes que los proyectos genéricos alternativos, nuevamente a excepción de la energía nuclear. En vista de que no se analizó la ecoeficiencia relativa de todos los subsectores de la muestra, se puede decir que se cumplió *parcialmente* con el segundo objetivo específico.

El trabajo de análisis, condujo a la validación de la primera hipótesis de partida que fue enunciada de la siguiente forma:

> *Hipótesis 1: Los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe son ecoeficientes en relación a otros programas alternativos.*

Teniendo en cuenta nuevamente que el método de BASF se aplicó únicamente a dos subsectores, esta hipótesis pudo ser confirmada en el caso de los proyectos de energía eólica y solar.

Objetivo específico 3: ***Establecer la incidencia de los proyectos financiados con bonos verdes sobre las emisiones de GEI en Latinoamérica y el Caribe, medida en términos de toneladas de equivalentes de CO_2/año.***

Fue igualmente innovador estudiar la temática de los GEI mediante los proyectos financiados con bonos verdes. Se cumplió con el tercer objetivo específico de la tesis recolectando métricas sobre las emisiones de GEI evitadas en las fuentes primarias (cuestionarios a los emisores) y secundarias (reportes de asignación de fondos y opiniones de segundas partes). Se constató que 47 sobre los 57 bonos de la muestra hicieron público los datos sobre las emisiones de GEI que efectivamente fueron evitadas gracias a los programas financiados. En base del desglose sectorial utilizado a lo largo de la investigación, se confirmó una correspondencia entre los subsectores que mayores fondos recibieron y las emisiones evitadas, a saber: (i) la selvicultura comercial (41% de las emisiones prevenidas); (ii) la energía con los proyectos eólicos y solares (29% y el 6% respectivamente); (iii) el transporte (14%). La relación geográfica también se comprobó, puesto que Brasil y México, los países más contaminadores, fueron parte del pódium de la nacionalidad de los proyectos que evitaron el mayor número de emisiones de $CO_{2\text{-eq}}$ (55% y 16% respectivamente). En total, se demostró que la suma de las emisiones de GEI eludidas por causa de 82% de los proyectos desplegados, equivalió al 1,28% del total de las emisiones de LAC.

Este resultado condujo a la validación de la segunda hipótesis, que fue formulada de la siguiente manera:

Hipótesis 2: los proyectos financiados con bonos verdes en Latinoamérica y el Caribe contribuyen a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en la región.

Objetivo específico 4: ***Explorar el futuro alcance sobre el cambio climático de la región por la financiación de proyectos medioambientales con bonos verdes en base a técnicas de simulación.***

El cuarto objetivo específico se cumplió gracias al modelo de proyecciones EPPA, escogido entre los 14 modelos del proyecto CLIMACAP-LAMP. Fueron necesarios además una serie de supuestos para planear el volumen de deuda verde emitido y las emisiones de GEI evitadas. El primer escenario de proyecciones se obtuvo con la presuposición de que, a partir de 2023, se emitiría un monto de bonos verdes proporcional a 0,085% del PIB de la región y se evitarían un número de emisiones de GEI correspondientes a la media de emisiones evitadas entre 2014 y 2019, es decir 1717,5 $TCO_{2\text{-}eq}$/año por cada millón de USD de bonos verdes emitidos en LAC. En este caso, las emisiones prevenidas gracias a los proyectos financiados llegarían a representar en 2050 el 8% del total de las emisiones de CO_2 de la región. En cuanto al segundo escenario de proyecciones, este supuso que los mercados de capitales absorberían un monto de bonos verdes equivalentes a 1,112% del PIB de LAC, manteniendo los demás supuestos sin cambios. En este contexto, el impacto sobre el cambio climático de la región sería claramente superior, puesto que se evitarían 100% de las emisiones CO_2 en 2050.

Hallazgos

El hecho que las empresas latinoamericanas hayan ingresado al mercado de los bonos verdes demuestra en sí una real implicación a favor del medioambiente, puesto que es una región expuesta a dificultades económicas y problemas en la aplicación de las normativas. Se podría pensar que en este tipo de zonas emergentes la temática medioambiental pudiese ser relegada a un segundo plano por el sector privado. Sin embargo, las respuestas a los cuestionarios enviados a los emisores demostraron lo contrario, puesto que, en varios casos, estas fueron otorgadas directamente por directivos de las empresas, que manifestaron su preocupación por el cambio climático, su voluntad a colaborar abiertamente y su interés por los resultados de la presente investigación.

Reflexiones para estudios a futuro

Queda pendiente analizar la ecoeficiencia relativa de los otros subsectores financiados con los bonos verdes de la muestra. Teniendo en cuenta que se identificaron 16 subsectores y que, a

cada denominado “proyecto” corresponden en su mayoría varios programas que fueron financiados total o parcialmente con los recursos de los bonos, los estudios futuros podrían concentrarse en los demás subsectores que recibieron la mayor cantidad de fondos, como la silvicultura comercial, el transporte o la infraestructura hidráulica. La metodología aplicada a lo largo del trabajo podría replicarse a otros subsectores como por ejemplo el de la energía hidroeléctrica.

A su vez, otra línea de investigación sería ampliar el estudio a los proyectos a favor del medioambiente financiados por el tipo de bonos denominados sostenibles, que financian a la vez programas verdes y sociales. El hecho de incluir estos proyectos permitiría ampliar el número de casos estudiados, potencialmente reforzando los resultados obtenidos. Así mismo, se podría desarrollar una mirada hacia otro continente, África, que es otra región que forma parte de los mercados emergentes, donde cada vez más países emiten bonos verdes.

En términos más generales, tal como que se ha llevado a cabo en la presente tesis, la comunidad académica podría realizar más estudios sobre los proyectos financiados con bonos verdes, puesto que son estos programas los que van a influir directamente sobre el cambio climático de la región. Teniendo en cuenta la gran variedad de sectores y activos financiados, el campo de investigación es vasto y se debe explorar más a fondo.

Referencias bibliográficas

Abad Romero, P., & Robles Fernández, M. D. (2003). Estructura temporal de los tipos de interés: Teoría y evidencia empírica. *RAE: Revista Asturiana de Economía*, *27*, 7-47.

AES Brasil. (2022). *Relatório Integrado de Sustentabilidade 2021* (pp. 1-117).

Agliardi, E., & Agliardi, R. (2021). Corporate green bonds: Understanding the greenium in a two-factor structural model. *Environmental and Resource Economics*, *80*(2), 257-278.

Alonso-Conde, A.-B., & Rojo-Suárez, J. (2020). On the effect of green bonds on the profitability and credit quality of project financing. *Sustainability*, *12*(16), 6695.

Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., & Brano, V. L. (2008). Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *12*(1), 200-217.

Arellano Cadena, R., & Pérez Delgado, L. (2019). Bonos verdes versus bonos convencionales:?` existe una demanda diferenciada en México? *The Anáhuac Journal*, *19*(1), ág-59.

Arosemena, M. A., & Arango, L. E. (2002). Lecturas alternativas de la estructura a plazo: Una breve revisión de literatura. *Borradores de Economía; No. 223*, *No. 223*.

Arvesen, A., & Hertwich, E. G. (2012). Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and sustainable energy reviews*, *16*(8), 5994-6006.

Asdrubali, F., Baldinelli, G., D'Alessandro, F., & Scrucca, F. (2015). Life cycle assessment of electricity production from renewable energies: Review and results harmonization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *42*, 1113-1122.

Bachelet, M. J., Becchetti, L., & Manfredonia, S. (2019). The green bonds premium puzzle: The role of issuer characteristics and third-party verification. *Sustainability*, *11*(4), 1098.

Baker, M., Bergstresser, D., Serafeim, G., & Wurgler, J. (2018). *Financing the response to climate change: The pricing and ownership of US green bonds*. National Bureau of Economic Research.

Banga, J. (2019). The green bond market: A potential source of climate finance for developing countries. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, *9*(1), 17-32. https://doi.org/10.1080/20430795.2018.1498617

BBVA México. (2020). *Segundo Informe Anual de Seguimiento del Bono Verde de BBVA México* (pp. 1-10).

Bell, E., & Bryman, A. (2015). *Business research methods* (Fourth Edition). Oxford university press.

Bernabé Argandoña, L. C., Cruz Rambaud, S., & López Pascual, J. (2022). The impact of sustainable bond issuances in the economic growth of the Latin American and Caribbean countries. *Sustainability*, *14*(8), 4693.

Bhandari, R., Kumar, B., & Mayer, F. (2020). Life cycle greenhouse gas emission from wind farms in reference to turbine sizes and capacity factors. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 123385.

Bhutta, U. S., Tariq, A., Farrukh, M., Raza, A., & Iqbal, M. K. (2022). Green bonds for sustainable development: Review of literature on development and impact of green bonds. *Technological Forecasting and Social Change*, *175*, 121378.

BNCR. (2021). *Green Bonds Report Banco Nacional de Costa Rica* (pp. 1-3).

Bodie, Z., Kane, A., & Marcus, A. J. (2014). *Investments* (10th ed.). McGraw-Hill.

BRF S.A. (2021). *Green Bond Report 2020* (pp. 1-30).

CABEI. (2022). *Green Bond Impact Report 2021* (pp. 1-9).

Cbonds. (2023). *Prospectus*. cbonds.com. https://cbonds.com/glossary/prospectus/

CECODES. (2000). *Eco-efficiencia: Creando más valor con menos impacto* (pp. 1-42). Concejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible.

CFI. (2023). *Levelized Cost of Energy (LCOE)*. Corporate Finance Institute. https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/levelized-cost-of-energy-lcoe/

Chipindula, J., Botlaguduru, V. S. V., Du, H., Kommalapati, R. R., & Huque, Z. (2018). Life cycle environmental impact of onshore and offshore wind farms in Texas. *Sustainability*,

10(6), 2022.

CLIMACAP-LAMP. (2015). *CLIMACAP-LAMP Scenario database*. CLIMACAP-LAMP Scenario database. https://tntcat.iiasa.ac.at/CLIMACAP-LAMPDB/dsd?Action=htmlpage&page=welcome

Climate Bonds Initiative. (2019a). *América Latina y el Caribe: Estado del mercado de las finanzas verdes 2019* (pp. 1-31).

Climate Bonds Initiative. (2019b). *Bonos verdes de la base de datos del Climate Bonds Initiative (región LAC, 12/2014- 08/2019)* [dataset].

Climate Bonds Initiative. (2021). *Taxonomía de Climate Bonds* (pp. 1-17).

Climate Bonds Initiative. (2022a). *Climate Bonds Initiative Green Bond Database Methodology* (pp. 1-25).

Climate Bonds Initiative. (2022b). *Five steps to five trillon*. https://www.climatebonds.net/files/releases/cbi_5steps_to_5trillion_03d_0.pdf

Climate Bonds Initiative. (2022c). *Sustainable Debt Global State of the Market 2021* (pp. 1-38).

Climate Bonds Initiative. (2015). *The Paris Green Bond Statement | Climate Bonds Initiative*. https://www.climatebonds.net/. https://www.climatebonds.net/resources/press-releases/paris-green-bonds-statement

Climate Bonds Initiative. (2023). *Climate Bonds Initiative | Mobilizing debt capital markets for climate change solutions*. https://www.climatebonds.net/

Cox, J. C., Ingersoll, J. E., & Ross, S. A. (1985). A Theory of the Term Structure of Interest Rates. *Econometrica*, *53*(2), 385-407.

Crescenzi, A. (2010). *The Strategic Bond Investor: Strategic Tools to Unlock the Power of the Bond Market* (Second Edition). McGraw Hill Professional.

Culbertson, J. M. (1957). The term structure of interest rates. *The Quarterly Journal of Economics*, *71*(4), 485-517.

D'Amico, S., & King, T. B. (2013). Flow and stock effects of large-scale treasury purchases:

Evidence on the importance of local supply. *Journal of Financial Economics*, *108*(2), 425-448. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2012.11.007

Deschryver, P., & De Mariz, F. (2020). What future for the green bond market? How can policymakers, companies, and investors unlock the potential of the green bond market? *Journal of risk and Financial Management*, *13*(3), 61.

DuPont, C., Levitt, J., & Bilmes, L. (2015). *Green Bonds and Land Conservation: The Evolution of a New Financing Tool* (SSRN Scholarly Paper ID 2700311). Social Science Research Network. https://doi.org/10.2139/ssrn.2700311

Durán Quintana, C. E., & Morales Zamora, R. (2020). *Comparación de las tasas de colocación de bonos verdes y sociales respecto a bonos convencionales* [Universidad Finis Terrae (Chile) Facultad de Economía y Negocios]. https://repositorio.uft.cl/xmlui/handle/20.500.12254/1908

Ember. (2023). *Electricity Data Explorer | Open Source Global Electricity Data*. Ember. https://ember-climate.org/data/data-tools/data-explorer/

Environmental Finance. (2023). *Sustainable Bonds Insight 2023* (pp. 1-68). https://www.environmental-finance.com/assets/files/research/sustainable-bonds-insight-2023.pdf

Eser, F., Lemke, W., Nyholm, K., Radde, S., & Vladu, A. (2019). Tracing the impact of the ECB's asset purchase programme on the yield curve. *ECB Working Paper*, *No. 2293*.

Fabozzi, F. J. (2007). *Fixed income analysis* (Vol. 6). John Wiley & Sons.

Fatica, S., & Panzica, R. (2021). Green bonds as a tool against climate change? *Business Strategy and the Environment*, *30*(5), 2688-2701.

Fatica, S., Panzica, R., & Rancan, M. (2021). The pricing of green bonds: Are financial institutions special? *Journal of Financial Stability*, *54*, 100873.

FEBRABAN, & CEBDS. (2016). *Guidelines for Issuing Green Bonds in Brazil 2016* (pp. 1-52).

Feron, P. (2016). *Absorption-based post-combustion capture of carbon dioxide*. Woodhead publishing.

Flammer, C. (2020). Green bonds: Effectiveness and implications for public policy. *Environmental and Energy Policy and the Economy*, *1*(1), 95-128.

França, W. T., Barros, M. V., Salvador, R., de Francisco, A. C., Moreira, M. T., & Piekarski, C. M. (2021). Integrating life cycle assessment and life cycle cost: A review of environmental-economic studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *26*, 244-274.

Frank, M. Z., & Goyal, V. K. (2008). Trade-Off and Pecking Order Theories of Debt. En B. E. Eckbo (Ed.), *Handbook of Empirical Corporate Finance* (Vol. 2, pp. 135-202). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53265-7.50004-4

Frischknecht, R., Heath, G., Raugei, M., Sinha, P., & de Wild-Scholten, M. (2016). *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity, 3rd edition* (Report IEA-PVPS T12-08:2016). International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme.

Gerbinet, S., Belboom, S., & Léonard, A. (2014). Life Cycle Analysis (LCA) of photovoltaic panels: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *38*, 747-753.

Gianfrate, G., & Peri, M. (2019). The green advantage: Exploring the convenience of issuing green bonds. *Journal of Cleaner Production*, *219*, 127-135.

Gilchrist, D., Yu, J., & Zhong, R. (2021). The limits of green finance: A survey of literature in the context of green bonds and green loans. *Sustainability*, *13*(2), 478.

Gobierno de Chile. (2022). *Bonos Verdes, Sociales y Sostenibles Reporte 2021 de Asignación, Elegibilidad e Impacto Ambiental y Social* (pp. 1-52).

Gobierno de La Rioja. (2020). *Province of La Rioja* (pp. 1-23).

GreenFacts. (2023a). *Glosario: La Agencia Internacional de Energías Renovables*. https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/agencia-internacional-energias-renovables.htm

GreenFacts. (2023b). *Glosario: Potencial de calentamiento global:* GreenFacts. https://www.greenfacts.org/es/glosario/pqrs/potencial-calentamiento-global.htm

GreenFacts. (2023c). *Glosario: World Wind Energy Association*.

https://www.greenfacts.org/es/glosario/wxyz/wwea.htm

Grupo Bancolombia. (2021). *Informe de Gestion 2020* (pp. 1-386).

Grupo BMV. (2016). *Reporte de Sustentabilidad 2016* (pp. 1-64).

Hachenberg, B., & Schiereck, D. (2018). Are green bonds priced differently from conventional bonds? *Journal of Asset Management*, *19*(6), 371-383.

Heijungs, R., Settanni, E., & Guinée, J. (2013). Toward a computational structure for life cycle sustainability analysis: Unifying LCA and LCC. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *18*, 1722-1733.

Hernández Chanto, A. H. (2008). El método hipotético-deductivo como legado del positivismo lógico y el racionalismo crítico: Su influencia en la economía. *Revista de Ciencias Económicas*, *26*(2).

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). Mc Graw Hill Education.

Hicks, J. R. (1946). *Value And Capital* (2nd ed.). Oxford University Press.

Huppes, G., & Ishikawa, M. (2005). Eco-efficiency and ItsTerminology. *Journal of Industrial Ecology*, *9*(4), 43-46. https://doi.org/10.1162/108819805775247891

IAMC. (2023). *EPPA – Emissions Prediction & Policy Analysis – iamconsortium*. Integrated Assessment Consortium (IAMC). https://www.iamconsortium.org/resources/model-resources/eppa/

ICMA. (2021). *Principios de los Bonos Verdes—Guía del Procedimiento Voluntario para la Emisión de Bonos Verdes—Junio 2021* (pp. 1-12). https://www.icmagroup.org/assets/documents/Regulatory/Green-Bonds/Translations/2021/Spanish-GBP-2021.pdf?vid=2

ICMA. (2022a). *Guidelines for Green, Social, Sustainability and Sustainability- Linked Bonds External Reviews* (pp. 1-7). https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2022-updates/External-Review-Guidelines_June-2022-280622.pdf

ICMA. (2022b). *Harmonised Framework for Impact Reporting* (pp. 1-75). https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/2022-

updates/Harmonised-Framework-for-Impact-Reporting-Green-Bonds_June-2022v2-020822.pdf

IEA, & NEA. (2020). *Projected Costs of Generating Electricity 2020 Edition* (7531; pp. 1-223). https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020

IMF. (2021). *Climate Change Challenges in Latin America and the Caribbean* (pp. 1-51). https://www.imf.org/en/Publications/REO/WH/Issues/2021/10/21/Regional-Economic-Outlook-October-2021-Western-Hemisphere

Immel, M., Hachenberg, B., Kiesel, F., & Schiereck, D. (2022). Green bonds: Shades of green and brown. En *Risks Related to Environmental, Social and Governmental Issues (ESG)* (pp. 21-34). Springer.

IPCC. (2023). *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report (AR6)—Summary for Policymakers* (pp. 1-36). https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

ISO. (2006). *ISO 14040, Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework* (pp. 1-28).

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure. *Journal of Financial Economics*, *3*(4), 305-360.

Joyce, M., Lasaosa, A., Stevens, I., & Tong, M. (2011). The financial market impact of quantitative easing in the United Kingdom. *International Journal of Central Banking*, *7*(3), 113-161.

Kannan, R., Leong, K. C., Osman, R., Ho, H. K., & Tso, C. P. (2006). Life cycle assessment study of solar PV systems: An example of a 2.7 kWp distributed solar PV system in Singapore. *Solar energy*, *80*(5), 555-563.

Kapraun, J., Latino, C., Scheins, C., & Schlag, C. (2021). (In)-credibly green: Which bonds trade at a green bond premium? *Proceedings of Paris December 2019 Finance Meeting EUROFIDAI-ESSEC*. https://ssrn.com/abstract=3347337

Karpf, A., & Mandel, A. (2018). The changing value of the 'green'label on the US municipal bond market. *Nature Climate Change*, *8*(2), 161-165.

Katori, T. (2018). The Financial Potential of Green Bonds: Comparing the Three Issuing Schemes. *Available at SSRN 3158890*.

Kicherer, A., Schaltegger, S., Tschochohei, H., & Pozo, B. F. (2006). Eco-efficiency. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *12*(7), 537. https://doi.org/10.1065/lca2007.01.305

Koengkan, M., & Fuinhas, J. A. (2020). Exploring the effect of the renewable energy transition on CO2 emissions of Latin American & Caribbean countries. *International Journal of Sustainable Energy*, *39*(6), 515-538.

Kraus, A., & Litzenberger, R. H. (1973). A State-Preference Model of Optimal Financial Leverage. *The Journal of Finance*, *28*(4), 911-922.

Larcker, D. F., & Watts, E. M. (2020). Where's the greenium? *Journal of Accounting and Economics*, *69*(2-3), 101312.

Les Cahiers Verts de L'Économie. (2023). *Chronique hebdomadaire (4 décembre 2023): Hausse des taux et private equity* (pp. 1-6).

Li, Z., Tang, Y., Wu, J., Zhang, J., & Lv, Q. (2019). The Interest Costs of Green Bonds: Credit Ratings, Corporate Social Responsibility, and Certification. *Emerging Markets Finance and Trade*, 1-14.

Löffler, K. U., Petreski, A., & Stephan, A. (2021). Drivers of green bond issuance and new evidence on the "greenium". *Eurasian Economic Review*, *11*(1), 1-24. https://doi.org/10.1007/s40822-020-00165-y

Lorenzo, C. (2020). Medición de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la Unión Europea a través de indicadores compuestos. *Documentos de trabajo (Fundación Carolina): Segunda época*, *2*, 1-28.

Lutz, F. A. (1940). The structure of interest rates. *The Quarterly Journal of Economics*, *55*(1), 36-63.

Martellini, L., Priaulet, P., & Priaulet, S. (2003). *Fixed-income securities: Valuation, risk management and portfolio strategies* (Vol. 237). John Wiley & Sons.

Mascareñas, J. (2013). La estructura temporal de los tipos de interés. *Recuperado de:*

Http://Pendientedemigracion. Ucm. Es/Info/Jmas/Mon/07. Pdf, 1-30.

Mejía-Escobar, J. C., González-Ruiz, J. D., & Franco-Sepúlveda, G. (2021). Current state and development of green bonds market in the Latin America and the Caribbean. *Sustainability*, *13*(19), 10872.

Mendecka, B., & Lombardi, L. (2019). Life cycle environmental impacts of wind energy technologies: A review of simplified models and harmonization of the results. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *111*, 462-480.

Merlyn S., C. (2022). Financiación de producción de energía renovable con bonos verdes. En *Perossa, Mario L. & Tapia, Gustavo (2022) La financiación de proyectos de inversión—Para producir energías renovables pos pandemia en Argentina* (pp. 59-78).

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1958). The Cost of Capital, Corporation Finance and the Theory of Investment. *The American Economic Review*, *48*(3), 261-297.

Modigliani, F., & Miller, M. H. (1963). Corporate income taxes and the cost of capital: A correction. *The American Economic Review*, *53*(3), 433-443.

Modigliani, F., & Sutch, R. (1966). Innovations in interest rate policy. *The American Economic Review*, *56*(1/2), 178-197.

Montagnini, F., Ibrahim, M., & Restrepo, E. M. (2013). Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et Forêts Des Tropiques*, *No.316*, 3-16.

Muteri, V., Cellura, M., Curto, D., Franzitta, V., Longo, S., Mistretta, M., & Parisi, M. L. (2020). Review on life cycle assessment of solar photovoltaic panels. *Energies*, *13*(252), 1-38.

Myers, S. C. (1984). The Capital Structure Puzzle. *Journal of Finance*, *39*, 575-592.

Myers, S. C. (2001). Capital Structure. *Journal of Economic Perspectives*, *15*(2), 81-102.

Myers, S. C., & Majluf, N. S. (1984). Corporate Financing and Investment Decisions When Firms Have Informationthat Investors Do Not Have. *NBER Working Paper*, *w1396*.

Nabil, M. (2023). The Impact of Green Bonds on Banking Sector Performance: A Comparative Study on Developed and Emerging Markets. *Journal of Applied Finance & Banking*, *13*(3), 67-85.

Nacional Financiera. (2018). *NAFIN's Annual Green Bond Report* (pp. 1-8).

Naciones Unidas. (2015). *Acuerdo de París* (pp. 1-29).

Naciones Unidas. (2022). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2022* (pp. 1-68). https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2022_Spanish.pdf

Naciones Unidas. (2023). *Grupos regionales de Estados Miembros de las Naciones Unidas | Departamento de la Asamblea General y de Gestión de Conferencias*. https://www.un.org/dgacm/es/content/regional-groups

Nanayakkara, M., & Colombage, S. (2019). Do investors in green bond market pay a premium? Global evidence. *Applied Economics*, *51*(40), 4425-4437.

NASA. (2023). *Temperatura global | Signos vitales*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/temperatura-global

Nenonen, S., Koski, A., Lassila, A., & Lehikoinen, S. (2019). Towards low carbon economy – green bond and asset development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *352*, 012028. https://doi.org/10.1088/1755-1315/352/1/012028

Ng, T. H., & Tao, J. Y. (2016). Bond financing for renewable energy in Asia. *Energy Policy*, *95*, 509-517. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.015

Ngwenya, N., & Simatele, M. D. (2020). Unbundling of the green bond market in the economic hubs of Africa: Case study of Kenya, Nigeria and South Africa. *Development Southern Africa*, *0*(0), 1-16. https://doi.org/10.1080/0376835X.2020.1725446

OCDE. (2017). *Invertir en el Clima, Invertir en el Crecimiento* (pp. 1-28).

OCDE, Naciones Unidas, CAF, & Comisión Europea. (2022). *Perspectivas económicas de América Latina 2022: Hacia una transición verde y justa* (Versión especial para la XXVIII Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado y de Gobierno; pp. 1-27).

ODDO BHF. (2022a). *Rapport du GIEC, 3ème volet: Un constat d'échec et un état des lieux des solutions* (pp. 1-4).

ODDO BHF. (2022b). *Rapport du GIEC : quels impacts concrets sur les sociétés, la nature et l'économie, quelles solutions pour s'adapter ?* (pp. 1-4).

Oebels, K. B., & Pacca, S. (2013). Life cycle assessment of an onshore wind farm located at the northeastern coast of Brazil. *Renewable Energy*, *53*, 60-70.

Quispe Limaylla, A. (2013). *El uso de la encuesta en las ciencias sociales*. Ediciones Díaz de Santos.

Ramírez-Herrera, L.-M., & Palacín-Sánchez, M.-J. (2018). El estado del arte sobre la teoría de la estructura de capital de la empresa. *Cuadernos de Economía*, *37*(73), 143-165.

Reboredo, J. C. (2018). Green bond and financial markets: Co-movement, diversification and price spillover effects. *Energy Economics*, *74*, 38-50.

Roser, M. (2023). Why did renewables become so cheap so fast? *Our World in Data*. https://ourworldindata.org/cheap-renewables-growth

Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of food engineering*, *90*(1), 1-10.

Salazar Piña, D. A., & Flores Romero, J. F. (2021). Diseño, validación y aplicación de cuestionarios. En *Zúñiga Hernández, Terrazas Meraz & Zorrilla Abascal (Coords.) (2021), Habilidades de investigación en el posgrado: Estrategias Metodológicas* (pp. 51-70). Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Miguel Ángel Porrúa.

Saling, P., Kicherer, A., Dittrich-Krämer, B., Wittlinger, R., Zombik, W., Schmidt, I., Schrott, W., & Schmidt, S. (2002). Eco-efficiency analysis by BASF: The method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, *7*(4), 203-218. https://doi.org/10.1007/BF02978875

Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, *13*(1), 102-122. https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644

Sangiorgi, I., & Schopohl, L. (2021). Why do institutional investors buy green bonds: Evidence from a survey of European asset managers. *International Review of Financial Analysis*, *75*, 101738.

Santa Catarina, A. (2022). Wind power generation in Brazil: An overview about investment and scale analysis in 758 projects using the Levelized Cost of Energy. *Energy Policy*,

164, 112830.

Schipper, L., Deakin, E., & McAndrews, C. (2011). Carbon Dioxide Emissions from Urban Road Transport in Latin America: CO2 Reduction as a Co-Benefit of Transport Strategies. En W. Rothengatter, Y. Hayashi, & W. Schade (Eds.), *Transport Moving to Climate Intelligence: New Chances for Controlling Climate Impacts of Transport after the Economic Crisis* (pp. 111-127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7643-7_8

Sheinbaum-Pardo, C., & Ruiz, B. J. (2012). Energy context in Latin America. *Energy*, *40*(1), 39-46. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.041

SITAWI. (2019). *Parecer de Segunda Opinião Debênture Verde da Neoenergia* (pp. 1-39).

Stylos, N., & Koroneos, C. (2014). Carbon footprint of polycrystalline photovoltaic systems. *Journal of Cleaner Production*, *64*, 639-645.

Sustainalytics. (2011). *Sustainability and Materiality in the Mining Sector*. http://www.sustainalytics.com/sites/default/files/sustainability-and-materiality-mining-final_1.pdf

Tang, D. Y., & Zhang, Y. (2020). Do shareholders benefit from green bonds? *Journal of Corporate Finance*, *61*, 101427. https://doi.org/10.1016/j.jcorpfin.2018.12.001

Tapia, G. N. (2017). FINANZAS ECOLÓGICAS Sustentabilidad y ecoeficiencia. *Disertaciones XXXVII Jornadas Nacionales de Administración Financiera SADAF*, 174-188.

Tapia, G. N. (2022). Ecoeficiencia y resiliencia: Factores de la estrategia de negocios sustentable. Proyectos 'Ocean clean up'y 'Yara Birkel. *Perspectivas: Revista Científica de la Universidad de Belgrano*, *5*(2), 137-152.

Tapia, G. N. (2023a). DESARROLLO SOSTENIBLE – DESARROLLO SUSTENTABLE Indicadores económicos financieros en el sistema ecológico. *43° Jornadas Nacionales de SADAF (Sociedad Argentina de Docentes en Administración Financiera)*, 1-10.

Tapia, G. N. (2023b). SOSTENIBILIDAD vs SUSTENTABILIDAD o SOSTENIBILIDAD + SUSTENTABILIDAD. Punto de partida para el análisis económico financiero. *43° Jornadas Nacionales de SADAF (Sociedad Argentina de Docentes en Administración*

Financiera), 1-10.

Uribe Giraldo, S. (2019). *Análisis de la rentabilidad financiera de los bonos verdes en comparación con bonos ordinarios en Latinoamérica durante el período 2015-2025*. 1-26.

van der Zwaan, B., Calvin, K. V., & Clarke, L. E. (2016). Climate Mitigation in Latin America: Implications for Energy and Land Use: Preface to the Special Section on the findings of the CLIMACAP-LAMP Project. *Energy Economics*, *56*(PNNL-SA-116534).

van Ruijven, B. J., Daenzer, K., Fisher-Vanden, K., Kober, T., Paltsev, S., Beach, R. H., Calderon, S. L., Calvin, K., Labriet, M., Kitous, A., Lucena, A. F. P., & van Vuuren, D. P. (2016). Baseline projections for Latin America: Base-year assumptions, key drivers and greenhouse emissions. *Energy Economics*, *56*, 499-512. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.02.003

Verfaillie, H. A., & Bidwell, R. (2000). *Measuring eco-efficiency: A guide to reporting company performance*. World Business Council for Sustainable Development.

Vestas Wind Systems. (2013). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V90-3.0MW Wind Plant* (pp. 1-106).

WBCSD, & Five Winds International. (2006). *Eco-efficiency Learning Module* (pp. 1-231). https://www.wbcsd.org/gf6v

Weyant, J. (2017). Some Contributions of Integrated Assessment Models of Global Climate Change. *Review of Environmental Economics and Policy*, *11*(1), 115-137.

World Bank. (2018). *Green Bond Proceeds Management and Reporting* (pp. 1-26). https://documents1.worldbank.org/curated/en/246031536956395600/pdf/129937-WP-Green-Bond-Proceeds-Management-and-Reporting.pdf

World Bank. (2023). *World Development Indicators | DataBank* [dataset]. https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators#

Wulandari, F., Schäfer, D., Stephan, A., & Sun, C. (2018). *Liquidity risk and yield spreads of green bonds* (Working Paper 1728). DIW Discussion Papers. https://www.econstor.eu/handle/10419/176793

Zambrano Vargas, S. M., & Acuña Corredor, G. A. (2011). Estructura de capital. Evolución teórica. *Criterio libre*, *9*(15), 81-102.

Zerbib, O. D. (2017). The Green Bond Premium. *CEP Working Paper*. https://www.cepweb.org

Zerbib, O. D. (2019). The effect of pro-environmental preferences on bond prices: Evidence from green bonds. *Journal of Banking & Finance*, *98*, 39-60. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2018.10.012

Zhou, X., & Cui, Y. (2019). Green bonds, corporate performance, and corporate social responsibility. *Sustainability*, *11*(23), 6881.

Anexo 1: Estados y Territorios de América Latina y el Caribe

#	País	Subregión
1	Argentina	Sudamérica
2	Bolivia	Sudamérica
3	Brazil	Sudamérica
4	Chile	Sudamérica
5	Colombia	Sudamérica
6	Ecuador	Sudamérica
7	Guyana	Sudamérica
8	Paraguay	Sudamérica
9	Perú	Sudamérica
10	Suriname	Sudamérica
11	Uruguay	Sudamérica
12	Venezuela	Sudamérica
13	Belice	Centroamérica
14	Costa Rica	Centroamérica
15	El Salvador	Centroamérica
16	Guatemala	Centroamérica
17	Honduras	Centroamérica
18	México	Centroamérica
19	Nicaragua	Centroamérica
20	Panamá	Centroamérica
21	Antigua y Barbuda	Caribe
22	Bahamas	Caribe
23	Barbados	Caribe
24	Cuba	Caribe
25	Dominica	Caribe
26	Granada	Caribe
27	Haití	Caribe
28	Jamaica	Caribe
29	República Dominicana	Caribe
30	Saint Kitts y Nevis	Caribe
31	San Vicente y las Granadinas	Caribe
32	Santa Lucía	Caribe
33	Trinidad y Tobago	Caribe

Fuente: Naciones Unidas (2023), elaboración propia

#	Territorio	Subregión
1	Anguila	Caribe
2	Aruba	Caribe
3	Bermudas	Caribe
4	Caribe Holandés	Caribe
5	Curaçao	Caribe
6	Guadalupe	Caribe
7	Islas Cayman	Caribe
8	Islas Turcas y Caicos	Caribe
9	Islas Vírgenes (EEUU)	Caribe
10	Islas Vírgenes Británicas	Caribe
11	Martinica	Caribe
12	Montserrat	Caribe
13	Puerto Rico	Caribe
14	San Martín	Caribe
15	Guyana Francesa	Sudamérica
16	Islas Malvinas (Falkland)	Sudamérica

Fuente: Naciones Unidas (2023), elaboración propia

Anexo 2: Bonos verdes de la base de datos del CBI (región LAC, 12/2014-08/2019)

#	Emisor	Fecha de Emisión	Fecha de Vencimiento	Moneda	Monto Emitido (M)	Monto Emitido (M USD)	Codigo País (ISO 3)
1	Banco Galicia	01.06.2018	01.06.2025	USD	100	100	ARG
2	Province of Jujuy	20.09.2017	20.09.2022	USD	210	210	ARG
3	Province of La Rioja	13.12.2017	24.02.2025	USD	100	100	ARG
4	Province of La Rioja	24.02.2017	24.02.2025	USD	200	200	ARG
5	AES Tiete	17.04.2019	15.03.2029	BRL	820	210	BRA
6	Athon Energia	19.07.2019	19.07.2029	BRL	40	11	BRA
7	BNDES	09.05.2017	09.05.2024	USD	1000	1000	BRA
8	BRF SA	03.06.2015	03.06.2022	EUR	500	564	BRA
9	Celulose Irani	02.08.2019	17.09.2025	BRL	505	131	BRA
10	CPFL Energias Renovaveis	04.10.2016	28.09.2021	BRL	200	61	BRA
11	Enel	28.12.2017	19.06.2029	BRL	22	7	BRA
12	Fibria	17.01.2017	17.01.2027	USD	700	700	BRA
13	ISA CTEEP	23.04.2018	15.04.2025	BRL	621	179	BRA
14	Klabin	03.04.2019	03.04.2049	USD	500	500	BRA
15	Klabin	19.09.2017	19.09.2027	USD	500	500	BRA
16	Neoenergia (Iberdrola)	23.07.2019	15.06.2029	BRL	1294	343	BRA
17	PEC Energia	15.11.2017	15.06.2031	BRL	48	14	BRA
18	Potami Energia (OMEGA 2)	24.11.2017	15.12.2029	BRL	220	68	BRA
19	Potami Energia (OMEGA 1)	15.05.2017	15.12.2026	BRL	42	14	BRA
20	Rio Energy II	31.08.2018	31.08.2033	BRL	128	31	BRA
21	Rio Energy I	16.06.2017	15.12.2028	BRL	112	34	BRA
22	Suzano Papel e Celulose	12.09.2017	16.03.2047	USD	200	200	BRA
23	Suzano Papel e Celulose (2017)	05.09.2017	14.07.2026	USD	200	200	BRA
24	Suzano Papel e Celulose (2016)	14.07.2016	14.07.2026	USD	500	500	BRA
25	Suzano Papel e Celulose	28.11.2016	28.11.2024	BRL	1000	295	BRA
26	Taesa	24.05.2019	15.05.2026	BRL	210	52	BRA
27	Agrosuper	30.10.2018	30.10.2025	USD	100	100	CHL
28	Aguas Andinas	15.03.2019	15.03.2044	CLF	2	83	CHL
29	Aguas Andinas	15.03.2018	15.03.2025	CLF	2	67	CHL
30	Banco de Chile	30.08.2019	30.08.2031	USD	48	48	CHL
31	CMPC	04.04.2017	04.04.2027	USD	500	500	CHL
32	Republic of Chile	02.07.2019	02.07.2031	EUR	861	972	CHL
33	Republic of Chile	17.06.2019	25.01.2050	USD	1418	1418	CHL
34	Bancoldex	09.08.2017	09.08.2022	COP	200000	67	COL
35	Bancolombia (2)	18.07.2018	18.07.2023	COP	299990	104	COL

36	Bancolombia (1)	05.12.2016	05.12.2023	COP	350000	115	COL
37	Davivienda	25.04.2017	25.04.2027	COP	433000	149	COL
38	EPSA	23.07.2018	23.07.2030	COP	70000	24	COL
39	Banco Nacional de Costa Rica	25.04.2016	25.04.2021	USD	500	500	CRI
40	BBVA Bancomer	27.09.2018	23.09.2021	MXN	3500	186	MEX
41	Eolica Mesa Paz wind farm	01.06.2018	01.06.2044	USD	376	376	MEX
42	FIRA	23.10.2018	19.10.2021	MXN	2500	130	MEX
43	Mexico City (2)	21.11.2018	08.11.2028	MXN	1100	54	MEX
44	Mexico City (1)	07.12.2016	03.12.2021	MXN	1000	50	MEX
45	Nafin (2) MXN	01.09.2016	01.09.2023	MXN	2000	107	MEX
46	Nafin (1) USD	05.11.2015	05.11.2020	USD	500	500	MEX
47	Cofide	26.04.2019	26.04.2022	PEN	100	30	PER
48	Consorcio Transmantaro S.A.	16.04.2019	16.04.2034	USD	400	400	PER
49	Energia Eolica	18.12.2014	30.08.2034	USD	204	204	PER
50	Ergon Perú	29.07.2019	29.07.2034	USD	222	222	PER
51	PROTISA Peru (CMPC)	22.10.2018	20.10.2024	PEN	100	30	PER
52	Atlas Renewable Energy	02.07.2018	02.07.2042	USD	108	108	URY
53	CABEI	18.08.2016	13.08.2020	ZAR	1032	74	SUP
54	CAF	25.05.2018	25.05.2028	COP	150000	52	SUP
55	CAF	21.08.2018	21.08.2023	USD	30	30	SUP
56	CAF	15.11.2018	15.11.2023	USD	50	50	SUP
57	CIFI	27.08.2019	2024	USD	42	42	SUP

Fuente: Climate Bonds Initiative (2019b), elaboración propia

Anexo 3: Taxonomía de Climate Bonds Initiative

Sectores	Energía	Transporte	Agua	Construcción	Uso de la Tierra y Recursos Marinos	Industria	Residuos	Tecnología de la Información y Comunicación
Subsectores	Solar	Transporte Privado de Pasajeros	Infraestruc_ tura Hidráulica	Construcciones	Agricultura	Cemento	Preparación	Redes de Banda Ancha
	Eólica	Transporte Público de Pasajeros		Productos y Sistemas para la Eficiencia en la Construcción	Silvicultura Comercial	Acero	Alamacena_ miento de Residuos	Soluciones de IT
	Geotérmica	Transporte de Cargas por Carretera			Protección y Restauración de los Ecosistemas Naturales	Químicos Básicos	Reuso	Gestión de Energía
	Bioenergía	Ferrocarril de Carga		Entorno Construido		Limpieza	Reciclaje	
	Energía Hidroeléctrica	Aviación		Planificación Urbana	Pesquerías y Acuicultura	Otras Industrias y Manufactura	Tratamiento Biológico	
	Energías Renovables Marinas	Transporte por Agua			Gestión de la Cadena de Suministro	Cadena de Suministro	Energía a Base de Residuos	
	Nuclear	Vehículos Diversos					Vertedero	
	Transmisión y Distribución						Gestión de Residuos Radioactivos	
	Almacena_ miento							

Fuente: Climate Bonds Initiative (2021), elaboración propia

Anexo 4: Cuestionario auto-administrado

Bono Verde BNCR- Información Complementaria sobre los Proyectos Eólicos[50]

Estimados Señores,

Mi nombre es Christian Merlyn, soy Doctorando en la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y el tema de mi tesis es sobre bonos verdes en Latinoamérica.

En abril de 2016, el Banco Nacional de Costa Rica emitió un bono verde en USD que está incluido en mi análisis. Con la ayuda del Informe de Bono Verdes ("Green Bonds Report"), pude encontrar información muy útil sobre los cinco proyectos eólicos financiados con los fondos recaudados con el bono.

Para poder completar mi trabajo, quisiera solicitarles a Ustedes algunos datos complementarios sobre estos cinco proyectos:

- ¿Qué tipo de aerogeneradores (turbinas eólicas) utiliza cada proyecto (fabricante y modelo)?
- ¿Cuántos aerogeneradores tiene cada proyecto?
- ¿Cuál es el potencial de calentamiento global ("Global Warming Potential") de cada turbina ($gCO_{2\text{-}eq}$/kWh)?
- ¿Cuáles son los factores de capacidad ("Capacity Factor" en %) de cada proyecto y cuál es la producción real de electricidad producida (MW/h)?
- ¿A qué precio se vende la electricidad producida (USD/MWh o CRC/MWh)?
- ¿Cuál es la reducción de emisiones de carbono ($tCO_{2\text{-}eq}$/año) debida a los proyectos eólicos?

Si Ustedes lo consideran necesario, puedo firmar un acuerdo de confidencialidad ("non-disclosure agreement (NDA)"). Adjunto la certificación de la UBA que corrobora que soy Doctorando en esa institución.

Desde ya les agradezco por su ayuda y por favor no duden en comunicarse conmigo si necesitan cualquier otra información.

Saludos cordiales,

Christian Merlyn

[50] El siguiente cuestionario se envió por correo electrónico al Banco Nacional de Costa Rica en mayo de 2022.

Anexo 5: Categorías elegibles de Proyectos Verdes – GBP (ICMA)

"Enumeradas sin ningún orden específico, incluyen, pero no se limitan a:

- **Energías renovables** (incluyendo producción, transmisión, dispositivos y productos);
- **Eficiencia energética** (como edificios nuevos y reformados, almacenamiento de energía, calefacción urbana, redes inteligentes, dispositivos y productos);
- **Prevención y control de la contaminación** (incluyendo la reducción de las emisiones atmosféricas, el control de los gases de efecto invernadero, la descontaminación de los suelos, la prevención y reducción de residuos, el reciclaje de residuos y la transformación eficiente de residuos a energía);
- **Gestión sostenible de los recursos naturales y el uso de la tierra** (incluida la agricultura sostenible, la cría de animales sostenible, los aportes agrícolas inteligentes para el clima, como la protección biológica de los cultivos o el riego por goteo, la pesca y la acuicultura; la actividad forestal sostenible, incluyendo la forestación o reforestación y la conservación o restauración de paisajes naturales);
- **Conservación de la biodiversidad terrestre y acuática** (incluyendo la protección de ambientes costeros, marinos y de cuencas);
- **Transporte limpio** (como transporte eléctrico, hibrido, público, ferroviario, no motorizado, transporte multimodal, infraestructura para vehículos de energía limpia y reducción de emisiones nocivas);
- **Gestión sostenible del agua y de las aguas residuales** (incluida la infraestructura sostenible para el agua limpia y/o potable, el tratamiento de las aguas residuales, los sistemas de drenaje urbano sostenible y la capacitación fluvial y otras formas de mitigación de las inundaciones);
- **Adaptación al cambio climático** (incluidos los esfuerzos para hacer que la infraestructura sea más resistente a los impactos del cambio climático, así como sistemas de apoyo a la información, como la observación del clima y los sistemas de alerta temprana);
- **Productos, tecnologías de producción y procesos adaptados a la Economía Circular** (como el diseño y la introducción de materiales, componentes y productos reutilizables, reciclables y reacondicionados; herramientas y servicios circulares); y/o productos ecoeficientes certificados;
- **Edificios ecológicos** que cumplan con las normas o certificaciones reconocidas regional, nacional o internacionalmente para rendimiento ambiental" (ICMA, 2021)

Anexo 6: Ejemplos de plantillas de informes de asignación de fondos

a) Informes con un nivel de detalle ampliado: CABEI

Renewable Energy Component

Renewable Energy	Country	Subsector	Signed Amount	Eligibility for green bonds	RE component	Allocated amount	Project lifetime[2]	Installed capacity (MW)	Power Energy production (MWh)	Avoided GHG emissions (in t. CO2e /year)[3]
Project name			(USD thousands)	% of signed amount	% of signed amount	(USD thousands)	in years	MW	MWh	in tons of CO2 equivalent
								Projects Completed		
1. Proyecto Eólico Cerro de Hula: construction and commissioning of a wind power plant. It represents an increase of 102 MW of installed capacity for the country and an improvement in the supply of energy nationwide.	Honduras	Wind	$60,007.42	52%	22%	$31,351.25	15	126	404,831	267,100
2. Proyecto Ampliación de 24 MW del proyecto eólico Cerro de Hula: expansion of the existing Cerro de Hula wind farm (102 MW).	Honduras	Wind	$24,100.00	65%	11%	$15,566.26	15			
3. Proyecto Hidroeléctrico Ojo de Agua: design, construction and commissioning of a run-off-river hydroelectric power plant. The plant is connected to the national interconnected system whilst increasing Honduras' renewable energy installed capacity.	Honduras	Hydropower	$33,000.00	53%	12%	$17,584.10	13	22.5	62,126	26,000
4. Proyecto Eólico Amayo Fase I: Construction and operation of a generation plant that uses wind as the primary source of energy in Nicaragua.	Nicaragua	Wind	$71,250.00	36%	18%	$25,559.63	15	39.9	156,444	84,300
5. Proyecto Construcción de la Central Hidroeléctrica Larreynaga: design and construction and start-up of a run-off-river Hydroelectric Power Station, this yielded an increase in the production of renewable energy, diversifying the national energy matrix.	Nicaragua	Hydropower	$36,718.00	83%	21%	$30,160.10	15	17.3	50,960	15,400
6. Proyecto Eólico Penonomé II: It aims to reduce the country's energy vulnerability by increasing the share of renewable energy to the national interconnected system.	Panamá	Wind	$30,000.00	81%	17%	$24,363.00	17	215	582,693	312,900
Total			**$255,075.42**			**$144,584.34**		**417.70**	**1,257,053**	**705,700**

[2] Reference is based on the expected financial life of the project.
[3] Calculations using the AFD Carbon Footprint Tool. Also, data on net energy generation for these countries is published by UN's ECLAC, as well as from specific reports of each project.

Fuente: CABEI (2022)

b) Informes con un nivel de detalle condensado: BBVA México

Uso de los recursos por categoría	Descripción	Indicadores claves de rendimiento	Monto alocado a septiembre 2020
Energía Asequible y no Contaminante			
Energía Solar	Un proyecto de energía solar con un poder fotovoltaico de 100 MW	Capacidad instalada de 100 MW	$237,628,090
Energía Eólica	Crédito verde para refinanciar la construcción de 3 plantas eólicas en México	Capacidad instalada de 7,471 MW	$2,137,260,473
Ciudades y Comunidades Sustentables			
Edificio Verde	Edificio Verde Certificado en la Ciudad de México	Certificación LEED Gold	$743,138,076
Edificio Verde	Edificio Verde Certificado en la Ciudad de México	Certificación LEED Gold	$381,973,361
		Total	**$3,500,000,000**

Fuente: BBVA México (2020)

Anexo 7: Proyectos eólicos seleccionados

#	Emisor	Codigo País (ISO 3)	Proyecto	PCG – ACV (KgCO2/MWh)	Precio de Venta (USD/MWh)
1	La Rioja	ARG	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	8,60	67,19
2	La Rioja	ARG	Arauco Renovables S.A.U.	9,10	56,7
3	BNDES	BRA	UEE Calango 6 (Neoenergia)	6,97	58,24
4	BNDES	BRA	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	5,56	57,17
5	BNDES	BRA	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	7,88	39,61
6	BNDES	BRA	UEE Contour Picos 2 (Chapada doPiauí II)	7,94	56,56
7	BNDES	BRA	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	4,51	59,95
8	BNDES	BRA	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	3,48	59,59
9	BNDES	BRA	UEE São Clemente	7,30	60,96
10	BNDES	BRA	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	8,00	51,53
11	CPFL Brazil	BRA	Campo dos Ventos I	6,20	86
12	CPFL Brazil	BRA	Campo dos Ventos III	6,20	71
13	CPFL Brazil	BRA	Campo dos Ventos V	6,20	86
14	Enel	BRA	Damascena	4,85	41,93
15	Enel	BRA	Maniçoba	5,13	43,72
16	Neoenergia	BRA	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	4,14	30,4
17	Neoenergia	BRA	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	9,10	30,4
18	Neoenergia	BRA	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	3,99	30,4
19	Neoenergia	BRA	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	9,10	30,4
20	Neoenergia	BRA	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	9,10	30,4
21	Neoenergia	BRA	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	4,22	30,4
22	Neoenergia	BRA	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	9,10	30,4
23	Neoenergia	BRA	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	9,10	30,4
24	Neoenergia	BRA	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	3,99	30,4
25	Neoenergia	BRA	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	3,41	30,4
26	Neoenergia	BRA	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	4,06	30,4
27	Neoenergia	BRA	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	3,91	30,4
28	Neoenergia	BRA	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	9,10	29
29	Neoenergia	BRA	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	9,10	27
30	Neoenergia	BRA	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	9,10	29
31	PEC Energia	BRA	EOL Serra das Vacas V - Paranatama	5,27	58,03
32	PEC Energia	BRA	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama	5,68	58,03

33	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 I	9,84	51,39
34	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 II	9,38	51,39
35	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 III	9,38	51,39
36	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 IV	9,38	51,39
37	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 V	10,31	51,39
38	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 VI	10,31	51,39
39	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 VII	8,33	51,39
40	Potami Energia (OMEGA 2)	BRA	CGE Delta 3 VIII	9,22	55,17
41	Potami Energia (OMEGA 1)	BRA	OL Porto do Delta	3,96	50,41
42	Potami Energia (OMEGA 1)	BRA	Testa Branca I	10,29	50,42
43	Potami Energia (OMEGA 1)	BRA	Testa Branca III	10,54	51,11
44	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema I	5,79	55,42
45	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema II	1,56	55,42
46	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema III	1,60	55,53
47	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema IV	2,14	58,29
48	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema V	1,48	55,53
49	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema VI	2,44	58,28
50	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema VII	2,28	58,28
51	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema VIII	2,79	58,29
52	RIO ENERGY 1	BRA	Eólica Itarema IX	2,41	58,69
53	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia II	5,53	53,63
54	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia VI	5,53	53,63
55	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia VII	5,53	53,63
56	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia VIII	5,53	53,63
57	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia IX	5,53	53,63
58	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia X	5,53	53,63
59	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia XI	5,53	53,63
60	RIO ENERGY 2	BRA	Serra da Babilonia XII	5,53	53,63
61	BNCR	CRI	Proyecto Eolico los Santos	17,26	114
62	BNCR	CRI	Proyecto Eolico Fila Mogote	6,20	98
63	BNCR	CRI	Proyecto Eolico Chiripa	8,50	114
64	BNCR	CRI	Proyecto Eolico Tilawind	6,20	86,5
65	BNCR	CRI	Proyecto Eolico Cacao	7,11	92

66	Eolica Mesa Paz	MEX	Mesa La Paz	7,60	40
67	NAFIN USD	MEX	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	8,20	70
68	NAFIN USD	MEX	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	8,20	70
69	NAFIN USD	MEX	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	5,80	100
70	NAFIN USD	MEX	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	3,35	90
71	NAFIN USD	MEX	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	3,35	90
72	NAFIN USD	MEX	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	9,30	90
73	NAFIN USD	MEX	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	7,02	40
74	NAFIN USD	MEX	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	7,60	35
75	NAFIN USD	MEX	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	13,13	60
76	NAFIN MXN	MEX	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	5,92	50
77	Energía Eolica	PER	Cupisnique	9,30	85
78	Energía Eolica	PER	Talara	9,30	87
79	CABEI	SUP	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	8,05	120
80	CABEI	SUP	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	5,53	113
81	CABEI	SUP	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	7,65	90,58

Fuente: Elaboración propia

Anexo 8: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus hidráulicos

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,H}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,H}$
1	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	1,09	0,38	1,62	1,14	0,86
2	Arauco Renovables S.A.U.	1,20	0,27	1,73	0,70	1,30
3	UEE Calango 6 (Neoenergia)	1,13	0,37	1,63	1,01	0,99
4	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	1,10	0,37	1,63	1,01	0,99
5	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	1,35	0,36	1,64	1,17	0,83
6	UEE Contour Picos 2 (Chapada do Piauí II)	1,17	0,26	1,74	1,13	0,87
7	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	1,04	0,26	1,74	1,13	0,87
8	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	1,02	0,44	1,56	1,14	0,86
9	UEE São Clemente	1,11	0,24	1,76	0,70	1,30
10	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	1,22	0,25	1,75	0,62	1,38
11	Campo dos Ventos I	0,91	0,50	1,50	0,93	1,07
12	Campo dos Ventos III	1,00	0,24	1,76	0,83	1,17
13	Campo dos Ventos V	0,91	0,43	1,57	1,11	0,89
14	Damascena	1,23	0,44	1,56	1,12	0,88
15	Maniçoba	1,22	0,46	1,54	1,24	0,76
16	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	1,34	0,37	1,63	1,22	0,78
17	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	1,52	0,40	1,60	1,14	0,86
18	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	1,34	0,38	1,62	1,14	0,86
19	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	1,52	0,27	1,73	0,70	1,30
20	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	1,52	0,37	1,63	1,01	0,99
21	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	1,35	0,37	1,63	1,01	0,99
22	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	1,52	0,36	1,64	1,17	0,83
23	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	1,52	0,26	1,74	1,13	0,87
24	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	1,34	0,26	1,74	1,13	0,87
25	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	1,32	0,44	1,56	1,14	0,86
26	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	1,34	0,24	1,76	0,70	1,30
27	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	1,34	0,25	1,75	0,62	1,38
28	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	1,54	0,50	1,50	0,93	1,07
29	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	1,57	0,24	1,76	0,83	1,17
30	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	1,54	0,43	1,57	1,11	0,89
31	EOL Serra das Vacas V - Paranatama (Pernambuco)	1,08	0,44	1,56	1,12	0,88
32	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama (Pernambuco)	1,09	0,46	1,54	1,24	0,76
33	CGE Delta 3 I	1,27	0,37	1,63	1,22	0,78
34	CGE Delta 3 II	1,26	0,40	1,60	1,14	0,86
35	CGE Delta 3 III	1,26	0,38	1,62	1,14	0,86
36	CGE Delta 3 IV	1,26	0,27	1,73	0,70	1,30
37	CGE Delta 3 V	1,29	0,37	1,63	1,01	0,99
38	CGE Delta 3 VI	1,29	0,37	1,63	1,01	0,99
39	CGE Delta 3 VII	1,23	0,36	1,64	1,17	0,83
40	CGE Delta 3 VIII	1,22	0,26	1,74	1,13	0,87

41	OL Porto do Delta	1,11	0,26	1,74	1,13	0,87
42	Testa Branca I	1,30	0,44	1,56	1,14	0,86
43	Testa Branca III	1,30	0,24	1,76	0,70	1,30
44	Eólica Itarema I	1,12	0,25	1,75	0,62	1,38
45	Eólica Itarema II	1,00	0,50	1,50	0,93	1,07
46	Eólica Itarema III	1,00	0,24	1,76	0,83	1,17
47	Eólica Itarema IV	0,99	0,43	1,57	1,11	0,89
48	Eólica Itarema V	1,00	0,44	1,56	1,12	0,88
49	Eólica Itarema VI	1,00	0,46	1,54	1,24	0,76
50	Eólica Itarema VII	1,00	0,37	1,63	1,22	0,78
51	Eólica Itarema VIII	1,01	0,40	1,60	1,14	0,86
52	Eólica Itarema IX	1,00	0,38	1,62	1,14	0,86
53	Serra da Babilonia II	1,13	0,27	1,73	0,70	1,30
54	Serra da Babilonia VI	1,13	0,37	1,63	1,01	0,99
55	Serra da Babilonia VII	1,13	0,37	1,63	1,01	0,99
56	Serra da Babilonia VIII	1,13	0,36	1,64	1,17	0,83
57	Serra da Babilonia IX	1,13	0,26	1,74	1,13	0,87
58	Serra da Babilonia X	1,13	0,26	1,74	1,13	0,87
59	Serra da Babilonia XI	1,13	0,44	1,56	1,14	0,86
60	Serra da Babilonia XII	1,13	0,24	1,76	0,70	1,30
61	Proyecto Eolico los Santos	0,98	0,25	1,75	0,62	1,38
62	Proyecto Eolico Fila Mogote	0,84	0,50	1,50	0,93	1,07
63	Proyecto Eolico Chiripa	0,81	0,24	1,76	0,83	1,17
64	Proyecto Eolico Tilawind	0,90	0,43	1,57	1,11	0,89
65	Proyecto Eolico Cacao	0,89	0,44	1,56	1,12	0,88
66	Mesa La Paz	1,34	0,46	1,54	1,24	0,76
67	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	1,06	0,37	1,63	1,22	0,78
68	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	1,06	0,40	1,60	1,14	0,86
69	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	0,82	0,38	1,62	1,14	0,86
70	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	0,82	0,27	1,73	0,70	1,30
71	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	0,82	0,37	1,63	1,01	0,99
72	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	0,95	0,37	1,63	1,01	0,99
73	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	1,32	0,36	1,64	1,17	0,83
74	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	1,40	0,26	1,74	1,13	0,87
75	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	1,28	0,26	1,74	1,13	0,87
76	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	1,17	0,44	1,56	1,14	0,86
77	Cupisnique	0,98	0,24	1,76	0,70	1,30
78	Talara	0,97	0,25	1,75	0,62	1,38
79	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	0,78	0,50	1,50	0,93	1,07
80	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	0,76	0,24	1,76	0,83	1,17
81	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	0,91	0,43	1,57	1,11	0,89

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus gas

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,G}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,G}$
1	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	12,52	-2,42	4,42	0,90	1,10
2	Arauco Renovables S.A.U.	13,56	-2,55	4,55	0,59	1,41
3	UEE Calango 6 (Neoenergia)	13,34	-2,55	4,55	0,64	1,36
4	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	13,41	-2,58	4,58	0,60	1,40
5	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	15,62	-2,83	4,83	-0,12	2,12
6	UEE Contour Picos 2 (Chapada do Piauí II)	13,54	-2,56	4,56	0,58	1,42
7	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	13,10	-2,55	4,55	0,69	1,31
8	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	13,11	-2,57	4,57	0,68	1,32
9	UEE São Clemente	13,07	-2,51	4,51	0,72	1,28
10	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	14,10	-2,63	4,63	0,40	1,60
11	Campo dos Ventos I	10,97	-2,23	4,23	1,32	0,68
12	Campo dos Ventos III	12,12	-2,39	4,39	1,00	1,00
13	Campo dos Ventos V	10,97	-2,23	4,23	1,32	0,68
14	Damascena	15,20	-2,82	4,82	0,00	2,00
15	Maniçoba	14,97	-2,79	4,79	0,08	1,92
16	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	16,91	-3,04	5,04	-0,65	2,65
17	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	17,08	-2,98	4,98	-0,65	2,65
18	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	16,90	-3,04	5,04	-0,65	2,65
19	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	17,08	-2,98	4,98	-0,65	2,65
20	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	17,08	-2,98	4,98	-0,65	2,65
21	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	16,91	-3,04	5,04	-0,65	2,65
22	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	17,08	-2,98	4,98	-0,65	2,65
23	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	17,08	-2,98	4,98	-0,65	2,65
24	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	16,90	-3,04	5,04	-0,65	2,65
25	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	16,88	-3,05	5,05	-0,65	2,65
26	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	16,90	-3,04	5,04	-0,65	2,65
27	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	16,90	-3,05	5,05	-0,65	2,65
28	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	17,32	-3,01	5,01	-0,75	2,75
29	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	17,67	-3,05	5,05	-0,89	2,89
30	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	17,32	-3,01	5,01	-0,75	2,75
31	EOL Serra das Vacas V - Paranatama (Pernambuco)	13,32	-2,57	4,57	0,63	1,37
32	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama (Pernambuco)	13,33	-2,57	4,57	0,63	1,37
33	CGE Delta 3 I	14,17	-2,62	4,62	0,40	1,60
34	CGE Delta 3 II	14,16	-2,62	4,62	0,40	1,60
35	CGE Delta 3 III	14,16	-2,62	4,62	0,40	1,60
36	CGE Delta 3 IV	14,16	-2,62	4,62	0,40	1,60
37	CGE Delta 3 V	14,18	-2,61	4,61	0,40	1,60
38	CGE Delta 3 VI	14,18	-2,61	4,61	0,40	1,60
39	CGE Delta 3 VII	14,13	-2,63	4,63	0,40	1,60
40	CGE Delta 3 VIII	13,73	-2,57	4,57	0,54	1,46

41	OL Porto do Delta	14,12	-2,70	4,70	0,36	1,64
42	Testa Branca I	14,29	-2,63	4,63	0,36	1,64
43	Testa Branca III	14,22	-2,61	4,61	0,39	1,61
44	Eólica Itarema I	13,61	-2,60	4,60	0,55	1,45
45	Eólica Itarema II	13,49	-2,65	4,65	0,55	1,45
46	Eólica Itarema III	13,48	-2,65	4,65	0,55	1,45
47	Eólica Itarema IV	13,21	-2,60	4,60	0,64	1,36
48	Eólica Itarema V	13,48	-2,65	4,65	0,55	1,45
49	Eólica Itarema VI	13,22	-2,60	4,60	0,64	1,36
50	Eólica Itarema VII	13,21	-2,60	4,60	0,64	1,36
51	Eólica Itarema VIII	13,22	-2,60	4,60	0,64	1,36
52	Eólica Itarema IX	13,17	-2,59	4,59	0,66	1,34
53	Serra da Babilonia II	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
54	Serra da Babilonia VI	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
55	Serra da Babilonia VII	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
56	Serra da Babilonia VIII	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
57	Serra da Babilonia IX	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
58	Serra da Babilonia X	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
59	Serra da Babilonia XI	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
60	Serra da Babilonia XII	13,79	-2,63	4,63	0,48	1,52
61	Proyecto Eolico los Santos	9,51	-1,87	3,87	1,72	0,28
62	Proyecto Eolico Fila Mogote	10,19	-2,11	4,11	1,51	0,49
63	Proyecto Eolico Chiripa	9,35	-1,95	3,95	1,71	0,29
64	Proyecto Eolico Tilawind	10,93	-2,22	4,22	1,33	0,67
65	Proyecto Eolico Cacao	10,58	-2,16	4,16	1,42	0,58
66	Mesa La Paz	15,55	-2,82	4,82	-0,10	2,10
67	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	12,26	-2,39	4,39	0,98	1,02
68	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	12,26	-2,39	4,39	0,98	1,02
69	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	10,06	-2,10	4,10	1,54	0,46
70	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	10,63	-2,22	4,22	1,38	0,62
71	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	10,63	-2,22	4,22	1,38	0,62
72	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	10,76	-2,16	4,16	1,39	0,61
73	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	15,53	-2,83	4,83	-0,10	2,10
74	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	16,29	-2,91	4,91	-0,37	2,37
75	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	13,32	-2,46	4,46	0,69	1,31
76	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	14,22	-2,68	4,68	0,35	1,65
77	Cupisnique	11,10	-2,21	4,21	1,30	0,70
78	Talara	10,96	-2,19	4,19	1,34	0,66
79	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	9,05	-1,91	3,91	1,77	0,23
80	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	9,34	-1,99	3,99	1,70	0,30
81	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	10,69	-2,17	4,17	1,40	0,60

Fuente: Elaboración propia

Anexo 10: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus carbón

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,C}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,C}$
1	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	17,63	-3,11	5,11	0,44	1,56
2	Arauco Renovables S.A.U.	18,92	-3,25	5,25	0,06	1,94
3	UEE Calango 6 (Neoenergia)	18,67	-3,24	5,24	0,12	1,88
4	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	18,77	-3,27	5,27	0,08	1,92
5	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	21,42	-3,54	5,54	-0,75	2,75
6	UEE Contour Picos 2 (Chapada do Piauí II)	18,91	-3,26	5,26	0,05	1,95
7	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	18,40	-3,24	5,24	0,19	1,81
8	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	18,42	-3,25	5,25	0,17	1,83
9	UEE São Clemente	18,34	-3,20	5,20	0,22	1,78
10	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	19,59	-3,34	5,34	-0,16	2,16
11	Campo dos Ventos I	15,68	-2,90	4,90	0,95	1,05
12	Campo dos Ventos III	17,15	-3,08	5,08	0,56	1,44
13	Campo dos Ventos V	15,68	-2,90	4,90	0,95	1,05
14	Damascena	20,96	-3,52	5,52	-0,62	2,62
15	Maniçoba	20,68	-3,49	5,49	-0,53	2,53
16	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	22,98	-3,74	5,74	-1,33	3,33
17	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	23,12	-3,70	5,70	-1,34	3,34
18	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	22,97	-3,74	5,74	-1,33	3,33
19	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	23,12	-3,70	5,70	-1,34	3,34
20	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	23,12	-3,70	5,70	-1,34	3,34
21	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	22,98	-3,74	5,74	-1,33	3,33
22	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	23,12	-3,70	5,70	-1,34	3,34
23	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	23,12	-3,70	5,70	-1,34	3,34
24	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	22,97	-3,74	5,74	-1,33	3,33
25	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	22,96	-3,75	5,75	-1,33	3,33
26	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	22,97	-3,74	5,74	-1,33	3,33
27	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	22,97	-3,74	5,74	-1,33	3,33
28	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	23,40	-3,73	5,73	-1,44	3,44
29	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	23,81	-3,77	5,77	-1,59	3,59
30	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	23,40	-3,73	5,73	-1,44	3,44
31	EOL Serra das Vacas V - Paranatama (Pernambuco)	18,66	-3,26	5,26	0,11	1,89
32	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama (Pernambuco)	18,67	-3,26	5,26	0,11	1,89
33	CGE Delta 3 I	19,66	-3,32	5,32	-0,16	2,16
34	CGE Delta 3 II	19,65	-3,33	5,33	-0,16	2,16
35	CGE Delta 3 III	19,65	-3,33	5,33	-0,16	2,16
36	CGE Delta 3 IV	19,65	-3,33	5,33	-0,16	2,16
37	CGE Delta 3 V	19,67	-3,32	5,32	-0,16	2,16
38	CGE Delta 3 VI	19,67	-3,32	5,32	-0,16	2,16
39	CGE Delta 3 VII	19,62	-3,34	5,34	-0,16	2,16
40	CGE Delta 3 VIII	19,12	-3,27	5,27	0,00	2,00

41	OL Porto do Delta	19,65	-3,39	5,39	-0,20	2,20
42	Testa Branca I	19,81	-3,33	5,33	-0,21	2,21
43	Testa Branca III	19,72	-3,32	5,32	-0,18	2,18
44	Eólica Itarema I	19,01	-3,30	5,30	0,01	1,99
45	Eólica Itarema II	18,91	-3,33	5,33	0,01	1,99
46	Eólica Itarema III	18,89	-3,33	5,33	0,02	1,98
47	Eólica Itarema IV	18,55	-3,28	5,28	0,13	1,87
48	Eólica Itarema V	18,89	-3,33	5,33	0,02	1,98
49	Eólica Itarema VI	18,56	-3,28	5,28	0,12	1,88
50	Eólica Itarema VII	18,55	-3,28	5,28	0,12	1,88
51	Eólica Itarema VIII	18,56	-3,28	5,28	0,12	1,88
52	Eólica Itarema IX	18,50	-3,28	5,28	0,14	1,86
53	Serra da Babilonia II	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
54	Serra da Babilonia VI	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
55	Serra da Babilonia VII	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
56	Serra da Babilonia VIII	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
57	Serra da Babilonia IX	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
58	Serra da Babilonia X	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
59	Serra da Babilonia XI	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
60	Serra da Babilonia XII	19,24	-3,32	5,32	-0,06	2,06
61	Proyecto Eolico los Santos	13,69	-2,54	4,54	1,48	0,52
62	Proyecto Eolico Fila Mogote	14,66	-2,77	4,77	1,21	0,79
63	Proyecto Eolico Chiripa	13,54	-2,60	4,60	1,47	0,53
64	Proyecto Eolico Tilawind	15,63	-2,89	4,89	0,97	1,03
65	Proyecto Eolico Cacao	15,17	-2,82	4,82	1,09	0,91
66	Mesa La Paz	21,35	-3,53	5,53	-0,73	2,73
67	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	17,31	-3,07	5,07	0,53	1,47
68	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	17,31	-3,07	5,07	0,53	1,47
69	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	14,50	-2,75	4,75	1,24	0,76
70	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	15,27	-2,87	4,87	1,04	0,96
71	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	15,27	-2,87	4,87	1,04	0,96
72	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	15,38	-2,83	4,83	1,04	0,96
73	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	21,33	-3,54	5,54	-0,73	2,73
74	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	22,22	-3,62	5,62	-1,03	3,03
75	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	18,59	-3,17	5,17	0,18	1,82
76	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	19,76	-3,38	5,38	-0,22	2,22
77	Cupisnique	15,83	-2,88	4,88	0,93	1,07
78	Talara	15,65	-2,86	4,86	0,98	1,02
79	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	13,14	-2,55	4,55	1,56	0,44
80	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	13,56	-2,63	4,63	1,46	0,54
81	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	15,30	-2,84	4,84	1,06	0,94

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus bioenergía

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,B}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,B}$
1	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	3,05	-0,56	2,56	0,52	1,48
2	Arauco Renovables S.A.U.	3,24	-0,60	2,60	0,37	1,63
3	UEE Calango 6 (Neoenergia)	3,17	-0,63	2,63	0,40	1,60
4	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	3,16	-0,65	2,65	0,38	1,62
5	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	3,56	-0,70	2,70	0,06	1,94
6	UEE Contour Picos 2 (Chapada do Piauí II)	3,22	-0,62	2,62	0,37	1,63
7	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	3,09	-0,66	2,66	0,43	1,57
8	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	3,08	-0,68	2,68	0,42	1,58
9	UEE São Clemente	3,13	-0,61	2,61	0,44	1,56
10	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	3,32	-0,64	2,64	0,29	1,71
11	Campo dos Ventos I	2,72	-0,52	2,52	0,74	1,26
12	Campo dos Ventos III	2,94	-0,58	2,58	0,57	1,43
13	Campo dos Ventos V	2,72	-0,52	2,52	0,74	1,26
14	Damascena	3,45	-0,74	2,74	0,12	1,88
15	Maniçoba	3,41	-0,73	2,73	0,15	1,85
16	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	3,70	-0,82	2,82	-0,14	2,14
17	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	3,81	-0,73	2,73	-0,15	2,15
18	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	3,69	-0,82	2,82	-0,13	2,13
19	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	3,81	-0,73	2,73	-0,15	2,15
20	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	3,81	-0,73	2,73	-0,15	2,15
21	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	3,70	-0,82	2,82	-0,14	2,14
22	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	3,81	-0,73	2,73	-0,15	2,15
23	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	3,81	-0,73	2,73	-0,15	2,15
24	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	3,69	-0,82	2,82	-0,13	2,13
25	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	3,68	-0,84	2,84	-0,13	2,13
26	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	3,70	-0,82	2,82	-0,13	2,13
27	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	3,69	-0,83	2,83	-0,13	2,13
28	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	3,85	-0,74	2,74	-0,19	2,19
29	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	3,90	-0,76	2,76	-0,24	2,24
30	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	3,85	-0,74	2,74	-0,19	2,19
31	EOL Serra das Vacas V - Paranatama (Pernambuco)	3,14	-0,65	2,65	0,40	1,60
32	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama (Pernambuco)	3,15	-0,65	2,65	0,40	1,60
33	CGE Delta 3 I	3,36	-0,61	2,61	0,28	1,72
34	CGE Delta 3 II	3,35	-0,62	2,62	0,28	1,72
35	CGE Delta 3 III	3,35	-0,62	2,62	0,28	1,72
36	CGE Delta 3 IV	3,35	-0,62	2,62	0,28	1,72
37	CGE Delta 3 V	3,37	-0,60	2,60	0,28	1,72
38	CGE Delta 3 VI	3,37	-0,60	2,60	0,28	1,72
39	CGE Delta 3 VII	3,32	-0,64	2,64	0,28	1,72
40	CGE Delta 3 VIII	3,27	-0,60	2,60	0,34	1,66

41	OL Porto do Delta	3,25	-0,71	2,71	0,28	1,72
42	Testa Branca I	3,38	-0,61	2,61	0,26	1,74
43	Testa Branca III	3,38	-0,60	2,60	0,27	1,73
44	Eólica Itarema I	3,20	-0,66	2,66	0,35	1,65
45	Eólica Itarema II	3,11	-0,73	2,73	0,36	1,64
46	Eólica Itarema III	3,11	-0,73	2,73	0,37	1,63
47	Eólica Itarema IV	3,07	-0,70	2,70	0,41	1,59
48	Eólica Itarema V	3,11	-0,73	2,73	0,37	1,63
49	Eólica Itarema VI	3,08	-0,70	2,70	0,41	1,59
50	Eólica Itarema VII	3,08	-0,70	2,70	0,41	1,59
51	Eólica Itarema VIII	3,09	-0,69	2,69	0,41	1,59
52	Eólica Itarema IX	3,07	-0,70	2,70	0,41	1,59
53	Serra da Babilonia II	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
54	Serra da Babilonia VI	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
55	Serra da Babilonia VII	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
56	Serra da Babilonia VIII	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
57	Serra da Babilonia IX	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
58	Serra da Babilonia X	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
59	Serra da Babilonia XI	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
60	Serra da Babilonia XII	3,22	-0,67	2,67	0,33	1,67
61	Proyecto Eolico los Santos	2,56	-0,28	2,28	0,97	1,03
62	Proyecto Eolico Fila Mogote	2,57	-0,48	2,48	0,85	1,15
63	Proyecto Eolico Chiripa	2,43	-0,40	2,40	0,97	1,03
64	Proyecto Eolico Tilawind	2,72	-0,52	2,52	0,75	1,25
65	Proyecto Eolico Cacao	2,66	-0,49	2,49	0,80	1,20
66	Mesa La Paz	3,55	-0,71	2,71	0,07	1,93
67	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	2,99	-0,56	2,56	0,56	1,44
68	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	2,99	-0,56	2,56	0,56	1,44
69	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	2,54	-0,48	2,48	0,87	1,13
70	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	2,62	-0,55	2,55	0,78	1,22
71	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	2,62	-0,55	2,55	0,78	1,22
72	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	2,72	-0,46	2,46	0,78	1,22
73	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	3,54	-0,72	2,72	0,07	1,93
74	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	3,66	-0,73	2,73	-0,04	2,04
75	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	3,26	-0,52	2,52	0,41	1,59
76	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	3,30	-0,68	2,68	0,26	1,74
77	Cupisnique	2,79	-0,48	2,48	0,73	1,27
78	Talara	2,76	-0,47	2,47	0,75	1,25
79	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	2,36	-0,38	2,38	1,01	0,99
80	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	2,40	-0,44	2,44	0,97	1,03
81	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	2,69	-0,48	2,48	0,78	1,22

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - eólicos versus nuclear

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,N}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,N}$
1	Vientos de Arauco Renovables S.A.U. ("VAR")	0,41	1,31	0,69	1,23	0,77
2	Arauco Renovables S.A.U.	0,47	1,35	0,65	1,19	0,81
3	UEE Calango 6 (Neoenergia)	0,38	1,25	0,75	1,18	0,82
4	UEE Atlantic 2 (Morrinhos)	0,33	1,17	0,83	1,16	0,84
5	UEE Brazil Energy (Guirapá I)	0,53	1,33	0,67	1,08	0,92
6	UEE Contour Picos 2 (Chapada do Piauí II)	0,43	1,30	0,70	1,18	0,82
7	UEE Rio Energy 1 (Itarema)	0,28	1,11	0,89	1,16	0,84
8	UEE Santa Vitória do Palmar (Atlantic)	0,25	1,04	0,96	1,15	0,85
9	UEE São Clemente	0,38	1,26	0,74	1,19	0,81
10	UEE Servtec 2 (Bons Ventos da Serra 2)	0,46	1,31	0,69	1,16	0,84
11	Campo dos Ventos I	0,27	1,18	0,82	1,24	0,76
12	Campo dos Ventos III	0,31	1,19	0,81	1,21	0,79
13	Campo dos Ventos V	0,27	1,18	0,82	1,24	0,76
14	Damascena	0,37	1,14	0,86	1,08	0,92
15	Maniçoba	0,37	1,16	0,84	1,09	0,91
16	Canoas 2 Energia Renovável S.A.	0,40	1,10	0,90	0,98	1,02
17	Canoas 3 Energia Renovável S.A.	0,67	1,41	0,59	0,98	1,02
18	Canoas 4 Energia Renovável S.A.	0,39	1,09	0,91	0,98	1,02
19	Chafariz 1 Energia Renovável S.A.	0,67	1,41	0,59	0,98	1,02
20	Chafariz 2 Energia Renovável S.A.	0,67	1,41	0,59	0,98	1,02
21	Chafariz 3 Energia Renovável S.A.	0,40	1,11	0,89	0,98	1,02
22	Chafariz 4 Energia Renovável S.A.	0,67	1,41	0,59	0,98	1,02
23	Chafariz 5 Energia Renovável S.A.	0,67	1,41	0,59	0,98	1,02
24	Chafariz 6 Energia Renovável S.A.	0,39	1,09	0,91	0,98	1,02
25	Chafariz 7 Energia Renovável S.A.	0,36	1,04	0,96	0,98	1,02
26	Lagoa 3 Energia Renovável S.A.	0,39	1,09	0,91	0,98	1,02
27	Lagoa 4 Energia Renovável S.A.	0,38	1,08	0,92	0,98	1,02
28	Ventos de Arapuá 1 Energia Renovável S.A.	0,69	1,42	0,58	0,96	1,04
29	Ventos de Arapuá 2 Energia Renovável S.A.	0,71	1,43	0,57	0,93	1,07
30	Ventos de Arapuá 3 Energia Renovável S.A.	0,69	1,42	0,58	0,96	1,04
31	EOL Serra das Vacas V - Paranatama (Pernambuco)	0,32	1,15	0,85	1,16	0,84
32	EOL Serra das Vacas VII - Paranatama (Pernambuco)	0,33	1,18	0,82	1,17	0,83
33	CGE Delta 3 I	0,53	1,39	0,61	1,17	0,83
34	CGE Delta 3 II	0,51	1,37	0,63	1,17	0,83
35	CGE Delta 3 III	0,51	1,37	0,63	1,17	0,83
36	CGE Delta 3 IV	0,51	1,37	0,63	1,17	0,83
37	CGE Delta 3 V	0,55	1,41	0,59	1,17	0,83
38	CGE Delta 3 VI	0,55	1,41	0,59	1,17	0,83
39	CGE Delta 3 VII	0,47	1,32	0,68	1,16	0,84
40	CGE Delta 3 VIII	0,49	1,36	0,64	1,19	0,81

41	OL Porto do Delta	0,29	1,07	0,93	1,12	0,88
42	Testa Branca I	0,56	1,41	0,59	1,17	0,83
43	Testa Branca III	0,57	1,42	0,58	1,17	0,83
44	Eólica Itarema I	0,35	1,19	0,81	1,16	0,84
45	Eólica Itarema II	0,18	0,87	1,13	1,11	0,89
46	Eólica Itarema III	0,18	0,87	1,13	1,11	0,89
47	Eólica Itarema IV	0,20	0,93	1,07	1,13	0,87
48	Eólica Itarema V	0,18	0,86	1,14	1,11	0,89
49	Eólica Itarema VI	0,21	0,95	1,05	1,13	0,87
50	Eólica Itarema VII	0,20	0,94	1,06	1,13	0,87
51	Eólica Itarema VIII	0,22	0,98	1,02	1,14	0,86
52	Eólica Itarema IX	0,21	0,95	1,05	1,13	0,87
53	Serra da Babilonia II	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
54	Serra da Babilonia VI	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
55	Serra da Babilonia VII	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
56	Serra da Babilonia VIII	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
57	Serra da Babilonia IX	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
58	Serra da Babilonia X	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
59	Serra da Babilonia XI	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
60	Serra da Babilonia XII	0,35	1,17	0,83	1,15	0,85
61	Proyecto Eolico los Santos	0,48	1,49	0,51	1,39	0,61
62	Proyecto Eolico Fila Mogote	0,25	1,17	0,83	1,25	0,75
63	Proyecto Eolico Chiripa	0,27	1,25	0,75	1,29	0,71
64	Proyecto Eolico Tilawind	0,27	1,18	0,82	1,24	0,76
65	Proyecto Eolico Cacao	0,28	1,22	0,78	1,26	0,74
66	Mesa La Paz	0,51	1,31	0,69	1,08	0,92
67	Bii Stinu Wind Farm (Oaxaca 4)	0,38	1,29	0,71	1,23	0,77
68	Santo Domingo Wind Farm (Oaxaca 5)	0,38	1,29	0,71	1,23	0,77
69	Ienova Sierra Juarez Wind Farm (Baja California)	0,23	1,15	0,85	1,25	0,75
70	Ienova Ventika I Wind Farm (Nuevo León 1)	0,18	1,02	0,98	1,20	0,80
71	Ienova Ventika II Wind Farm (Nuevo León 2)	0,18	1,02	0,98	1,20	0,80
72	La Bufa Wind Farm (Zacatecas)	0,35	1,30	0,70	1,28	0,72
73	EDP Coahuila Wind Farm (Coahuila)	0,48	1,28	0,72	1,08	0,92
74	Zuma Reynosa III Wind Farm (Tamaulipas)	0,55	1,32	0,68	1,03	0,97
75	Eolica del Golfo 1 Dzilam Bravo Wind Farm (Yucatán)	0,61	1,49	0,51	1,24	0,76
76	Iberdrola Pier II (Parque Eólico Puebla)	0,38	1,20	0,80	1,13	0,87
77	Cupisnique	0,36	1,31	0,69	1,27	0,73
78	Talara	0,36	1,31	0,69	1,28	0,72
79	Proyecto Eólico Cerro de Hula (Honduras)	0,25	1,23	0,77	1,29	0,71
80	Proyecto Eólico Amayo Fase I (Nicaragua)	0,20	1,13	0,87	1,25	0,75
81	Proyecto Eólico Penonomé II (Panamá)	0,30	1,24	0,76	1,26	0,74

Fuente: Elaboración propia

Anexo 13: Proyectos solares seleccionados

#	Emisor	Codigo País (ISO 3)	Proyecto	PCG – ACV (KgCO2/MWh)	Precio de Venta (USD/MWh)
1	Jujuy	ARG	Park Cauchari Solar I	18,11	60
2	Jujuy	ARG	Park Cauchari Solar II	18,11	60
3	Jujuy	ARG	Park Cauchari Solar III	18,11	60
4	AES Tietê	BRA	Complexo Solar Guaimbé	18,11	87,08
5	AES Tietê	BRA	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	18,11	75,78
6	Athon Energia	BRA	SPEs Sextans I	18,11	57
7	Athon Energia	BRA	SPE Sextans II	18,11	57
8	Athon Energia	BRA	SPE Enel Goiás	18,11	57
9	Athon Energia	BRA	SPE Elektro	18,11	57
10	Athon Energia	BRA	SPE Celpa	18,11	57
11	Athon Energia	BRA	SPE Cemar	18,11	57
12	EPSA (CELSIA)	COL	Celcia Solar Yumbo	18,11	72,8
13	EPSA (CELSIA)	COL	Celcia Solar Bolívar	18,11	56
14	EPSA (CELSIA)	COL	Since PV Plant	18,11	63
15	EPSA (CELSIA)	COL	Celcia El Carmelo PV Plant	18,11	59
16	Atlas Renewable Energy	URY	El Naranjal	18,11	77
17	Atlas Renewable Energy	URY	EL Litoral	18,11	85
18	CIFI	SUP	San Juan	18,11	123
19	CIFI	SUP	GR Tineo SpA	18,11	55
20	CIFI	SUP	GR Lingue SpA	18,11	61
21	CIFI	SUP	El Espinal	18,11	74
22	CIFI	SUP	Bosforo	18,11	93

Fuente: Elaboración propia

Anexo 14: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus hidráulicos

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,H}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,H}$
1	Park Cauchari Solar I	1,29	0,65	1,35	0,93	1,07
2	Park Cauchari Solar II	1,29	0,69	1,31	1,13	0,87
3	Park Cauchari Solar III	1,29	0,67	1,33	1,06	0,94
4	Complexo Solar Guaimbé	1,06	0,65	1,35	0,90	1,10
5	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	1,14	0,65	1,35	0,90	1,10
6	SPEs Sextans I	1,32	0,65	1,35	0,90	1,10
7	SPE Sextans II	1,32	0,65	1,35	0,90	1,10
8	SPE Enel Goiás	1,32	0,65	1,35	0,90	1,10
9	SPE Elektro	1,32	0,65	1,35	0,90	1,10
10	SPE Celpa	1,32	0,67	1,33	1,04	0,96
11	SPE Cemar	1,32	0,65	1,35	0,89	1,11
12	Celcia Solar Yumbo	1,17	0,66	1,34	0,96	1,04
13	Celcia Solar Bolívar	1,33	0,65	1,35	0,92	1,08
14	Since PV Plant	1,26	0,68	1,32	1,07	0,93
15	Celcia El Carmelo PV Plant	1,30	0,68	1,32	1,12	0,88
16	El Naranjal	1,14	0,72	1,28	1,27	0,73
17	EL Litoral	1,08	0,65	1,35	0,88	1,12
18	San Juan	0,86	0,66	1,34	0,94	1,06
19	GR Tineo SpA	1,34	0,67	1,33	1,05	0,95
20	GR Lingue SpA	1,28	0,69	1,31	1,16	0,84
21	El Espinal	1,16	0,65	1,35	0,93	1,07
22	Bosforo	1,02	0,69	1,31	1,13	0,87

Fuente: Elaboración propia

Anexo 15: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus gas

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,G}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,G}$
1	Park Cauchari Solar I	12,25	-2,25	4,25	0,71	1,29
2	Park Cauchari Solar II	12,25	-2,25	4,25	0,71	1,29
3	Park Cauchari Solar III	12,25	-2,25	4,25	0,71	1,29
4	Complexo Solar Guaimbé	10,15	-1,96	3,96	1,32	0,68
5	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	10,94	-2,07	4,07	1,11	0,89
6	SPEs Sextans I	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
7	SPE Sextans II	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
8	SPE Enel Goiás	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
9	SPE Elektro	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
10	SPE Celpa	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
11	SPE Cemar	12,54	-2,29	4,29	0,61	1,39
12	Celcia Solar Yumbo	11,16	-2,10	4,10	1,04	0,96
13	Celcia Solar Bolívar	12,64	-2,30	4,30	0,58	1,42
14	Since PV Plant	11,98	-2,21	4,21	0,79	1,21
15	Celcia El Carmelo PV Plant	12,35	-2,26	4,26	0,68	1,32
16	El Naranjal	10,85	-2,06	4,06	1,13	0,87
17	EL Litoral	10,29	-1,98	3,98	1,29	0,71
18	San Juan	8,27	-1,67	3,67	1,77	0,23
19	GR Tineo SpA	12,74	-2,31	4,31	0,55	1,45
20	GR Lingue SpA	12,16	-2,24	4,24	0,74	1,26
21	El Espinal	11,07	-2,09	4,09	1,07	0,93
22	Bosforo	9,79	-1,91	3,91	1,42	0,58

Fuente: Elaboración propia

Anexo 16: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus carbón

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,C}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,C}$
1	Park Cauchari Solar I	17,04	-2,94	4,94	0,22	1,78
2	Park Cauchari Solar II	17,04	-2,94	4,94	0,22	1,78
3	Park Cauchari Solar III	17,04	-2,94	4,94	0,22	1,78
4	Complexo Solar Guaimbé	14,40	-2,62	4,62	0,98	1,02
5	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	15,40	-2,75	4,75	0,71	1,29
6	SPEs Sextans I	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
7	SPE Sextans II	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
8	SPE Enel Goiás	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
9	SPE Elektro	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
10	SPE Celpa	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
11	SPE Cemar	17,39	-2,98	4,98	0,11	1,89
12	Celcia Solar Yumbo	15,68	-2,78	4,78	0,63	1,37
13	Celcia Solar Bolívar	17,51	-2,99	4,99	0,07	1,93
14	Since PV Plant	16,70	-2,90	4,90	0,32	1,68
15	Celcia El Carmelo PV Plant	17,15	-2,95	4,95	0,18	1,82
16	El Naranjal	15,28	-2,73	4,73	0,74	1,26
17	EL Litoral	14,57	-2,64	4,64	0,93	1,07
18	San Juan	11,95	-2,30	4,30	1,57	0,43
19	GR Tineo SpA	17,63	-3,01	5,01	0,03	1,97
20	GR Lingue SpA	16,92	-2,93	4,93	0,25	1,75
21	El Espinal	15,56	-2,77	4,77	0,66	1,34
22	Bosforo	13,93	-2,56	4,56	1,10	0,90

Fuente: Elaboración propia

Anexo 17: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus bioenergía

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,B}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,B}$
1	Park Cauchari Solar I	3,05	-0,38	2,38	0,43	1,57
2	Park Cauchari Solar II	3,05	-0,38	2,38	0,43	1,57
3	Park Cauchari Solar III	3,05	-0,38	2,38	0,43	1,57
4	Complexo Solar Guaimbé	2,65	-0,29	2,29	0,75	1,25
5	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	2,81	-0,32	2,32	0,64	1,36
6	SPEs Sextans I	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
7	SPE Sextans II	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
8	SPE Enel Goiás	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
9	SPE Elektro	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
10	SPE Celpa	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
11	SPE Cemar	3,11	-0,39	2,39	0,39	1,61
12	Celcia Solar Yumbo	2,85	-0,33	2,33	0,60	1,40
13	Celcia Solar Bolívar	3,12	-0,40	2,40	0,37	1,63
14	Since PV Plant	3,00	-0,37	2,37	0,47	1,53
15	Celcia El Carmelo PV Plant	3,07	-0,38	2,38	0,42	1,58
16	El Naranjal	2,79	-0,32	2,32	0,65	1,35
17	EL Litoral	2,68	-0,29	2,29	0,73	1,27
18	San Juan	2,26	-0,19	2,19	1,03	0,97
19	GR Tineo SpA	3,14	-0,40	2,40	0,35	1,65
20	GR Lingue SpA	3,04	-0,38	2,38	0,45	1,55
21	El Espinal	2,83	-0,33	2,33	0,61	1,39
22	Bosforo	2,58	-0,27	2,27	0,81	1,19

Fuente: Elaboración propia

Anexo 18: Cálculos de la ecoeficiencia relativa - solares versus nuclear

#	Proyecto	$R_{A,C}$	$PP'_{A,P}$	$PP'_{A,N}$	$PP'_{C,P}$	$PP'_{C,N}$
1	Park Cauchari Solar I	0,72	1,61	0,39	1,26	0,74
2	Park Cauchari Solar II	0,72	1,61	0,39	1,26	0,74
3	Park Cauchari Solar III	0,72	1,61	0,39	1,26	0,74
4	Complexo Solar Guaimbé	0,56	1,54	0,46	1,35	0,65
5	Complexo Solar Ouroeste - Boa Hora & AGV	0,62	1,56	0,44	1,32	0,68
6	SPEs Sextans I	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
7	SPE Sextans II	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
8	SPE Enel Goiás	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
9	SPE Elektro	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
10	SPE Celpa	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
11	SPE Cemar	0,75	1,62	0,38	1,24	0,76
12	Celcia Solar Yumbo	0,64	1,57	0,43	1,31	0,69
13	Celcia Solar Bolívar	0,76	1,62	0,38	1,24	0,76
14	Since PV Plant	0,70	1,60	0,40	1,27	0,73
15	Celcia El Carmelo PV Plant	0,73	1,61	0,39	1,25	0,75
16	El Naranjal	0,61	1,56	0,44	1,32	0,68
17	EL Litoral	0,57	1,54	0,46	1,34	0,66
18	San Juan	0,43	1,47	0,53	1,39	0,61
19	GR Tineo SpA	0,77	1,63	0,37	1,23	0,77
20	GR Lingue SpA	0,72	1,61	0,39	1,26	0,74
21	El Espinal	0,63	1,57	0,43	1,31	0,69
22	Bosforo	0,53	1,52	0,48	1,36	0,64

Fuente: Elaboración propia

Anexo 19: Proyecciones – Primer escenario (0,085% del PIB)

Año	PIB (M USD)	Monto Emitido (M USD)	Emisiones CO_2 LAC ($kTCO_2$/Año)	Emisiones GEI evitadas ($kTCO_{2\text{-}eq}$/Año)	Emisiones Evitadas Acumuladas ($kCO_{2\text{-}eq}$/Año)	% Emisiones CO_2 LAC
2020	4 417 067	10 900	3 263 900	18 720	40 288	1,23%
2021	4 589 891	8 900	3 282 114	15 286	55 574	1,69%
2022	4 762 715	3 100	3 300 327	5 324	60 898	1,85%
2023	4 935 538	4 197	3 318 540	7 209	68 107	2,05%
2024	5 108 362	4 344	3 336 754	7 461	75 568	2,26%
2025	5 281 186	4 491	3 354 967	7 714	83 281	2,48%
2026	5 454 010	4 638	3 373 180	7 966	91 247	2,71%
2027	5 626 833	4 785	3 391 394	8 218	99 466	2,93%
2028	5 799 657	4 932	3 409 607	8 471	107 937	3,17%
2029	5 972 481	5 079	3 427 820	8 723	116 660	3,40%
2030	6 145 305	5 226	3 446 034	8 976	125 636	3,65%
2031	6 382 309	5 428	3 486 779	9 322	134 958	3,87%
2032	6 619 313	5 629	3 527 524	9 668	144 626	4,10%
2033	6 856 317	5 831	3 568 269	10 014	154 640	4,33%
2034	7 093 321	6 032	3 609 014	10 360	165 000	4,57%
2035	7 330 325	6 234	3 649 759	10 707	175 707	4,81%
2036	7 567 330	6 435	3 690 504	11 053	186 759	5,06%
2037	7 804 334	6 637	3 731 249	11 399	198 158	5,31%
2038	8 041 338	6 839	3 771 994	11 745	209 903	5,56%
2039	8 278 342	7 040	3 812 740	12 091	221 994	5,82%
2040	8 515 346	7 242	3 853 485	12 437	234 432	6,08%
2041	8 840 364	7 518	3 901 404	12 912	247 344	6,34%
2042	9 165 381	7 794	3 949 322	13 387	260 730	6,60%
2043	9 490 398	8 071	3 997 241	13 861	274 592	6,87%
2044	9 815 415	8 347	4 045 160	14 336	288 928	7,14%
2045	10 140 432	8 624	4 093 079	14 811	301 072	7,36%
2046	10 465 450	8 900	4 140 998	15 286	314 777	7,60%
2047	10 790 467	9 176	4 188 917	15 760	319 929	7,64%
2048	11 115 484	9 453	4 236 836	16 235	332 035	7,84%
2049	11 440 501	9 729	4 284 755	16 710	348 745	8,14%
2050	11 765 519	10 006	4 332 673	17 184	347 209	8,01%

Fuente: CLIMACAP-LAMP (2015), Climate Bonds Initiative (2023), elaboración propia

Anexo 20: Proyecciones – Segundo escenario (1,122% del PIB)

Año	PIB (M USD)	Monto Emitido (M USD)	Emisiones CO_2 LAC ($kTCO_2$/Año)	Emisiones GEI evitadas ($kTCO_{2\text{-}eq}$/Año)	Emisiones Evitadas Acumuladas ($kCO_{2\text{-}eq}$/Año)	% Emisiones CO_2 LAC
2020	4 417 067	10 900	3 263 900	18 720	74 294	2,28%
2021	4 589 891	8 900	3 282 114	15 286	89 580	2,73%
2022	4 762 715	3 100	3 300 327	5 324	94 904	2,88%
2023	4 935 538	55 377	3 318 540	95 108	190 012	5,73%
2024	5 108 362	57 316	3 336 754	98 438	288 450	8,64%
2025	5 281 186	59 255	3 354 967	101 769	390 219	11,63%
2026	5 454 010	61 194	3 373 180	105 099	495 318	14,68%
2027	5 626 833	63 133	3 391 394	108 429	603 747	17,80%
2028	5 799 657	65 072	3 409 607	111 760	715 507	20,99%
2029	5 972 481	67 011	3 427 820	115 090	830 597	24,23%
2030	6 145 305	68 950	3 446 034	118 420	949 017	27,54%
2031	6 382 309	71 610	3 486 779	122 987	1 072 005	30,74%
2032	6 619 313	74 269	3 527 524	127 554	1 199 559	34,01%
2033	6 856 317	76 928	3 568 269	132 122	1 331 681	37,32%
2034	7 093 321	79 587	3 609 014	136 689	1 468 370	40,69%
2035	7 330 325	82 246	3 649 759	141 256	1 609 625	44,10%
2036	7 567 330	84 905	3 690 504	145 823	1 755 448	47,57%
2037	7 804 334	87 565	3 731 249	150 390	1 905 838	51,08%
2038	8 041 338	90 224	3 771 994	154 957	2 060 795	54,63%
2039	8 278 342	92 883	3 812 740	159 524	2 220 319	58,23%
2040	8 515 346	95 542	3 853 485	164 091	2 384 410	61,88%
2041	8 840 364	99 189	3 901 404	170 354	2 554 764	65,48%
2042	9 165 381	102 836	3 949 322	176 617	2 731 382	69,16%
2043	9 490 398	106 482	3 997 241	182 880	2 914 262	72,91%
2044	9 815 415	110 129	4 045 160	189 144	3 103 406	76,72%
2045	10 140 432	113 776	4 093 079	195 407	3 298 812	80,59%
2046	10 465 450	117 422	4 140 998	201 670	3 500 482	84,53%
2047	10 790 467	121 069	4 188 917	207 933	3 708 415	88,53%
2048	11 115 484	124 716	4 236 836	214 196	3 903 890	92,14%
2049	11 440 501	128 362	4 284 755	220 459	4 124 349	96,26%
2050	11 765 519	132 009	4 332 673	226 722	4 332 351	99,99%

Fuente: CLIMACAP-LAMP (2015), Climate Bonds Initiative (2023), elaboración propia