WWF

REPORTE

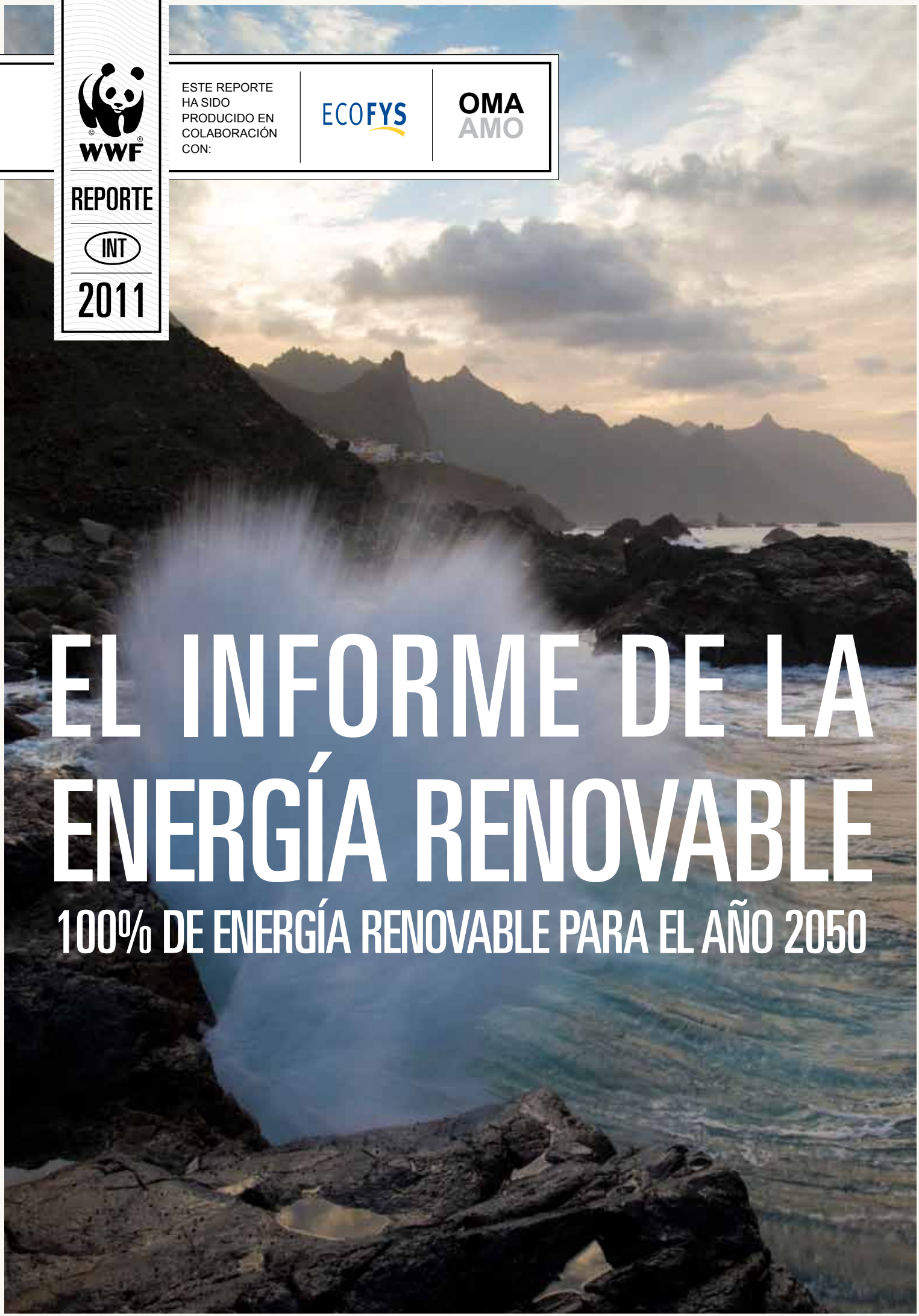
INT

2011

ESTE REPORTE HA SIDO PRODUCIDO EN COLABORACIÓN CON:

ECOFYS

OMA AMO



# EL INFORME DE LA ENERGÍA RENOVABLE

## 100% DE ENERGÍA RENOVABLE PARA EL AÑO 2050

# WWF

WWF es una de las organizaciones de conservación independientes más grande y con más experiencia en el mundo, con más de 5 millones de seguidores y una red mundial activa en más de 100 países. La misión de WWF es detener la degradación del ambiente natural del Planeta y construir un futuro en el cual los seres humanos convivan en armonía con la naturaleza, mediante la conservación de la diversidad biológica del mundo, asegurando el uso sostenible de los recursos naturales y promoviendo la reducción de la contaminación y el consumo desmedido.

# ECOFYS

Fundada en 1984 con la misión de lograr un suministro de energía sostenible para todos, Ecofys se ha convertido en un líder en ahorro de energía, soluciones energéticas sostenibles y políticas climáticas. La sinergia entre nuestros campos de competencia es la clave para nuestro éxito. Creamos soluciones inteligentes, eficaces, prácticas y sostenibles para y con nuestros clientes.

# OMA

La Oficina de Arquitectura Metropolitana (OMA, por sus siglas en inglés) es una asociación internacional líder, practicando la arquitectura contemporánea, el urbanismo y el análisis cultural. La contraparte a la práctica arquitectónica de OMA es el think-tank basado en investigación de la compañía, AMO. Mientras que OMA sigue estando dedicada a la construcción de edificios y planes maestros, AMO opera en zonas situadas mas allá de la arquitectura y urbanismo, como los medios de comunicación, política, sociología, tecnología, energía, moda, diseño gráfico y publicaciones.

**WWF International**
Avenue du Mont-Blanc
1196 Gland
Suiza
www.panda.org

**Ecofys**
P.O. Box 8408
3503 RK Utrecht
Países Bajos
www.ecofys.com

**OMA**
Heer Bokelweg 149
3032 AD Rotterdam
Países Bajos
www.oma.eu

**Este reporte fue posible gracias al generoso apoyo de ENECO.**

ISBN 978-2-940443-26-0

RECYCLED
Paper made from recycled material
FSC
www.fsc.org
FSC®

Fotografía de portada: © Wild Wonders of Europe / Inaki Relanzon / WWF

# CONTRIBUCIONES

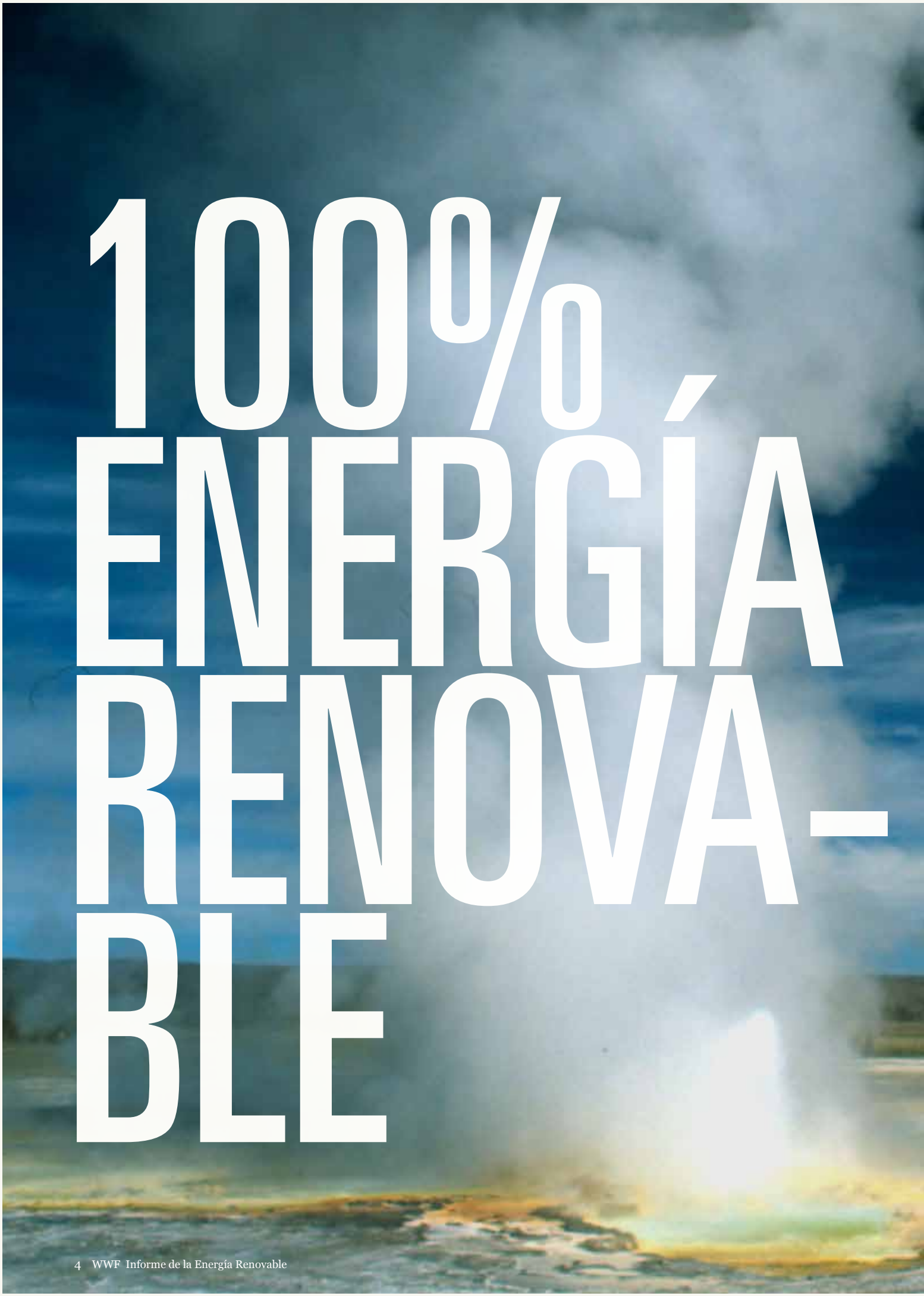
Editor en Jefe: Stephan Singer
Editor Técnico: Jean-Philippe Denruyter
Redactor Principal Parte 1: Barney Jeffries

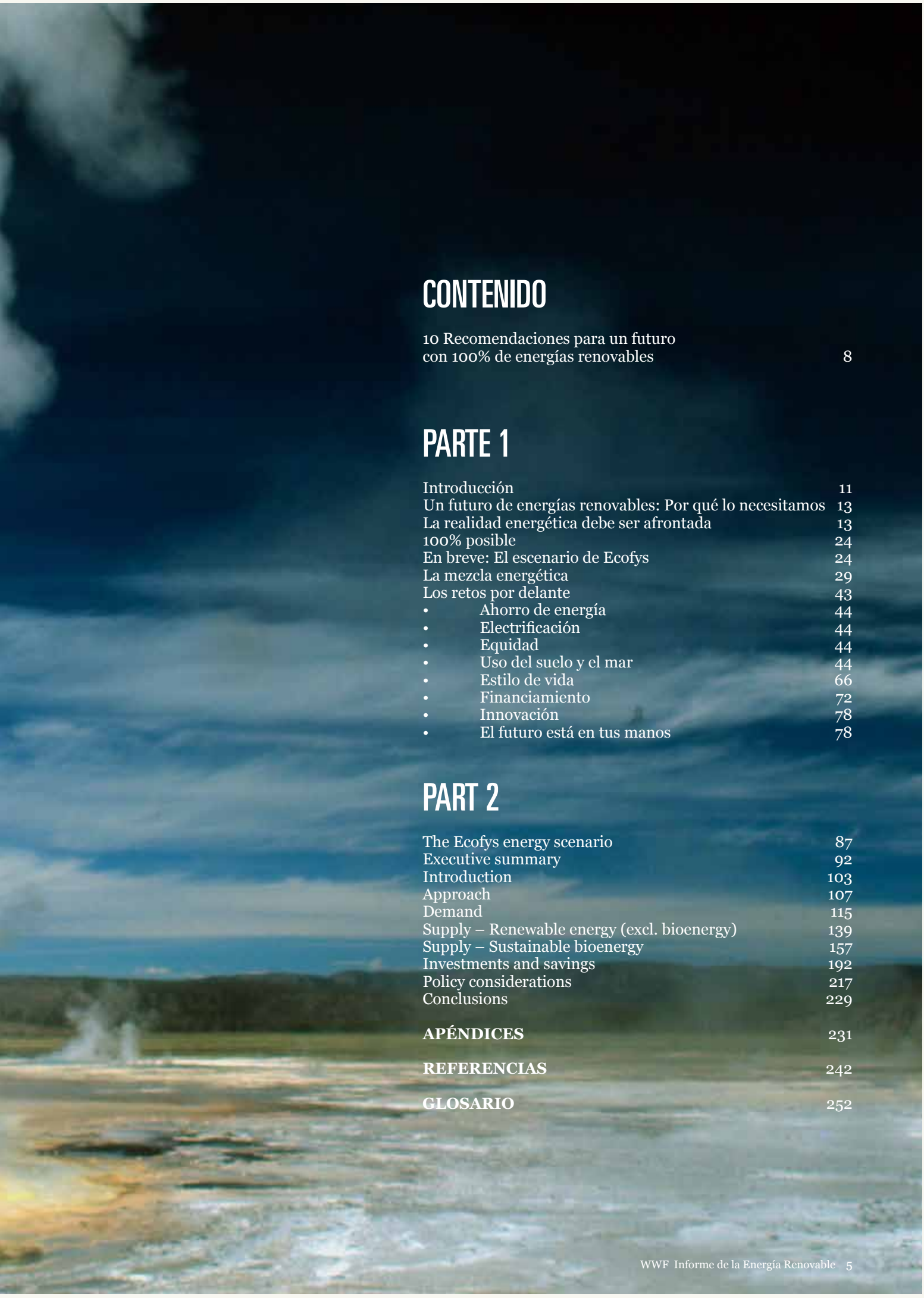
Equipo Editorial Parte 1: Owen Gibbons, Ellen Hendrix, Martin Hiller, Richard McLellan, Donald Pols

Con especial agradecimiento por su revisión y contribuciones: Keith Allott, Jason Anderson, Bryn Baker, Jessica Battle, Esther Blom, Kellie Caught, Kirsty Clough, Keya Chatterjee, Thomas Duveau, Wendy Elliott, Magnus Emfel, Lynn Englum, Mariangiola Fabbri, Bart Geneen, Ian Gray, Inna Gritsevich, Johan van de Gronden, May Guerraoui, Piers Hart, Joerg Hartmann, Patrick Hofstetter, Richard Holland, Yanli Hou, Nora Ibrahim, Andrea Kaszewski, Sampsa Kiianmaa, Alexey Kokorin, Li Lifeng, Pete Lockley, Paul Maassen, Yo.
suke Masako, David McLaughlin, László Máthé, Elisabeth McLellan, Martin von Mirbach, Kevin Ogorzalek, Stuart Orr, Mireille Perrin, Duncan Pollard, Voahirana Randriambola, Georg Rast, Peter Roberntz, Rafael Senga, Shirish Sinha, Gerald Steindlegger, Rod Taylor, Ivan Valencia, Arianna Vitali, Heikki Willstedt, Mattias de Woul, Richard Worthington, Naoyuki Yamagishi, Stefan Henningson.

Organizaciones participantes
Ecofys en la Parte 2
Redactores Principales: Yvonne Deng, Stijn Cornelissen, Sebastian Klaus
Revisores Principales: Kees van der Leun, Bart Wesselink, Kornelis Blok
(Ver la lista completa de autores, revisores y expertos asesores que contribuyeron, en la página 91 de la Parte 2)

OMA:
El equipo de AMO fue encabezado por el Socio Reinier de Graaf y la Asociada Laura Baird
Team: Tanner Merkeley, Federico D'Amico, Vilhelm Christensen, Amelia McPhee, Tim Cheung,
Dicle Uzunyayla


100%
ENERGÍA
RENOVA-
BLE



© Fritz Polking / WWF

# CONTENIDO


10 Recomendaciones para un futuro con 100% de energías renovables 8

## PARTE 1

Introducción 11
Un futuro de energías renovables: Por qué lo necesitamos 13
La realidad energética debe ser afrontada 13
100% posible 24
En breve: El escenario de Ecofys 24
La mezcla energética 29
Los retos por delante 43
- Ahorro de energía 44
- Electrificación 44
- Equidad 44
- Uso del suelo y el mar 44
- Estilo de vida 66
- Financiamiento 72
- Innovación 78
- El futuro está en tus manos 78

## PART 2

The Ecofys energy scenario 87
Executive summary 92
Introduction 103
Approach 107
Demand 115
Supply – Renewable energy (excl. bioenergy) 139
Supply – Sustainable bioenergy 157
Investments and savings 192
Policy considerations 217
Conclusions 229

**APÉNDICES** 231

**REFERENCIAS** 242

**GLOSARIO** 252

***Mapa 1: Una nueva perspectiva global rumbo al 2050.*** *Global GIS Database: Complete GlobaL Set, 2002*
*© AMO*

"Para el año 2050, podríamos obtener toda la energía necesaria de fuentes renovables. Este informe muestra que esta transición es no sólo posible, sino también costo-efectiva, proporcionando energía accesible para todos y producida en formas sostenibles por la economía global y el Planeta. La transición presentará importantes retos. Sin embargo, espero este informe inspire a los gobiernos y a las empresas para llegar a enfrentarse con estos desafíos y, al mismo tiempo, hacer de la economía renovable una realidad."

James P. Leape
Director General
WWF Internacional

# 10 RECOMENDACIONES PARA UN FUTURO CON 100% DE ENERGÍAS RENOVABLES

**1.**

**ENERGÍA LIMPIA:** Promover sólo los productos más eficientes. Desarrollar nuevas y existentes fuentes de energía renovable para proporcionar suficiente energía limpia a todas las personas rumbo al año 2050.

**2.**

**REDES ELÉCTRICAS:** Compartir e intercambiar energía limpia a través de redes y el comercio de electricidad, haciendo el mejor uso de los recursos de energía sostenible en diferentes áreas.

**3.**

**ACCESO:** Poner fin a la pobreza energética, proporcionando electricidad limpia y promoviendo prácticas sostenibles. Como por ejemplo estufas eficientes a todas las personas en países en desarrollo.

**4.**

**INVERSIÓN:** Invertir en energías renovables, energía limpia, productos y edificios eficientes.

**5.**

**ALIMENTOS:** Frenar el desperdicio de alimentos. Elegir alimentos suministrados en forma eficiente y sostenible, y así liberar espacio de terreno para el funcionamiento de la naturaleza, la reconversión a bosques y la generación responsable de biocombustibles. Toda persona en el mundo tiene el mismo derecho a un consumo saludable de proteína en su dieta. Para que eso ocurra, los países más ricos tienen que comer menos carne.

© Martin Harvey / WWF-Canon

**6.**

**MATERIALES:** Reducir, reutilizar y reciclar, son acciones necesarias para minimizar el desperdicio y ahorrar energía. Desarrollar materiales duraderos y evitar el consumo de las cosas que no necesitamos.

**7.**

**TRANSPORTE:** Proporcionar incentivos para fomentar un mayor uso del transporte público y reducir las distancias entre las personas y las mercancías. Promover la electrificación vehicular siempre que sea posible y apoyar la investigación sobre la conversión a hidrógeno y otros combustibles alternativos para el transporte marítimo y la aviación.

**8.**

**TECNOLOGÍA:** Desarrollar planes de acción a nivel nacional, bilateral y multilateral para promover la investigación y desarrollo en materia de eficiencia energética y energías renovables.

**9.**

**SOSTENIBILIDAD:** Desarrollar y aplicar estrictos criterios de sostenibilidad que aseguren la compatibilidad de la energía renovable con el ambiente y los objetivos de desarrollo.

**10.**

**ACUERDOS:** Apoyar acuerdos ambiciosos en materia de clima y energía, para fortalecer y crear capacidades, así como promover la cooperación global en esfuerzos de energía renovable y eficiencia energética.

© NASA

"WWF TIENE LA VISIÓN DE UN MUNDO CUYA ELECTRICIDAD PROVENGA AL 100% DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE PARA EL 2050. SIN ESTA TRANSICIÓN, ES MUY PROBABLE QUE EL MUNDO NO PUEDA EVITAR LA ESCALADA DE IMPACTOS NEGATIVOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO."

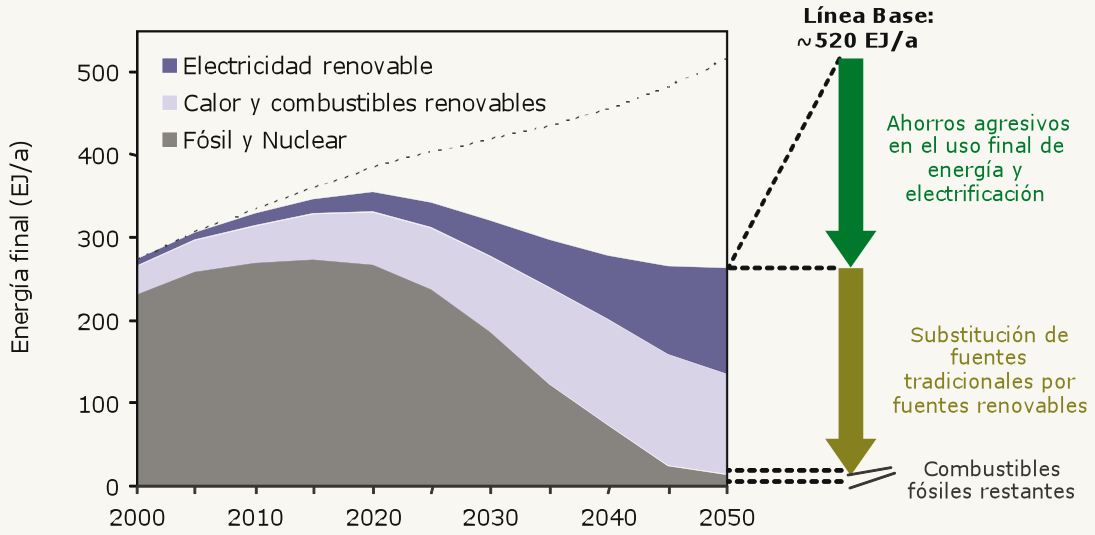



***Figura 1***
*Evolución de la oferta de energía en el escenario de Ecofys, mostrando los desarrollos clave.*
*Fuente: Escenario Energético de Ecofys, Diciembre 2010.*

# 100% DE ENERGÍA RENOVABLE PARA EL 2050

WWF tiene la visión de un mundo cuya electricidad provenga al 100% de fuentes de energía renovable para el 2050. Sin esta transición, es muy probable que el mundo no pueda evitar la escalada de impactos negativos del cambio climático.
¿Pero es posible conseguir un suministro del 100% de energía renovable para todos los habitantes del Planeta para el año 2050? WWF solicitó la experiencia de la firma de consultoría energética Ecofys para dar una respuesta a esta pregunta. Ecofys ha producido un escenario, en el cual demuestra la posibilidad técnica de alcanzar casi el 100% de energías renovables dentro de las próximas cuatro décadas. Los ambiciosos resultados de este escenario, junto con todos los supuestos, oportunidades, datos detallados y fuentes, se presentan en la Parte 2 del presente informe.

El escenario de Ecofys plantea un conjunto de importantes temas y desafíos. El Informe de la Energía Renovable investiga las opciones políticas, económicas, ambientales y sociales más críticas, exhortando a un debate más detallado.

¿Cómo satisfaremos los requerimientos del mundo en energía, alimentos, fibras, agua y otros, sin enfrentarnos a problemas tan grandes como: demandas conflictivas por la disponibilidad y uso de tierra y agua; el consumo insostenible de materias primas; los residuos nucleares; y las mezclas regionalmente apropiadas de energía?

El mundo necesita considerar seriamente lo que será necesario para la transición a un futuro de energía renovable y sostenible. Tenemos que encontrar soluciones a los dilemas planteados en este informe. Es nuestra responsabilidad resolver las necesidades de energía de las generaciones actuales y futuras, esto, es hoy, una de las tareas políticas más importantes, desafiantes y urgentes.

“1,400 MILLONES
DE PERSONAS NO
TIENEN ACCESO
A UNA FUENTE
DE ELECTRICIDAD
CONFIABLE”

© Cat Holloway / WWF-Canon

# UN FUTURO DE ENERGÍAS RENOVABLES: POR QUÉ LO NECESITAMOS

## Cambiar a energías renovables, no es sólo la mejor opción. Es nuestra única opción.

La forma en que producimos y usamos la energía hoy en día no es sostenible. Nuestras principales fuentes de combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas, son recursos naturales finitos, y los estamos agotando a un ritmo rápido. Además, son los principales contribuyentes al cambio climático, y la carrera por los últimos recursos fósiles "baratos" evoca los desastres para el ambiente natural tales como el reciente caso del derrame de petróleo de la empresa BP en el Golfo de México. En el mundo en desarrollo, la desertificación regional y local es causada por el agotamiento de leña y otras fuentes de biomasa a menudo usadas de manera muy ineficiente, lo cual ocasiona contaminación sustantiva y millones de muertes cada año. Una fuente de energía renovable sostenible es la única manera en la cual podemos garantizar energía para todas las personas y evitar una catástrofe ambiental.

# LA REALIDAD ENERGÉTICA DEBE SER AFRONTADA

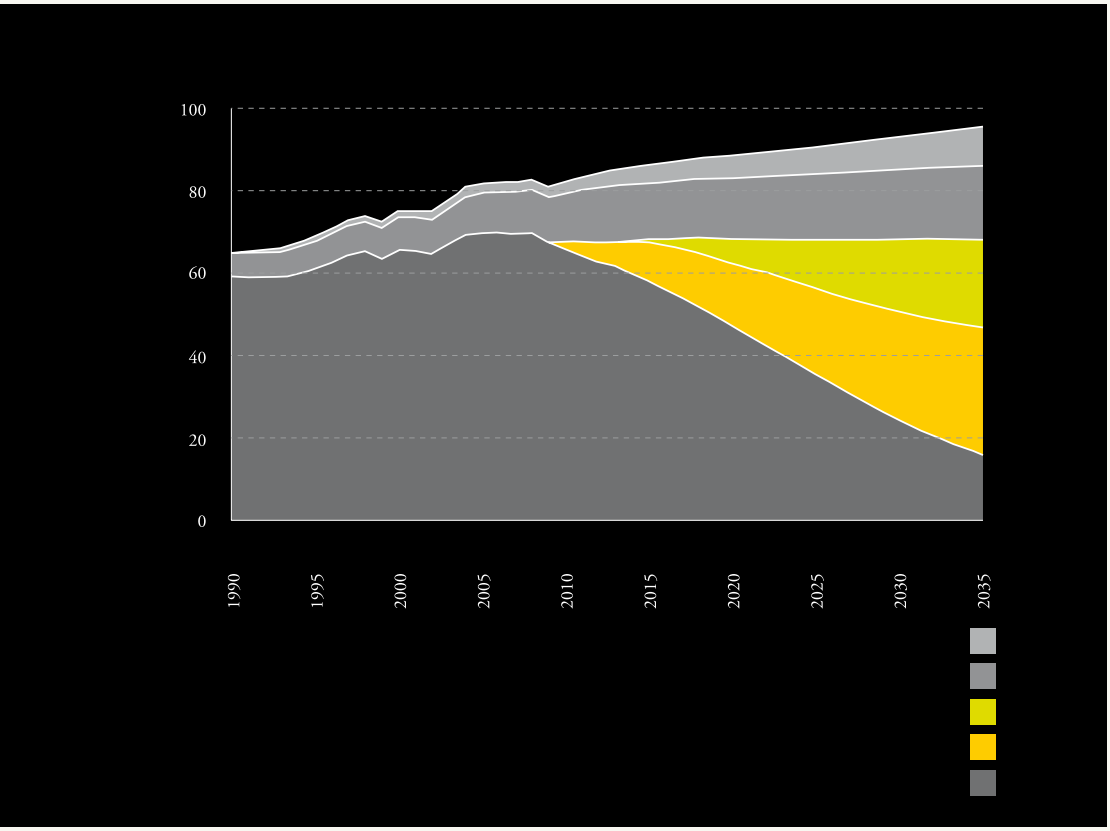
## 1,400 millones de personas no tienen acceso a una fuente de electricidad confiable[1].

Mientras que la mayoría de nosotros da por sentado que la energía es un derecho básico, una quinta parte de la población mundial aún no tiene acceso a una fuente de electricidad confiable. Este hecho reduce drásticamente sus posibilidades de recibir una educación adecuada y ganarse la vida. A medida que el precio de la energía aumenta, los pobres del mundo seguirán siendo excluidos.

Al mismo tiempo, más de 2,700 millones de personas dependen de la bioenergía tradicional (principalmente madera, residuos de cosechas y estiércol) como su principal fuente de combustible de cocción y calefacción[2]. Esto a menudo es obtenido de manera no sostenible, causando erosión del suelo y aumentando el riesgo de inundaciones, así como amenazas a la diversidad biológica y aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Las estufas tradicionales también son un problema significativo para la salud: la Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 2.5 millones de mujeres y bebés mueren prematuramente cada año como resultado de la inhalación de sus vapores[3]. Con muchas sociedades en desarrollo convirtiéndose rápidamente en sociedades urbanas, la calidad del aire en las ciudades disminuirá aún más.

Combustibles fósiles finitos y cada vez más caros no son la respuesta para países en desarrollo. Las fuentes de energía renovable ofrecen el potencial para transformar la calidad de vida y mejorar las perspectivas económicas de miles de millones de personas.

1. IEA, World Energy Outlook (WEO) 2010, Paris
2. IEA, World Energy Outlook (WEO) 2010, Paris.
3. http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull442/44204002429.pdf




"SI TODAS LAS PERSONAS EN EL MUNDO CONSUMIERAN PETRÓLEO AL MISMO RITMO QUE UN HABITANTE PROMEDIO DE ARABIA SAUDITA, SINGAPUR O ESTADOS UNIDOS, LAS RESERVAS PROBADAS DE PETRÓLEO SE CONSUMIRÍAN EN MENOS DE 10 AÑOS"*

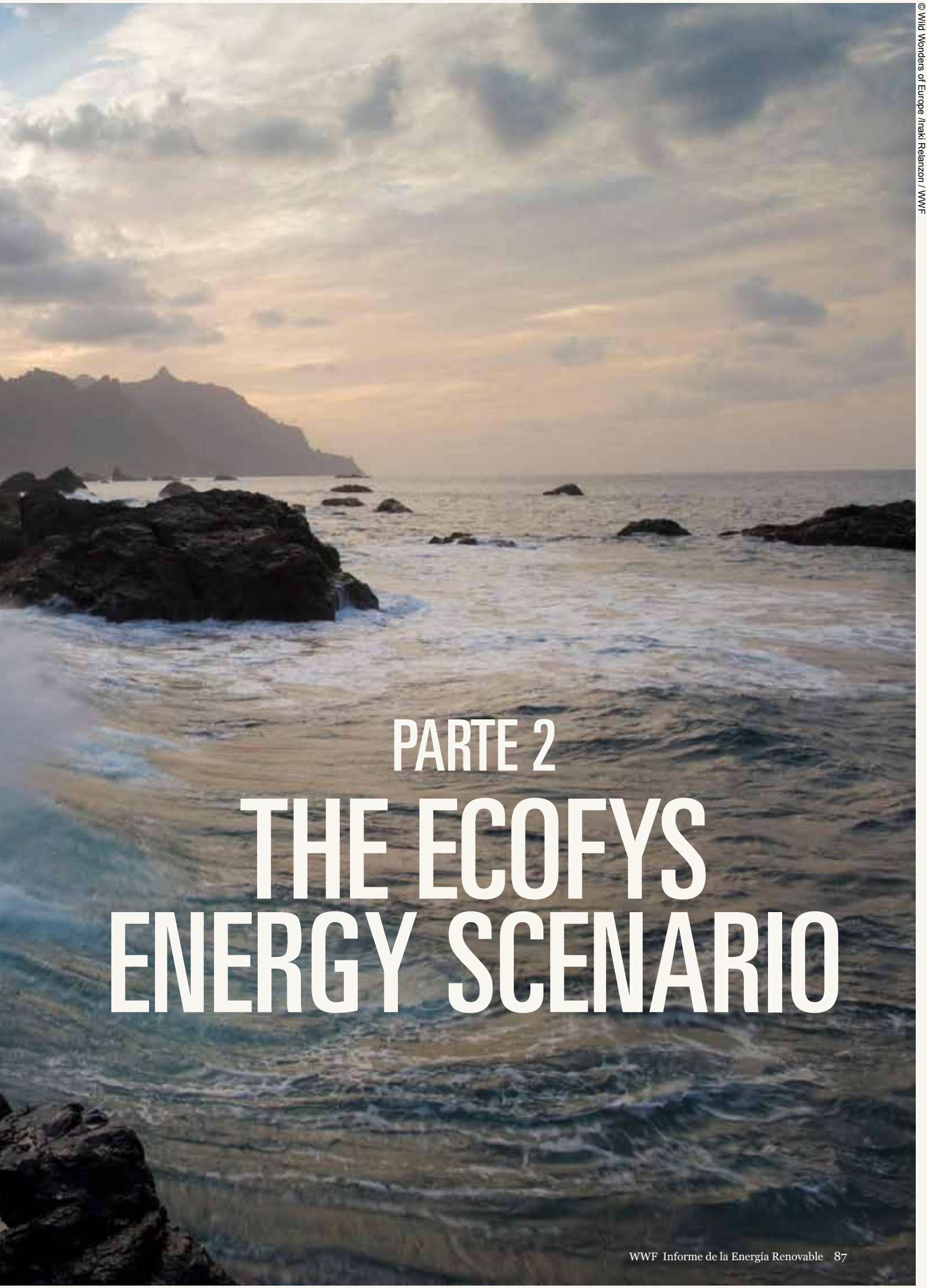
***Figura 2: Producción global de petróleo***
*http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/key_graphs.pdf*

# EL PETRÓLEO Y EL GAS SE ESTÁN AGOTANDO

Los suministros de gas y petróleo baratos y convencionales están disminuyendo, mientras que nuestra demanda de energía sigue aumentando. Es evidente que nuestra dependencia de los combustibles fósiles no puede continuar indefinidamente. Con la población mundial prevista para aumentar a más de 9,000 millones en los próximos 40 años, el "business-as-usual" (escenario sin cambios significativos en los patrones de consumo de energía) no es una opción.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés)[4], la producción de las reservas conocidas de gas y petróleo caerá de un 40% a un 60% para el año 2030. Sin embargo, la sed del mundo desarrollado por energía no disminuye y la demanda energética se está disparando en las economías emergentes como China, India y Brasil. Si todas las personas en el mundo consumieran petróleo al mismo ritmo que un habitante promedio de Arabia Saudita, Singapur o Estados Unidos, las reservas probadas de petróleo se consumirían en menos de 10 años[5]. Además, la competencia por los combustibles fósiles es una fuente de tensión internacional y conflictos potenciales.

Las empresas energéticas están realizando, cada vez más, extracciones no convencionales de petróleo y gas, como el gas de esquisto; el petróleo de plataformas en aguas profundas, como la plataforma Deepwater Horizon de BP o las arenas bituminosas en Canadá. Pero estos recursos tienen un costo sin precedentes, y no sólo en términos económicos, sino también ambientales y sociales. Muchas reservas se encuentran en los lugares más impolutos del mundo, como selvas tropicales y el Ártico, los cuales son vitales para la diversidad biológica y donde tienen lugar los servicios ecosistémicos de los cuales todos dependemos, desde el agua dulce hasta una atmósfera sana. Extraer estos recursos es difícil y peligroso, lo cual representa un alto costo económico para las empresas, comunidades y economías cuando las cosas van mal. El procesar y aprovechar fuentes no convencionales de combustibles fósiles produce grandes cantidades de gases de efecto invernadero y contaminación química. Además supone demandas insostenibles de nuestros recursos de agua dulce, con graves impactos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos.



© Wild Wonders of Europe /Inaki Relanzon / WWF

# PARTE 2
# THE ECOFYS ENERGY SCENARIO

© Wild Wonders of Europe /Inaki Relanzon / WWF

# El escenario energético de Ecofys

Elaborado por: Yvonne Deng, Stijn Cornelissen, Sebastian Klaus

© Ecofys 2011

# Prefacio

El escenario energético ha sido elaborado por Ecofys, una empresa de consultoría líder en eficiencia energética, energías renovables y cambio climático.

Este escenario comenzó como un proyecto de investigación interna en 2008 y posteriormente se convirtió en una iniciativa de colaboración con WWF, quiénes también tenían la intención de realizar investigaciones en torno a un posible camino que permitiera contar con un 100% de energías renovables para el año 2050.

A continuación se nombran los principales contribuyentes, pero los autores desean agradecer cumplidamente a muchos otros asesores no nombrados, cuya contribución se realizó desde el comienzo del proyecto.

Autores principales:

Dr. Yvonne Deng
Stijn Cornelissen
Sebastian Klaus

Autores participantes y revisores:

Prof. Dr. Kornelis Blok
Kees van der Leun
Prof. Dr. Ernst Worrell
Thomas Boermans
Dr. Maarten Neelis
Dr. Monique Hoogwijk
Stefan Henningson
Michèle Koper
Dr. Bart Wesselink
Erika de Visser
David de Jager
Willem Hettinga
Saskia Hagedoorn
Jasper Vis

Expertos asesores:

Bart Dehue
Dr. Chris Hendriks
Dr. Christian Nabe
Dr. Robert Harmsen
Dr. Carlo Hamelinck
Dr. Niklas Höhne
Wina Graus
Robert Winkel
Dr. Ernst van Zuijlen
Dr. Robert van den Hoed

# Resumen

Este escenario es un posible camino hacia un nuevo sistema energético global y sostenible. Adopta un enfoque holístico para todos los aspectos relacionados con el uso de energía en todo el mundo y todas las fuentes posibles de oferta sostenible de energía a nuestra disposición. El escenario considera las actividades reales y físicas consumidoras de energía, como: nuestros procesos industriales, nuestros automóviles, nuestros edificios.

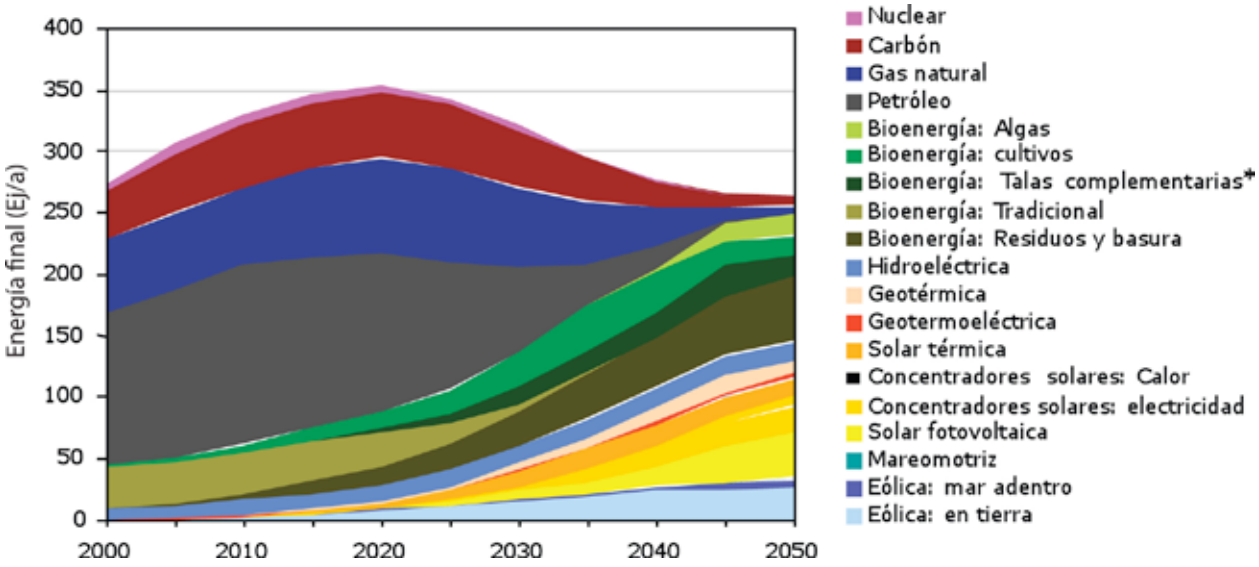
Para cada uno de estos usos finales, el escenario plantea las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la cantidad **mínima** de energía necesaria para llevar a cabo estas funciones?
- ¿Cómo podemos suministrar esta energía de una forma sostenible?

Los aspectos claves de este nuevo escenario energético global son:

- Considera una ruta ambiciosa pero factible en todos los sectores; podemos construir un sistema energético para el año 2050 que suministre el **95% de su energía a partir de fuentes sostenibles**.
- Este sistema energético aprovecha sólo una fracción de la mayoría de las fuentes de energía sostenibles, lo que lo convierte en un escenario balanceado.
- Podemos transitar hacia un mundo que se puede desarrollar y mantener **estilos de vida** confortables, aunque nuestras vidas se adaptarán a nuevos hábitos.
- La **eficiencia energética** es el requisito clave para satisfacer nuestras futuras necesidades energéticas a partir de fuentes sostenibles.
- La electricidad es el portador de energía disponible más fácilmente a partir de fuentes de energía sostenibles, por lo que la **electrificación** es fundamental.
- Todos los **bioenergéticos** requeridos primordialmente para la demanda de combustible residual y calor, pueden ser obtenidos de forma **sostenible**, siempre y cuando existan políticas y prácticas de gestión adecuadas.
- El sistema energético planteado en este escenario tendrá grandes **ventajas en términos de costos** sobre un sistema “business-as-usual”, tales como inversiones las cuales serán mejor compensadas con los ahorros en los costos de energía en los últimos años.

A continuación se muestra la composición global de la oferta mundial de energía considerada en el escenario.



## Índice de contenido Parte 2

**1 Introducción 103**

**2 Enfoque 107**

2.1 Enfoque sobre la bioenergía ... 111

**3 Demanda 115**

3.1 Resultados generales ... 115

3.2 Industria ... 119

3.3 Edificios ... 124

3.4 Transporte ... 131

**4 Oferta – Energías renovables (con excepción de la bioenergía) ... 139**

4.1 Resultados generales ... 139

4.2 Potenciales para suministro de electricidad y calor a partir de energías renovables (con excepción de la bioenergía) ... 142

4.3 Resultados – Electricidad ... 146

4.4 Resultados – Calor y combustibles para el sector industrial ... 151

4.5 Resultados – Calor para edificios ... 152

4.6 Resultados – Combustibles para transporte ... 153

4.7 Emisiones de GEI ... 153

**5 Oferta – Bioenergía sostenible ... 157**

5.1 Resumen: Atendiendo la demanda con bioenergía sostenible ... 157

5.2 Sostenibilidad de la bioenergía: Enfoque para asegurar la sostenibilidad ... 161

5.3 Sostenibilidad de la bioenergía: uso de suelo y seguridad alimentaria ... 164

5.4 Sostenibilidad de la bioenergía: Insumos agrícolas y procesamiento ... 177

5.5 Sostenibilidad de la bioenergía: Talas complementarias ... 179

5.6 Sostenibilidad de la bioenergía: Uso de residuos y desperdicios ... 183

5.7 Algas sostenibles ... 186

5.8 Comparación con otros estudios ... 190

5.9 Sostenibilidad de la bioenergía: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero ... 191

**6 Inversiones y ahorros ... 194**

6.1 Introducción ... 194

6.2 General ... 194

6.3 Industria ... 200

6.4 Edificios ... 203

6.5 Transporte ... 206

6.6 Electricidad ... 210

6.7 Redes eléctricas ... 212

6.8 Calor y combustibles renovables ... 213

6.9 Investigación y desarrollo ... 215

6.10 Análisis de la sensibilidad de los precios de la energía ..... 217
6.11 Conclusiones ..... 219

**7 Consideraciones de política ..... 221**
7.1 La necesidad de contar con políticas ..... 221
7.2 Objetivos de política ..... 221
7.3 Recomendaciones ..... 233

**8 Conclusiones 237**

**Anexo A Gráficas clave ..... 239**
**Anexo B Supuestos sobre la demanda 242**

B 1 Evolución de la actividad industrial ..... 242
B 2 Evolución de la actividad en Edificios ..... 243

**Anexo C Supuestos sobre la bioenergía ..... 244**
C 1 Fracciones recuperables ..... 244
C 2 Rendimientos de los cultivos energéticos ..... 249
C 3 Eficiencias de tecnologías de conversión ..... 250

**Anexo D Análisis de sensibilidad sobre la bioenergía ..... 253**

**Anexo E Perspectiva sobre la silvicultura ..... 255**

**Anexo F Perspectiva de categorización de residuos y desperdicios ..... 256**

**Anexo G Referencias ..... 257**
G 1 Referencias – Introducción / enfoque ..... 257
G 2 Referencias – Demanda ..... 257
G 3 Referencias – Oferta (excl. bioenergía) ..... 258
G 4 Referencias – Bioenergía: General ..... 259
G 4.1 Referencias – Bioenergía: Residuos y desperdicios ..... 261
G 5 Referencias – Inversiones y ahorros ..... 264

**Anexo H Glosario ..... 266**

## Listado de Gráficas

Gráfica 1 - 1 Uso potencial global de varias fuentes de energía renovable. P. 104

Gráfica 2 - 1 El *Trias Energetica* es un concepto lógico que nos informa sobre nuestro uso de energía. P. 106

Gráfica 2 - 2 Enfoque conceptual utilizado para calcular la demanda futura de energía. P. 108

Gráfica 2 - 3 El uso de energía es analizado considerando los tres diferentes tipos de portadores de energía: electricidad, calor y combustible. P. 108

Gráfica 2 - 4 Enfoque general utilizado para calcular la oferta y demanda de energía del año 2000 al 2050. P. 109

Gráfica 2 - 5 Esquema aplicado en el Escenario Energético para asegurar la sustentabilidad en la oferta de bioenergéticos. (El tamaño de las formas en la imagen no es indicativo de la importancia de las categorías en el Escenario.) P .112

Gráfica 2 - 6 Enfoque sobre bioenergía, mostrando los diferentes tipos de insumos de biomasa y rutas de conversión que resultan en diversos tipos de portadores de energía para cubrir la demanda. P. 113

Gráfica 3 - 1 Demanda global de energía en todos los sectores, 2000 a 2050. P. 115

Gráfica 3 - 2 Comparación de la evolución de la demanda global de energía en el Escenario Energético con otros escenarios. Las tres líneas en la parte superior corresponden a energía primaria, las siguientes seis refieren energía final. P. 116

Gráfica 3 - 3 Población y PIB mundial utilizados como base para el Escenario. P.117

Gráfica 3 - 4 Niveles de actividad indexados sobre 2005 en términos absolutos (derecha) y términos per cápita (izquierda). Se muestran los volúmenes de producción industrial en los sectores “A” (industria), espacio construido de viviendas (Edificios), y pasajeros-kilómetros (Transporte). P. 118

Gráfica 3 - 5 Niveles globales de producción de los sectores "A" de la industria. P. 120

Gráfica 3 - 6 Evolución indizada de la actividad en el sector industrial. P. 121

Gráfica 3 - 7 Evolución de la intensidad energética para los cuatro sectores industriales "A", incluyendo el uso de rutas alternativas y de reciclaje. P. 122

Gráfica 3 - 8 Uso global general de energía en el sector industrial, por tipo de portador de energía. P. 124

Gráfica 3 - 9 Evolución del área de piso construida en el sector residencial. P. 125

Gráfica 3 - 10 Evolución indexada del espacio construido (R=Residencial, C=Comercial). P. 126

Gráfica 3 - 11 Evolución de la intensidad energética en el sector de Edificios. P. 128

Gráfica 3 - 12 Uso global general de energía en el sector Edificios, por tipo de portador de energía. P. 129

Gráfica 3 - 13 Evolución indexada de las actividades en el sector Transporte. P. 132

Gráfica 3 - 14 Cambio modal para transporte de pasajeros. P. 133

Gráfica 3 - 15 Cambio modal para transporte de carga. P. 133

Gráfica 3 - 16 Evolución de la intensidad energética en el sector Transporte. P. 136

Gráfica 3 - 17 Uso global de energía en el sector Transporte, por tipo de portador de energía. P. 136

Gráfica 4 - 1 Demanda global de energía en todos los sectores, por tipo de portador de energía. P. 139

Gráfica 4 - 2 Oferta global de energía en el Escenario, divida por fuente. (*las talas complementarias incluyen la participación sostenible del uso tradicional de la biomasa.) P. 140

Gráfica 4 - 3 Potencial de despliegue global de energía eólica. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible) P. 142

Gráfica 4 - 4 Potencial global de despliegue de energía hidroeléctrica y mareomotriz. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible) P. 143

Gráfica 4 - 5 Potencial global de despliegue de sistemas solares para generación de electricidad y calor (con excepción de los sistemas solares de calentamiento para edificios). (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible) P. 144

Gráfica 4 - 6 Potencial global de despliegue de la energía geotérmica. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible) P. 145

Gráfica 4 - 7 Oferta global de electricidad en el Escenario Energético. P. 146

Gráfica 4 - 8 Restricciones impuestas a la energía fotovoltaica y la energía eólica debido a los límites de potencia de las redes eléctricas. El rango representa las diferencias en todas las regiones. P. 149

Gráfica 4 - 9 Potencial de despliegue total vs uso real de fuentes de electricidad movidas por la oferta. P. 150

Gráfica 4 - 10 Potencial de despliegue global vs uso real de fuentes de electricidad movidas por la demanda (excluyendo a los bioenergéticos). P. 151

Gráfica 4 - 11 División de opciones de oferta energética en el sector industrial global (sin contar la electricidad). P. 151

Gráfica 4 - 12 División de opciones de oferta de energía en el sector global de Edificios (sin contar la electricidad). P. 152

Gráfica 4 - 13 División de las opciones de oferta de energía en el sector global del Transporte (sin contar a la electricidad). P. 153

Gráfica 4 - 14 Emisiones globales de CO2 equivalente como resultado del sistema energético expuesto en el Escenario. P. 154

Gráfica 5 - 1 Panorama general, a 2050, del uso de bioenergía sostenible en el Escenario vs potencial de sustentabilidad y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la bioenergía sostenible vs las referencias de combustibles fósiles. P. 157

Gráfica 5 - 2 Panorama de la participación de las energías renovables en el Escenario Energético y otros estudios. Los números absolutos no pueden ser comparados entre las dos gráficas de la izquierda y las dos de la derecha dado que expresan uso de energía final y uso de energía primaria, respectivamente. P. 158

Gráfica 5 - 3 Uso global de bioenergía vs. otras fuentes de energía renovables y no renovables. P. 159

Gráfica 5 - 4 Enfoque conceptual utilizado en el Escenario Energético respecto de la sustentabilidad de la bioenergía. P. 161

Gráfica 5 - 5 Resultados de la evaluación realizada para el Escenario Energético sobre potencial de uso de suelo para el cultivo energético de temporal. P. 165

Gráfica 5 - 6 Uso de suelo en el mundo con la excepción de la Antártida (total: 13,200 Mha) en su situación actual y en el Escenario Energético para 2050. El valor de 250 Mha para cultivos bioenergéticos es el valor máximo de uso de suelo que está establecido para estos cultivos en el Escenario. P. 167

Gráfica 5 - 7 Usos de suelo pre-excluidos del estudio de la IIASA. "Otros usos de suelo no aptos para la agricultura" incluye a las tierras áridas y los cuerpos internos de agua. P. 168

Gráfica 5 - 8 Exclusiones de usos de suelo del Escenario con base en el uso agrícola y las áreas sin protección actuales. P. 169

Gráfica 5 - 9 Exclusiones de uso de suelo realizadas en el Escenario con base en su adecuación para la agricultura de temporal. P. 170

Gráfica 5 - 10 Exclusiones de uso de suelo para el Escenario con base en la protección de la biodiversidad. P. 170

Gráfica 5 - 11 Exclusiones de uso de suelo en el Escenario con base en el desarrollo humano. P. 171

Gráfica 5 - 12 Cálculo de usos de suelo excluidos en el Escenario con base en la seguridad alimentaria global. P. 173

Gráfica 5 - 13 Exclusiones de uso de suelo del Escenario con base en la seguridad alimentaria. P. 177

Gráfica 5 - 14 Inclusiones y exclusiones para la categoría las talas complementarias, con base en la cosecha sostenible del crecimiento adicional de los bosques y el uso sostenible de la biomasa tradicional. P. 182

Gráfica 5 - 15 Potencial de residuos y desperdicios sostenibles encontrados en el Escenario a 2050, en cinco categorías. P. 183

Gráfica 5 - 16 Análisis adicional para el potencial de los desechos sólidos municipales. P. 185

Gráfica 5 - 17 Fracción recuperable de paja proveniente de los cereales en países de la OCDE. Solamente 35% de la paja está disponible para propósitos energéticos en virtud de otros usos en competencia, tales como su uso como fertilizante del suelo, servir como alimento o como cama para animales y en virtud de las barreras para su recolección. P. 185

Gráfica 5 - 18 Representación esquemática del ciclo de cultivo de algas. P. 188

Gráfica 5 - 19 Comparación del uso global del suelo en el Escenario Energético con los potenciales de áreas para bioenergía obtenidos de la literatura. "Contingencias" indica que el autor proporcionó el potencial en un rango en lugar de un número definitivo. P. 190

Gráfica 5 - 20 Comparación de uso global de energía primaria en cultivos energéticos en el Escenario Energético con los potenciales de energía primaria obtenidos de la literatura. "Contingencias" indica que el autor proporcionó el potencial con un rango, por ejemplo, debido a la incertidumbre de los rendimientos futuros. Dado que [IEA, 2009] y [Dornburg, 2008] dan los mismos números y parcialmente tiene los mismos autores, han sido agrupados en un solo estudio. P. 191

Gráfica 5 - 21 Emisiones de GEI en el Escenario Energético contra referencias de combustibles fósiles para 2050. P. 192

Gráfica 6 - 1 Enfoque genérico para los cálculos de los costos. P. 196

Gráfica 6 - 2 Desarrollo indexado de los precios de la energía. Un promedio (ponderado) se muestra para el índice de la biomasa, el cual conlleva una gran incertidumbre. P. 197

Gráfica 6 - 3 Resultados de los costos anuales globales para el Escenario Energético. P. 198

Gráfica 6 - 4 Resultados de costos netos por sector. P. 199

Gráfica 6 - 5 Comparación de resultados de costos con el PIB mundial. P. 200

Gráfica 6 - 6 Enfoque para la industria. P.201

Gráfica 6 - 7 Resultados de la industria (todos los sectores). P. 202

Gráfica 6 - 8 Enfoque para edificios. P. 203

Gráfica 6 - 9 Desarrollo de costos unitarios para edificios. P. 204

Gráfica 6 - 10 Resultados para edificios. P. 205

Gráfica 6 - 11 Enfoque para el sector Transporte. P. 206

Gráfica 6 - 12 Enfoque para el transporte - infraestructura. P. 207

Gráfica 6 - 13 Enfoque para el transporte - tecnología vehicular. P. 207

Gráfica 6 - 14 Resultados para el transporte - infraestructura. P. 208

Gráfica 6 - 15 Resultados para el transporte - tecnología vehicular. P. 209

Gráfica 6 - 16 Enfoque para Electricidad. P. 210

Gráfica 6 - 17 Resultados para electricidad. P. 211

Gráfica 6 - 18 Enfoque para redes eléctricas. P. 212

Gráfica 6 - 19 Resultados para redes eléctricas. P. 213

Gráfica 6 - 20 Enfoque para la bioenergía. P. 214

Gráfica 6 - 21 Resultados para calor y combustibles renovables. P. 215

Gráfica 6 - 22 Enfoque para investigación y desarrollo. P. 216

Gráfica 6 - 23 Resultados para la investigación y desarrollo. P. 217

Gráfica 6 - 24 Rangos de precios de la energía utilizados para el análisis de sensibilidad. P. 218

Gráfica 6 - 25 Resultados netos para diferentes escenarios de precios de la energía. P. 218

Gráfica 8 - 1 Evolución de la oferta de energía en el Escenario Energético, mostrando los desarrollos clave. P. 237

Gráfica 8 - 2 Evolución per cápita de la demanda de energía de fuentes renovables y no renovables. P. 238

Gráfica B - 1 Curvas estilizadas de intensidad de uso (de [Bernardini, 1993]). P. 242

Gráfica B - 2 Relaciones estilizadas entre el area de piso construido y el PIB per cápita [IEA, 2004] P. 243

Gráfica E - 1 Esquema para mostrar la panorámica general del flujo de productos forestales en diferentes categorías de bioenergéticos en el Escenario (FR Fracción recuperable) P. 255

Gráfica F - 1 Esquema que muestra la panorámica general del flujo de residuos y desperdicios en el Escenario, diferenciando entre residuos y desperdicios primarios, secundarios y terciarios. P. 256

## Listado de Tablas

Tabla 3 - 1 Definiciones de sectores industriales P. 119

Tabla 3 - 2 Definiciones del sector Edificios. P. 125

Tabla 3 - 3 Definiciones del sector transporte. P. 131

Tabla 3 - 4 Eficiencia y supuestos de cambios de combustibles para todos los modos de transporte. P.135

Tabla 4 - 1 Clasificación de fuentes renovables de electricidad por tipo de opción: movida por la oferta o movidas por la demanda (para equilibrio). P. 148

Tabla 5 - 1 Criterios de sustentabilidad aplicados a la bioenergía. P. 162

Tabla 5 - 2 Necesidad adicional de tierras de cultivo para alimentos: Efecto de diferentes supuestos en la oferta y demanda de alimentos así como su balance. P. 176

Tabla 6 - 1 Años de tiempo de vida y relaciones de los progresos utilizados por sector. P. 197

Tabla 6 - 2 Años de retorno de inversión por sub-sectores industriales P. 201

Tabla 6 - 3 Inversiones y relaciones de progreso por medida y sector (en EUR/m2 de área de piso construido). P. 203

Tabla 6 - 4 Costos de capacidad para electricidad a partir de fuentes de energía renovables (en miles de EUR/MW). P. 210

Tabla 7 - 1 Panorama general de las necesidades críticas de política pública. P. 222

Tabla 7 - 2 Panorama general de las necesidades críticas de política pública. P. 223

Tabla 7 - 3 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: reconversiones. P. 225

Tabla 7 - 4 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: edificios nuevos. P. 226

Tabla 7 - 5 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: aparatos y sistemas de iluminación. P. 226

Tabla 7 - 6 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Transporte: cambio modal P. 227

Tabla 7 - 7 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Transporte: electrificación. P. 227

Tabla 7 - 8 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Industrial. P. 228

Tabla 7 - 9 Sugerencias de política del lado de la oferta: calor y electricidad renovables. P. 228

Tabla 7 - 10 Sugerencias del lado de la oferta: redes eléctricas. P. 229

Tabla 7 - 11 Sugerencias de política del lado de la oferta: transición energética para los sectores rurales. P. 229

Tabla 7 - 12 Sugerencias de política para la bioenergía: uso de suelo. P.131

Tabla 7 - 13 Sugerencias de políticas y ejemplos para la bioenergía: insumo agrícolas y de procesamiento. P. 232

Tabla 7 - 14 Sugerencias de política y ejemplos para la bioenergía: Residuos y desperdicios. P. 232

Tabla 7 - 15 Sugerencias de política y ejemplos para la bioenergía: talas complementarias. P. 233

Tabla A - 1 Oferta de energía global por fuente y por año (EJ/a). P. 240

Tabla A - 2 Oferta global de energía por fuente y por año (EJ/a) - Porcentajes. P. 241

Tabla C - 1 Fracciones recuperables de residuos utilizadas en el Escenario Energético. P. 246

Tabla C - 2 Rendimientos de los cultivos energéticos usados en el Escenario Energético. P. 249

Tabla C - 3 Eficiencias de conversión de tecnología de bioenergía. P. 250

Tabla D - 1 Análisis básico de sensibilidad sobre cultivos bioenergéticos. P. 253

# 1 Introducción

Los últimos 200 años han sido testigos de un aumento en el consumo de energía por parte de las sociedades humanas en todo el mundo. En las últimas décadas, se ha hecho evidente la insostenibilidad del suministro y la seguridad energética, tanto en el corto como en el largo plazo. Estos factures ocupan están entre las prioridades de la agenda política y social.

El debate público actual en torno a la evolución de nuestro sistema energético puede ser caracterizado como limitado por nuestra confianza en los sistemas existentes y nuestra desconfianza en las alternativas.

El consenso general consiste en poder esperar ciertos cambios incrementales en la estructura existente de nuestro sistema energético. Tradicionalmente, los estudios sobre escenarios muestran tales cambios incrementales comparados con una referencia "business-as-usual" (escenario sin cambios significativos en los patrones de consumo de energía).

Es cierto que el potencial puro y técnico de muchas fuentes de energía renovable sobrepasa por mucho nuestra demanda actual y a menudo se emiten declaraciones como la siguiente:

*"Durante una hora el Sol proporciona a la Tierra tal cantidad de energía, que ésta supera nuestras necesidades energéticas durante un año".*

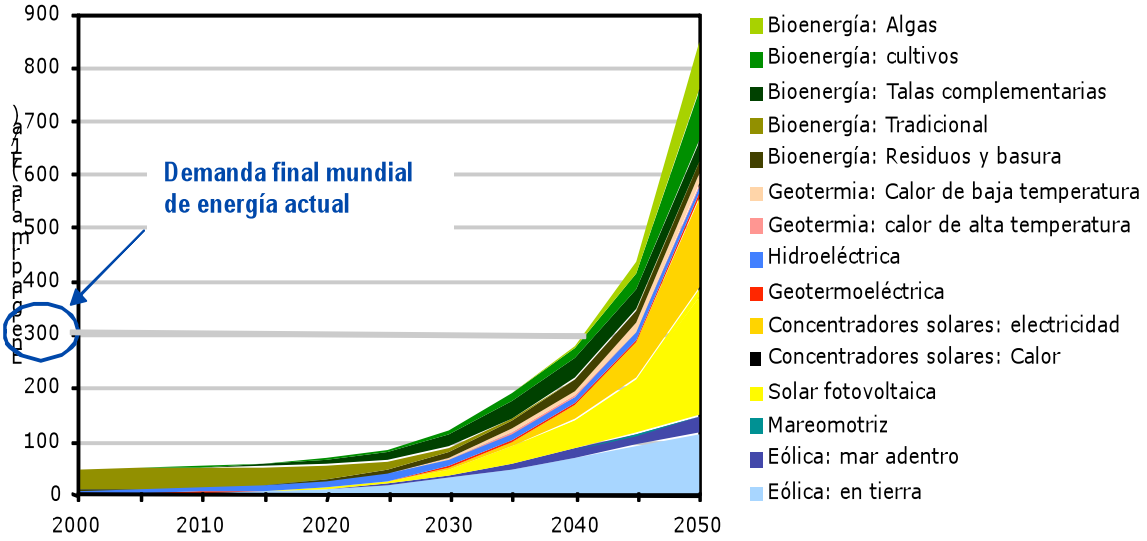
Aun cuando evaluamos los potenciales de energía renovable de la forma más realista, es decir, permitiendo tasas de implementación viables y tomando en cuenta las diferencias regionales, la evidencia sugiere que deberíamos poder satisfacer nuestra demanda de energía de fuentes renovables, dada su abundancia (ver Gráfica 1 - 1)[1,2]: El uso final de energía a nivel mundial (después de la conversión de combustibles primarios) fue de ~310 EJ[3] en 2007 (~500 EJ en términos de energía primaria). [IEA, 2009]

Cuando intentamos reconciliar estas cifras, ~ 300 EJ/a de la demanda de energía final en todo el mundo y de cientos a miles de EJ/a de potencial de energía renovable realizable, empezamos a comprender el por qué es necesaria una perspectiva más detallada. Una perspectiva que considere la energía, no sólo en la cantidad correcta o en el lugar adecuado, sino la forma correcta de llevarla al consumo final (por ejemplo, vía electricidad o combustible) y para los propósitos correctos (calor en edificios vs. calor en la industria).

[1] Cuando nos referimos a "potencial de energías renovables" en el presente documento, esto significa el potencial que puede ser implementado en cualquier momento, como se muestra en esta Gráfica.

[2] A menos que estén etiquetadas claramente como energía primaria, tal y como se muestra en la Gráfica 1 - 1, todas las gráficas del presente documento que ilustran valores energéticos muestran valores en términos de energía final. Se recomienda al lector tener en cuenta que, en cualquier gráfico que muestra energía final para combustibles y electricidad, la proporción de electricidad se verá más pequeña con relación al porcentaje real de funciones energéticas provistas por esa energía eléctrica. Ver también la Sección 3.4.4.

[3] Con excepción de los usos no-energéticos.




Gráfica 1 – 1 Uso potencial global de varias fuentes de energía renovable.
**1**

El Escenario Ecofys presentado en este estudio proporciona una perspectiva holística del sistema energético tomando en cuenta todos los sectores, todas las regiones y todas las formas de transporte.

La pregunta clave que nos hacemos es:

## "¿Es posible un sistema energético totalmente sostenible para el año 2050?"

Hemos observado que una oferta energética, casi, totalmente sostenible es técnicamente y económicamente posible, considerando tasas de crecimiento ambiciosas y realistas de las fuentes de energía sostenible.

Sin embargo, la ruta de acceso a este mundo futuro se desvía de manera significativa del "business-as-usual" y algunas decisiones difíciles tendrán que tomarse en el camino.

El presente informe está estructurado de la siguiente forma:

En la Sección 2 (*Enfoque*) presentaremos el **marco conceptual** que hemos creado para representar el sistema energético mundial. El marco es suficientemente simple para ser comprendido fácilmente por cualquier persona interesada, pero lo suficientemente detallado como para representar las complejidades integrales del sistema energético bajo investigación.

De conformidad con el enfoque presentado, primero discutimos nuestros supuestos y los hallazgos respecto de la **demanda** de energía en la Sección 3 (*Demanda*).

A continuación, pasamos a la **oferta** de energía la cual hemos dividido en dos secciones, debido al nivel de atención que hemos dedicado a la oferta de la biomasa:

La Sección 4 *(Energías Renovables (excepto la bionergía*) Oferta de energía renovable analiza todas las opciones de energía sostenible fuera de la biomasa; nosotros damos prioridad al uso de estas opciones

energéticas. La Sección 5 (*Oferta de bioenergía sostenible*) describe entonces el uso de biomasa bajo el Escenario Ecofys.

Finalmente, también abordamos las implicaciones económicas de nuestro Escenario en la Sección 6 (*Inversiones y Ahorro*), antes de presentar una breve discusión sobre elementos de política necesarios para hacer posible este Escenario en la Sección 7 *(Consideraciones de política pública)*. Concluimos con la Sección 8.

# 2 Enfoque

El Escenario Energético realiza prospectivas sobre la oferta y demanda globales de energía, al seguir de manera inherente el paradigma de *Trias Energetica* respecto de:

1. Reducción al mínimo necesario de la demanda de energía para proporcionar servicios energéticos.

2. Suministrar, en primer lugar, energía por fuentes renovables locales, cuando sea posible.

3. Suministrar la energía restante a partir de fuentes de energía "tradicionales" de la forma más limpia posible.

Gráfica 2 – 1 El *Trias Energetica* es un concepto lógico que nos informa sobre nuestro uso de energía.

En detalle, las siguientes etapas se establecieron:

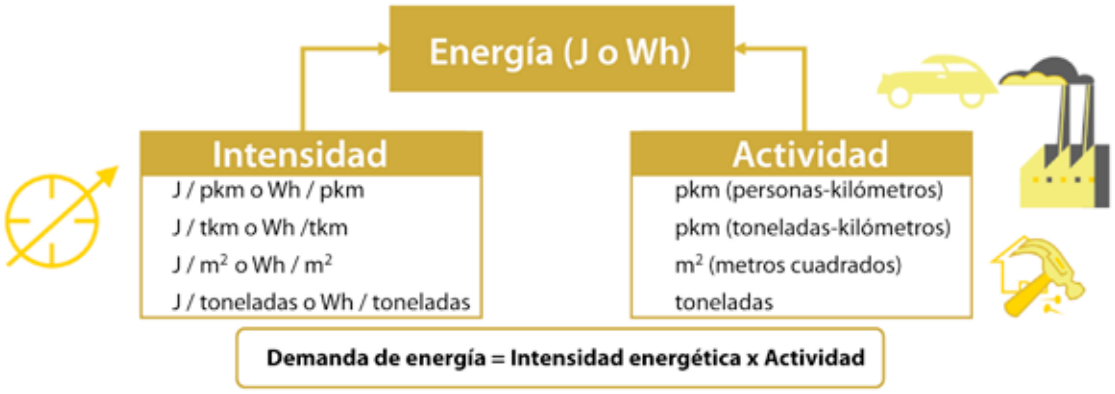
1. **Se estimó la demanda futura de energía**

La demanda de energía es el producto del volumen de las actividades que requieren energía (por ejemplo, viajar o la producción industrial) y la intensidad energética por unidad de actividad (por ejemplo, la energía utilizada por volumen de viajes).

   a. Las actividades futuras del lado de la demanda se obtuvieron de la literatura existente o fueron estimadas con base en la población y el crecimiento del PIB.
   b. La demanda futura de intensidad energética se calcula asumiendo un despliegue rápido de las tecnologías más eficientes.
   c. La demanda se suma por tipo de medio conductor de energía (electricidad, combustible, calor).

2. **La demanda futura es estimada**
   a. El potencial de oferta de energía por tipo de medio conductor de energía es estimado.

b. La oferta y la demanda son balanceadas en función de la siguiente priorización:
   i. Las energías renovables de fuentes diferentes a la biomasa (electricidad y calor a nivel local)
   ii. La biomasa en un potencial sostenible
   iii. Las fuentes tradicionales, tales como los combustibles fósiles y la energía nuclear, los cuales son utilizadas como "último recurso".




Gráfica 2 - 2 Enfoque conceptual utilizado para calcular la demanda futura de energía.

Como se describe en la Sección 1, es imperativo comparar la demanda y la oferta con cierto nivel de detalle para llegar a conclusiones significativas. Los flujos de energía se han caracterizado por tipo de portador de energía, es decir, diferenciados en términos de electricidad y combustibles; adicionalmente, la demanda de calor se considera por separado. Por lo tanto, llegamos a los tres principales portadores de energía reportados en los balances de energía de la IEA, bajo los cuales está calibrado este trabajo. [IEA balances, 2008]

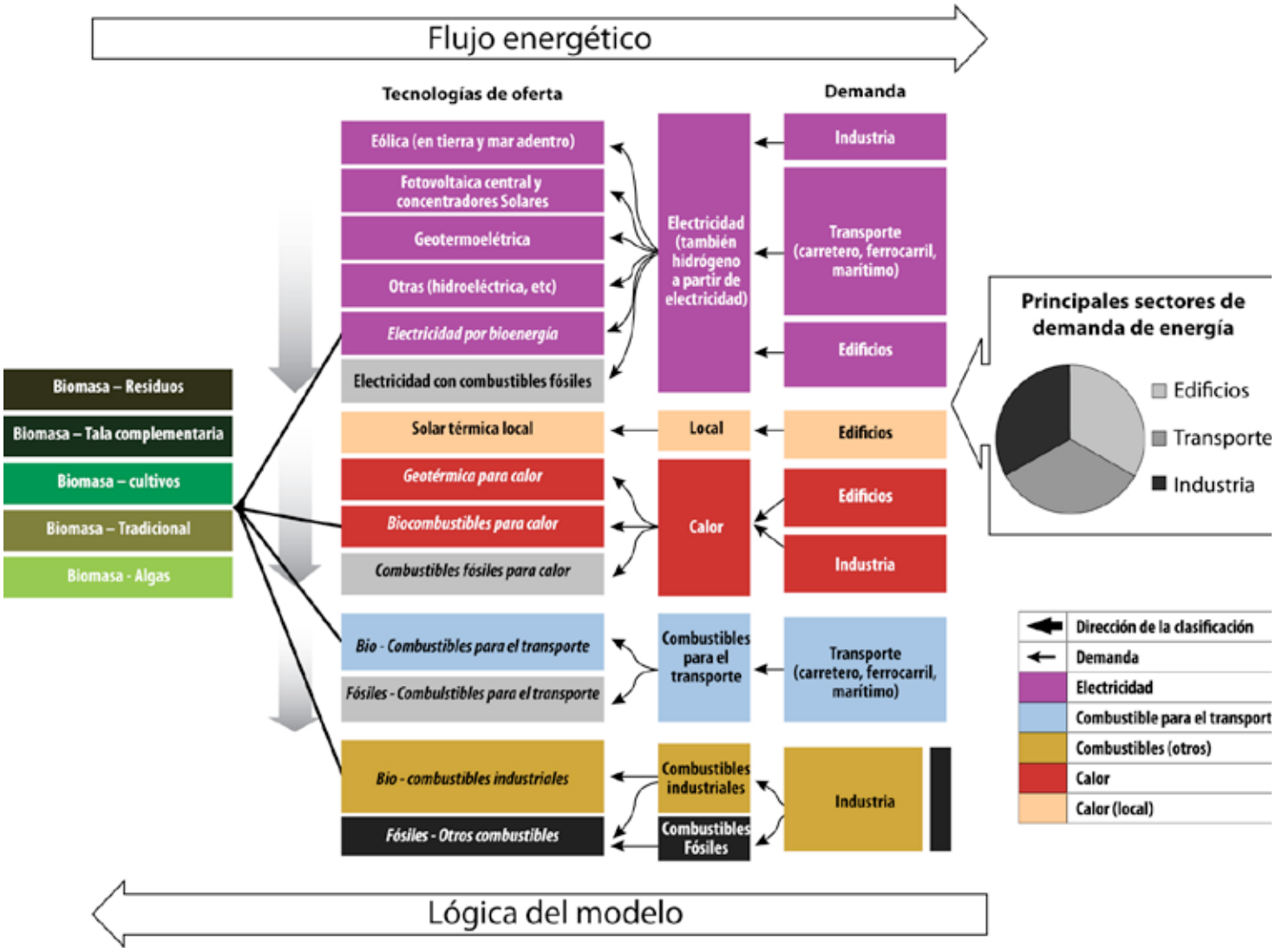
Gráfica 2 – 3 El uso de energía es analizado considerando los tres diferentes tipos de portadores de energía: electricidad, calor y combustible.

Llevando este enfoque un paso más adelante, examinamos la demanda de energía en los distintos sectores del sistema energético (ver la Gráfica 2 - 4).

La demanda de energía puede ser diferenciada considerando los siguientes sectores: industria, transporte, edificios y servicios, entre otros[4]. Para cada uno de estos sectores, la demanda debe caracterizarse a detalle, conduciendo a una diferenciación cada vez mayor en cuanto a los portadores de energía. Para delinear cómo se desarrollará la demanda a futuro, se han evaluado los niveles de actividad e intensidad energética futuros, basándose en la suposición de un consumo de energía altamente eficiente.

[4] "otros" se compone de usos agrícolas, pesqueros y otros no especificados en los reporte de estadísticas de la IEA.

Una vez que la demanda de energía se ha establecido por sub-tipo de portador (Etapa 1 en la *Trias Energetica*), las distintas opciones de oferta se utilizan en orden de prioridad para satisfacer esta demanda hasta alcanzar su ***potencial de despliegue***[5] realista en un año determinado. Debe señalarse que siempre existe la opción de las tecnologías a elegir, dependiendo de su etapa de desarrollo. En el presente estudio hemos intentado basarnos únicamente en tecnologías existentes o tecnologías para las cuales sólo se requiere cierto desarrollo incremental.




Gráfica 2 – 4 Enfoque general utilizado para calcular la oferta y demanda de energía del año 2000 al 2050.

[5] Cuando nos referimos al potencial de uso de energía en el presente reporte, nos referimos al potencial de despliegue. El potencial de despliegue es la cantidad de energía que una determinada fuente puede suministrar en cierto momento considerando una ambiciosa pero factible ruta desde su estado de despliegue. Aun cuando estos supuestos en torno a las tasas de despliegue son considerados técnica y económicamente viable, no necesariamente dan como resultado un escenario del costo más bajo (ver también la Sección 6) y por lo general requieren de un ambiente con políticas alternativas al escenario "business-as-usual" (ver la Sección 7).

En primer lugar, las opciones tales como las energías: eólica, solar y geotérmica, no son agotables. La mayoría de estas opciones cuentan con un único portador de energía. Por ejemplo, la solar fotovoltaica o el viento solar sólo suministran electricidad, mientras que la energía solar térmica local proporciona sólo calor para los inmuebles. En segundo lugar, las opciones bioenergéticas están siendo desarrolladas.

El enfoque completo descrito anteriormente se muestra en la Gráfica 2-4. Una importante observación en este punto es el número de diferentes fuentes renovables disponibles para la demanda de electricidad y la escasa variedad de opciones para calor y combustibles.

Aun cuando el Escenario es primordialmente global, está basado fundamentalmente sobre cálculos a nivel regional en estas 10 zonas del mundo, las cuales difieren en gran medida respecto de su uso de energía y potencial, así como en sus etapas y el nivel de avance en su desarrollo:

- Europa
- Norteamérica
- Latinoamérica
- Rusia y otros países de Euroasia
- Medio Oriente
- Países de la OCDE en el Pacífico
- China
- India
- Resto de Asia
- África

## 2.1 Enfoque sobre la bioenergía

La bioenergía proveniente de la biomasa requiere de un enfoque más elaborado en comparación con la mayoría de las opciones de energía renovable, por las siguientes razones:

- La bioenergía requiere un marco analítico más profundo para analizar la sostenibilidad, dado que el cultivo y procesamiento de la biomasa, así como el uso de bioenergéticos traen consigo una amplia gama de cuestionamientos de ambientales asociados.
- La bioenergía comprende la oferta para una gran variedad de tipos de portadores de energía mediante una multitud de diferentes fuentes. Por lo tanto, se necesita un marco detallado de posibles rutas de conversión.

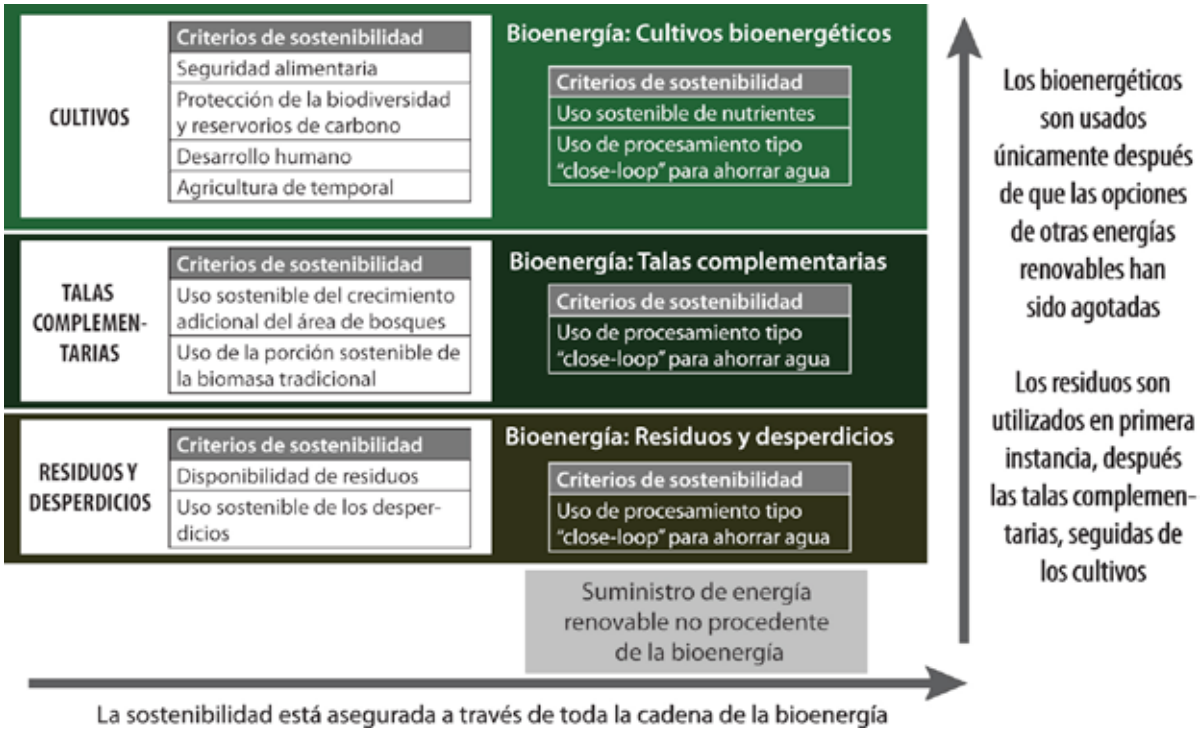
Describimos brevemente ambos elementos del enfoque energético del presente Escenario en esta sección. Mayores detalles son descritos en la Sección 5.

### Sostenibilidad de la bioenergía

La sostenibilidad de la bioenergía es un aspecto clave del presente Escenario Energético. En primer lugar, la aportación de la bioenergía en la oferta de energías renovables se reduce al máximo al usar otras opciones en primera instancia. En segundo lugar, el uso de residuos y desperdicios tiene prioridad sobre el uso de cultivos energéticos. Para ambas categorías, se aplican salvaguardas en toda la cadena de la bioenergía para asegurar su sostenibilidad. La gráfica 2 – 5  ilustra este enfoque. La Sección 5 describe detalladamente los criterios de sostenibilidad de la bioenergía utilizados en el presente Escenario.

### Rutas de conversión de bioenergéticos

Debido a que la biomasa puede suministrar energía a través de una gran variedad de tipos de portadores diferentes, pero a menudo en la misma ruta de conversión, el uso de biomasa fue canalizado a través de todas las rutas de bioenergía posibles, teniendo en consideración los residuos resultantes de algunas de estas rutas. Este enfoque se ilustra en un diagrama simplificado en la Gráfica 2 – 6 .




Gráfica 2 – 5 Esquema aplicado en el Escenario Energético para asegurar la sostenibilidad en la oferta de bioenergéticos. (NEl tamaño de las formas en la imagen no es indicativo de la importancia de las categorías en el Escenario)

Con el fin de mantener esta proyección sólida, el principio clave en la selección de las opciones de oferta y tecnología es utilizar únicamente opciones disponibles actualmente o para las cuales sólo es necesario cierto desarrollo incremental.
Dos excepciones, donde es necesario un cambio tecnológico de carácter más radical, son la inclusión del aceite de alga como una opción de oferta y la fermentación de lignocelulosa para elaboración de etanol. Estas dos actualmente no son opciones maduras en el mercado, aunque ambas se encuentran cerca de la fase de viabilidad comercial. Con el fin de permitir el desarrollo en matera de cultivo y cosecha de alga, se incluyó el uso de grandes cantidades de aceite de alga a partir del año 2030 en adelante.

Otro supuesto importante se hace sobre el uso tradicional de la biomasa. En la actualidad, alrededor de 35 EJ de biomasa primaria se utiliza en aplicaciones tradicionales. Estas aplicaciones consisten principalmente en la quema de leña y residuos agrícolas para calefacción y cocción de alimentos en los hogares de países en desarrollo. Hacia el 2050, el Escenario Ecofys suministrará energía para estas demandas a través de una ruta alternativa al uso de la biomasa tradicional. Por lo cual el uso tradicional de la biomasa es eliminado gradualmente, dejando sólo una parte de esta biomasa restante para ser utilizada de manera sostenible. Véase también la Sección 5.6.

Dentro del Escenario, las diferentes rutas para la bioenergía presentadas en la Gráfica 2 – 6 se priorizan de la siguiente forma:

Biomasa tradicional: Considerando que este tipo de biomasa está actualmente en uso, se utiliza en primer lugar en el escenario. Con el tiempo, la contribución de esta categoría disminuye en la medida en que va siendo eliminada.

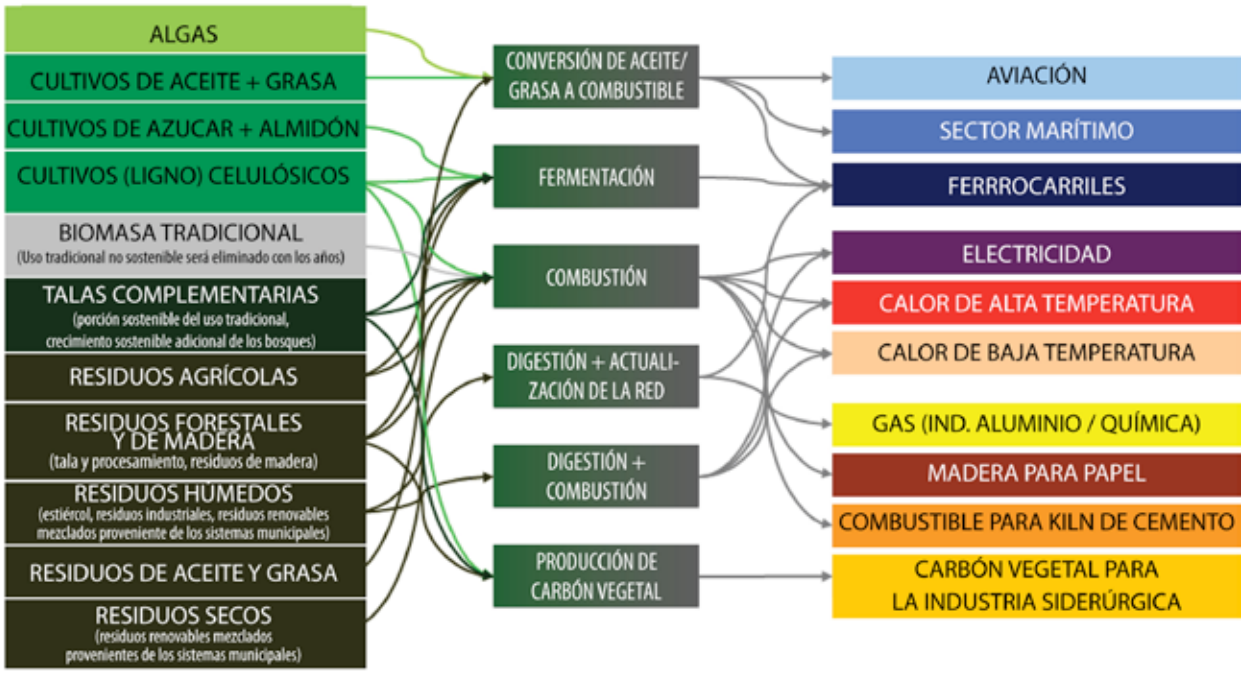
Residuos y desperdicios sostenibles: procedentes de la agricultura, la silvicultura e industria de procesamiento de alimentos, por ejemplo, se utilizan para satisfacer la mayor demanda energética[6].

Talas complementarias sostenibles: esta categoría consta de biomasa de leña obtenida de la explotación sostenible del crecimiento forestal adicional y de la participación sostenible del uso de la biomasa tradicional. Se usa para satisfacer la demanda restante en las rutas de lignocelulósicos, tanto como sea posible.

Cultivos energéticos sostenibles: Los cultivos energéticos se utilizan para complementar gran parte de la demanda de energía restante, siempre y cuando permanezcan dentro de su potencial sostenible[7]. Los cultivos energéticos incluyen cultivos de aceite de palma, almidón, cultivos de azúcar y cultivos (ligno) celulósicos.

Algas sostenibles: las algas se utilizan para producir aceite que satisface la demanda restante en las rutas de petróleo. Las algas son utilizadas en última instancia debido a que su producción y cosecha no son una tecnología probada actualmente a escala comercial.

Las eficiencias de conversión consideradas en las diferentes rutas que se presentan en la Gráfica 2 – 6 se encuentran en el Anexo C3.




Gráfica 2 – 6 Enfoque sobre bioenergía, mostrando los diferentes tipos de insumos de biomasa y rutas de conversión que resultan en diversos tipos de portadores de energía para cubrir la demanda.[8,9]

[6] Los distintos usos son cuidados, por ejemplo, manteniendo una fracción adecuada de residuos agrícolas o forestales en el campo o en el bosque, respectivamente.

[7] Véase la Sección 5 para la discusión sobre biomasa sostenible.

[8] "Actualización para red" se refiere al biogás que es lavado y comprimido para poder ser inyectado en las redes de distribución de gas.

Cuadro 2 - 1 Contingencia: Opciones tecnológicas para conversión de bioenergéticos

| POSIBILIDAD | OPCIONES TECNOLÓGICAS PARA LA CONVERSIÓN DE BIOENERGÉTICOS |
|---|---|
| La Sección 2.1 describe la sólida justificación del Escenario para la selección de opciones tecnológicas incluidas en las rutas de conversión de los bioenergéticos. Por supuesto, estas opciones repercuten en los resultados de la oferta de energía final y sus posibilidades.<br><br>El efecto más notable se produce en el sector transporte, donde el Escenario suministra combustible a los sectores marítimo y de aviación haciendo uso solamente de aceites y grasas. Otras posibles opciones futuras para el combustible aéreo y marítimo no son consideradas, tales como la conversión termoquímica de biomasa (lignocelulósica), por ejemplo gasificación seguida de síntesis de Fischer-Tropsch. Esto significa que hay una mayor necesidad de suministro de aceite procedente de los cultivos energéticos sostenibles y las algas en comparación con una situación donde se incluyeran las opciones termoquímicas.<br><br>En el Escenario hemos decidido excluir rutas de conversión de termoquímicos, debido a que actualmente el desarrollo y la implementación de tecnologías tales como la fermentación de la biomasa lignocelulósica, reciben más atención respecto de las rutas de conversión de termoquímicos. Es posible que el desarrollo de termoquímicos y otras alternativas, progresará más rápido de lo esperado. En este caso, algunas opciones adicionales estarían disponibles haciendo la oferta futura de bioenergía aún más flexible de cómo esta presentada en el Escenario, el cual hemos decidido mantener lo menos dependiente de desarrollos futuros desconocidos. | |

[9] El tamaño de las formas en la imagen no es indicativo de la importancia de las categorías en el Escenario.

# 3 Demanda

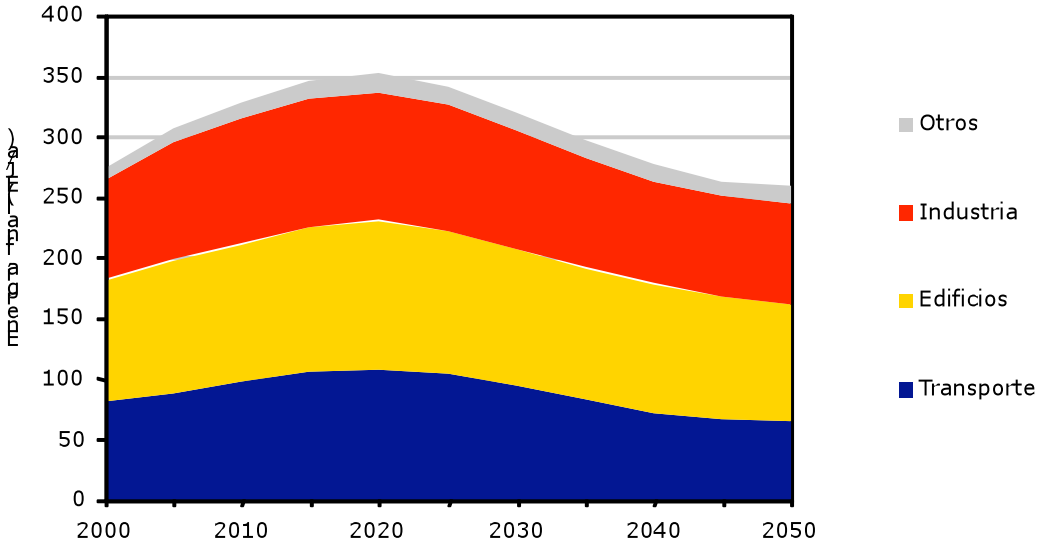
## 3.1 Resultados generales

La comprensión de nuestro sistema energético comienza con una mirada detallada a la demanda de energía (véase la Sección 2):

- ¿Dónde se usa la energía?
- ¿En qué forma y con qué eficiencia?
- ¿Qué funciones cubre esta energía?
- ¿Pueden ser estas funciones cubiertas de manera diferente?

Un ejemplo típico para ilustrar este enfoque es nuestro uso de la energía en edificios. Una gran porción de nuestra demanda total de energía, especialmente en climas más frescos, viene del entorno residencial. La energía se utiliza en forma de calor y a menudo con eficiencias de conversión muy pobres y con grandes pérdidas.

El deseo es un hogar cálido, ¿pero dicho deseo debe ser concedido a la manera actual? No, de hecho, esta función puede ser cubierta con mucho menos consumo de energía si el edificio está aislado térmicamente y se reduce su pérdida de calor.




Gráfica 3 – 1 Demanda global de energía en todos los sectores, 2000 a 2050.

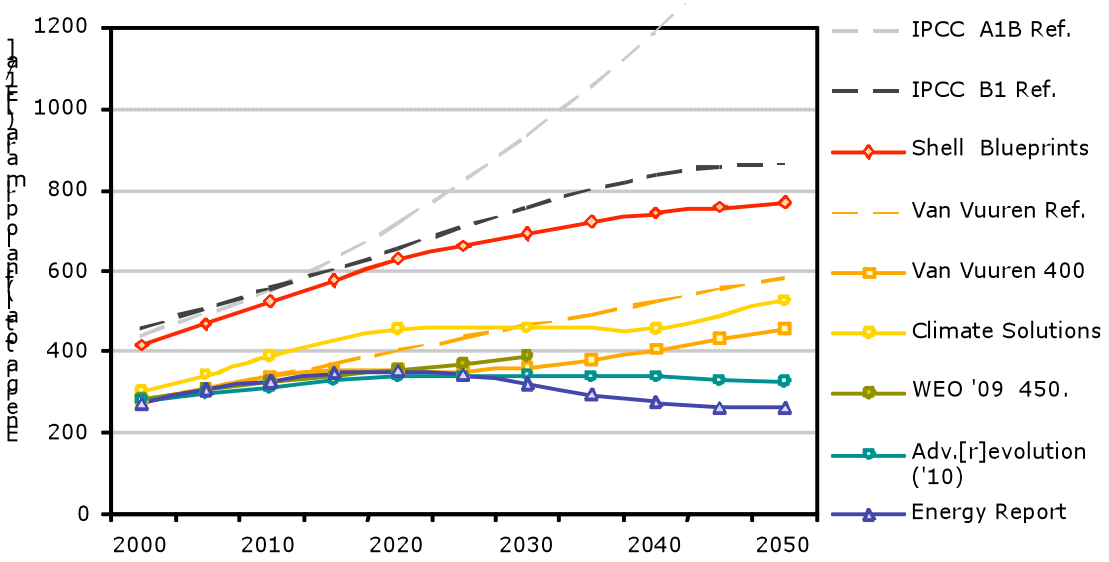
El hacer estas preguntas en los tres sectores de demanda de energía[10]: Industria, Edificios y Transporte, nos conduce a la demanda futura de la misma en la gráfica 3 - 1. El resultado global del Escenario Energético

[10] Existen muchas formas de ver la demanda de energía. Los sectores escogidos: Industria, Edificios y Transporte, son congruentes con los sectores para los cuales la Agencia Internacional de Energía (IEA) elabora sus reportes y estadísticas, los cuales forman la base del presente trabajo. Estos tres sectores, que cubren ~85% del uso total de energía, serán estudiados a detalle. Los sectores restantes (incluyendo agricultura, pesca, minería, etc.) son incluidos en el presente estudio, pero no son examinados de manera separada. Se

**consiste en la reducción de la demanda de energía en las siguientes cuatro décadas**, al tiempo que se proporcionan servicios de energía para más personas. El Escenario consigue este objetivo principalmente a través del **agresivo despliegue de las tecnologías más eficientes**. Si se sigue esta ruta, la demanda de energía puede ser estabilizada y, posteriormente **reducida** en comparación con el consumo actual de energía en todo el mundo.

Este Escenario para la demanda futura de energía está en marcado contraste con los escenarios convencionales de "business-as-usual", los cuales comúnmente presuponen una **duplicación** de la demanda energética, incluso en los casos más optimistas (véase gráfica 3 – 2).

El Escenario Energético de Ecofys es único en su suposición de disminuir la demanda de energía para el año 2050; en el mejor de los casos, la mayoría de los escenarios prevé una **estabilización** de la demanda. [Climate Solutions; IPCC, 2000; Greenpeace, 2010; Shell, 2008; van Vuuren, 2007; WEO, 2009]

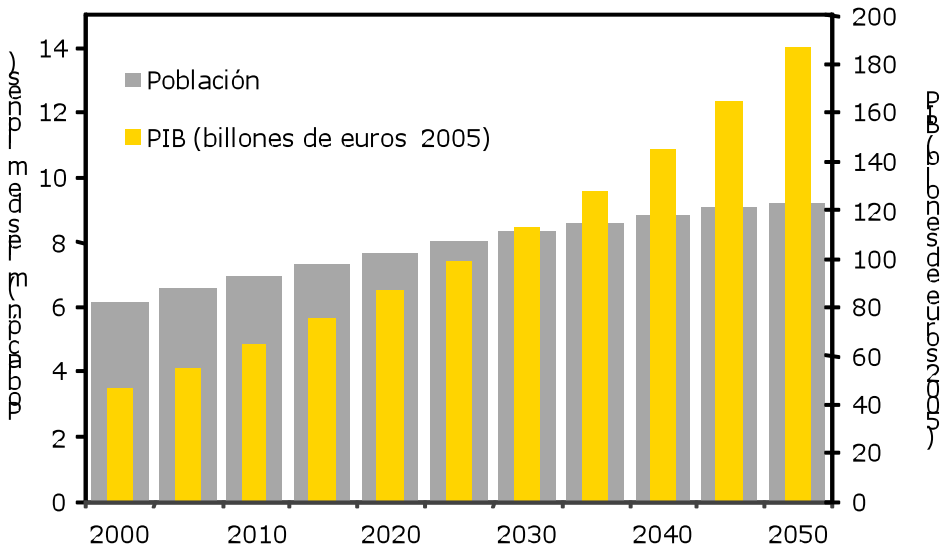



Gráfica 3 – 2 Comparación de la evolución de la demanda global de energía en el Escenario Energético con otros escenarios. Las tres líneas en la parte superior corresponden a energía primaria, las siguientes seis refieren energía final.

Es imperativo entender que **la reducción de la demanda total de energía** en este Escenario no se deriva de una reducción en las actividades. **Depende principalmente de la reducción de la intensidad energética**, más que una reducción de los niveles de actividad per cápita (véase Gráfica 2 – 2 ).

Esto significa que el Escenario Energético en este informe está basado en un supuesto en el cual se aumenta el nivel de vida y existe un desarrollo económico continuo. La Gráfica 3 - 3 muestra los supuestos subyacentes del Escenario para crecimiento demográfico y crecimiento del PIB, los cuales se utilizan para proyectar las actividades en el futuro. [UN, 2007; WBCSD, 2004]

asume que éstos consideran funciones energéticas con posibilidad de ser tratadas como una mezcla de las funciones energéticas en edificios, transporte e industria. Los usos no energéticos de los portadores de energía no son considerados en el presente análisis.




Gráfica 3 – 3 Población y PIB mundial utilizados como base para el Escenario.

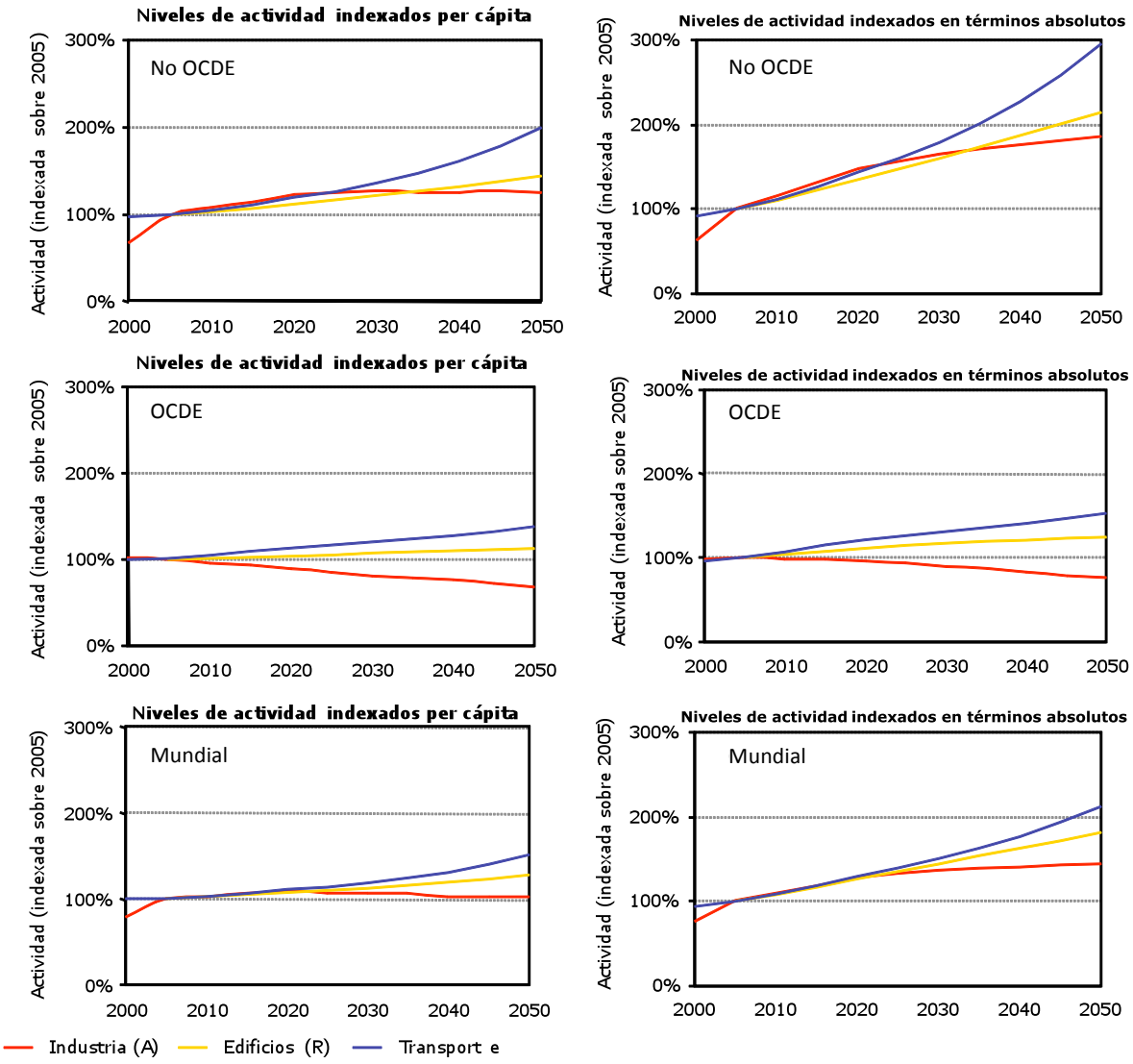
Para ilustrar esto de una mejor forma, la Gráfica 3 - 3 muestra un resumen de los supuestos de actividad seleccionados en el Escenario. Las actividades mostradas a continuación son las actividades más comúnmente asociadas con "los niveles de vida" o "niveles de confort":

- La cantidad de espacio para viviendas.
- La cantidad de producción industrial[11], como un indicador de consumo.
- El volumen de viajes de pasajeros (personas-km).

Como la gráfica 3 – 4 muestra, todas estas actividades aumentan con el tiempo, con excepción de la producción industrial en las regiones de la OCDE, la cual se considera tiene un gran potencial para el ahorro por actividad en función de la reducción de residuos, mayor reutilización y mejoramiento de la eficiencia en los materiales (véase Sección 3.2). A medida que la población se estabiliza en los países más industrializados, y las economías en vías de industrialización cumplen de manera creciente con la demanda interna de bienes básicos intensivos en el consumo de energía, se espera que los niveles de producción por habitante para algunos bienes básicos se estabilicen o incluso disminuyan.

Esto se discute con mayor detalle en las secciones dedicadas a cada sector en específico.

[11] Sólo se muestran los sectores 'A' – véase la Sección 3.2.1 para mayores detalles.




Gráfica 3 - 4 Niveles de actividad indexados sobre 2005 en términos absolutos (derecha) y términos per cápita (izquierda). Se muestran los volúmenes de producción industrial en los sectores "A" (industria), espacio construido de viviendas (Edificios), y pasajeros-kilómetros (Transporte).

## 3.2 Industria

### 3.2.1 Industria – Definiciones

El sector industrial utiliza la energía de los tres tipos de portadores en el presente Escenario: electricidad, combustible y calor.

La industria comprende los siguientes sectores, pero excluye al sector eléctrico, el cual es tratado en el lado de la oferta del Escenario – véase la Sección 4:

Tabla 3 - 1 Definiciones de sectores industriales

| Categoría en el Escenario | Sector industrial (Definición de la IEA) | Sector industrial (Sector marcados en el Escenario) |
|---|---|---|
| "A" | Hierro y acero | Acero |
| | Metales no ferrosos | Aluminio |
| | Minerales no metálicos | Cemento |
| | Pulpa, papel y periódico | Papel |
| "B" | Química y petroquímica | Químico |
| | Alimentos y tabaco | Alimentos |
| | [Lo demás] | Otros |

El Escenario utiliza ciertos sectores marcados para pronosticar la evolución de la actividad y evaluar el potencial de mejora en eficiencia energética. Esto significa, por ejemplo, que las mejoras en la eficiencia asumidas para la producción de aluminio son análogas a los mejoramientos dentro de todo el sector de metales no ferrosos. Aplicándose así, para todos los sectores marcados en el escenario y su supuesta analogía con el sector industrial al que pertenecen.

Para efectos de este informe nos referiremos a los sectores industriales marcados, tal cual aparece en la tabla 3 – 1.

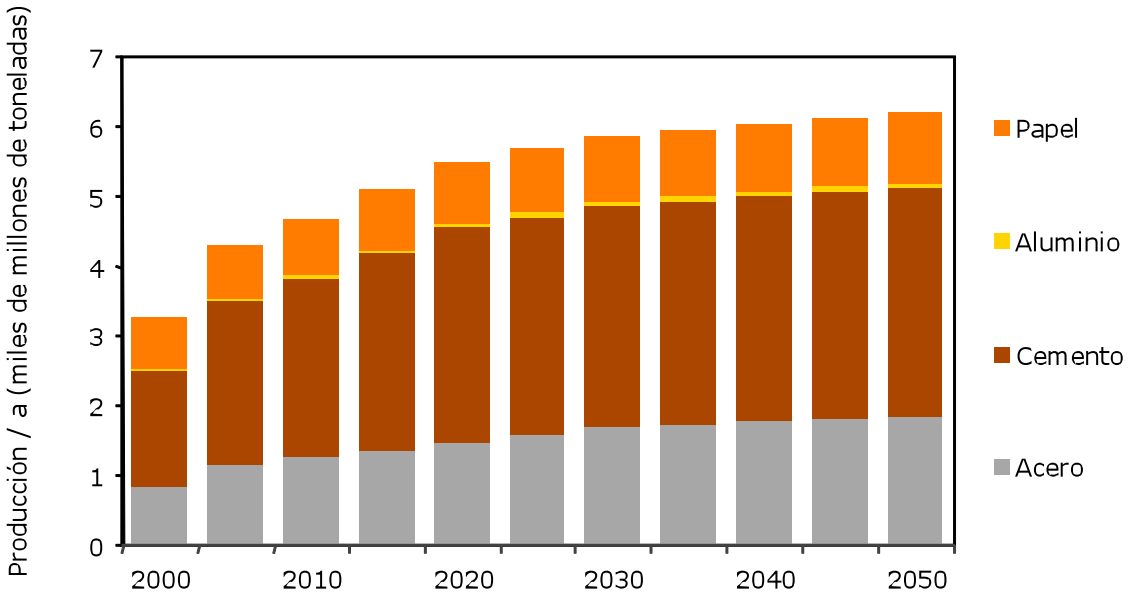
### 3.2.2 Industria – Actividades futuras

Los niveles de actividad para los primeros cuatro sectores (los sectores "A") se evalúan en términos de toneladas producidas y se vinculan con el crecimiento de la población. Los niveles de actividad para los siguientes tres sectores (sectores "B") son evaluados por el crecimiento del PIB.

**Sectores "A"**

Para estos sectores, se hace una suposición sobre la evolución futura de las toneladas producidas per cápita, basada en la lógica de las curvas de "intensidad de uso" (véase el Anexo B – 1). Esta suposición es después multiplicada por la población futura para estimar los niveles de producción total.

La Gráfica 3 - 5 muestra los niveles de actividad resultantes de los cuatro sectores industriales: acero, cemento, aluminio y papel.




Gráfica 3 – 5 Nivel de producción global de los sectores industriales tipo "A".

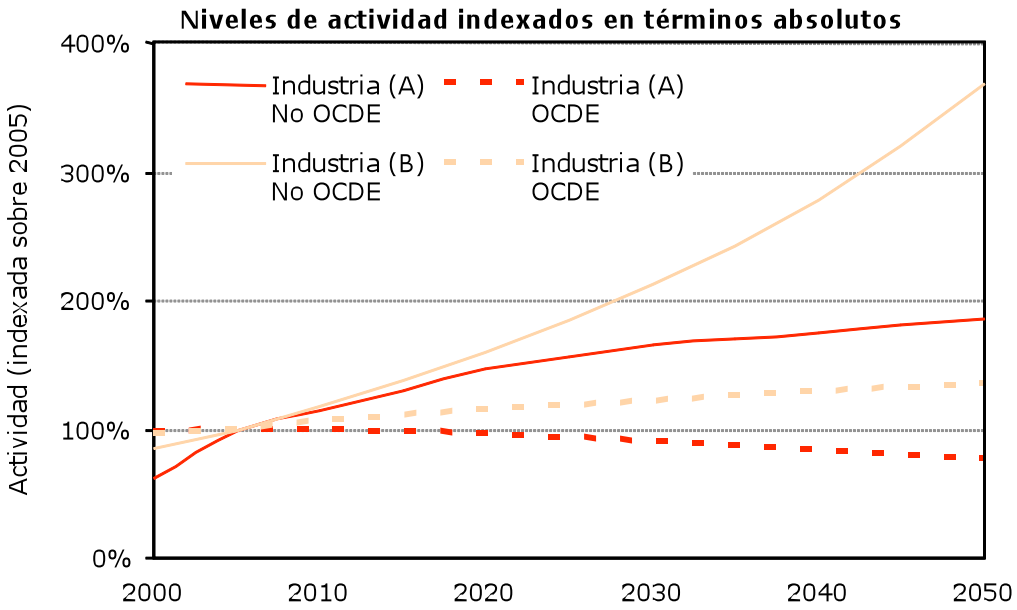
### Sectores "B"

Para estos sectores industriales, la información sobre la producción actual es difícil de encontrar. Además, la agregación de muchos procesos de producción diferentes los convierten en sectores muy heterogéneos para tratar a un nivel tecnológico.

Por lo tanto, hemos seguido un enfoque similar para estos sectores como el que en muchos modelos econométricos y suponemos un nivel de actividad física futuro vinculado al PIB per cápita, pero sin incrementos tan fuertes.

La gráfica 3 – 6 muestra la evolución resultante de la actividad tanto para los sectores "A" como "B", indexados sobre los niveles de 2005. La producción industrial en el Escenario se asume aumentará las próximas décadas en las regiones que no forman parte de la OCDE y se mantiene estable. En los países de la OCDE la producción industrial disminuye. Estas reducciones no requieren comprometer el nivel de vida, pero reflejan una aumento de la reutilización de materiales por parte de los consumidores finales y avances en la eficiencia de los materiales por parte de los productores, por ejemplo, construir automóviles con chasises más ligeros, llevando a reducir la demanda de acero por vehículo.

Además de esta reducción en la demanda de materiales, el reciclaje se utiliza durante la producción para mejorar la eficiencia energética. Las existencias de materiales intensivos en uso de energía han crecido en las últimas décadas. A medida que una gran parte de estas existencias llegue al final de su vida útil, se espera que el reciclaje se incremente mientras que la disponibilidad de materiales recuperables aumente. Esto podría resultar en una situación donde la producción de recursos primarios será necesaria sólo para compensar las pérdidas debidas al uso de desperdicio, por ejemplo, papel higiénico, fertilizantes y/o las pérdidas de calidad, por ejemplo, fibra de papel, plásticos u otras.




Gráfica 3 – 6 Evolución indexada de la actividad en el sector industrial.

### 3.2.3 Industria – Intensidad energética futura

Una vez determinado el nivel de producción total para cada sector, la intensidad energética en el futuro es estimada, con base en procesos identificados como clave. El resultado general es una disminución en la intensidad energética, medida en energía por tonelada producida para los sectores "A" y en energía por valor económico para los sectores "B".

La evolución de la intensidad energética fue examinada en detalle para los cuatro sectores "A" y los resultados se muestran en la gráfica 3 – 7.

Aunque las tecnologías individuales varían según el sector, todos los sectores siguen estos supuestos comunes:

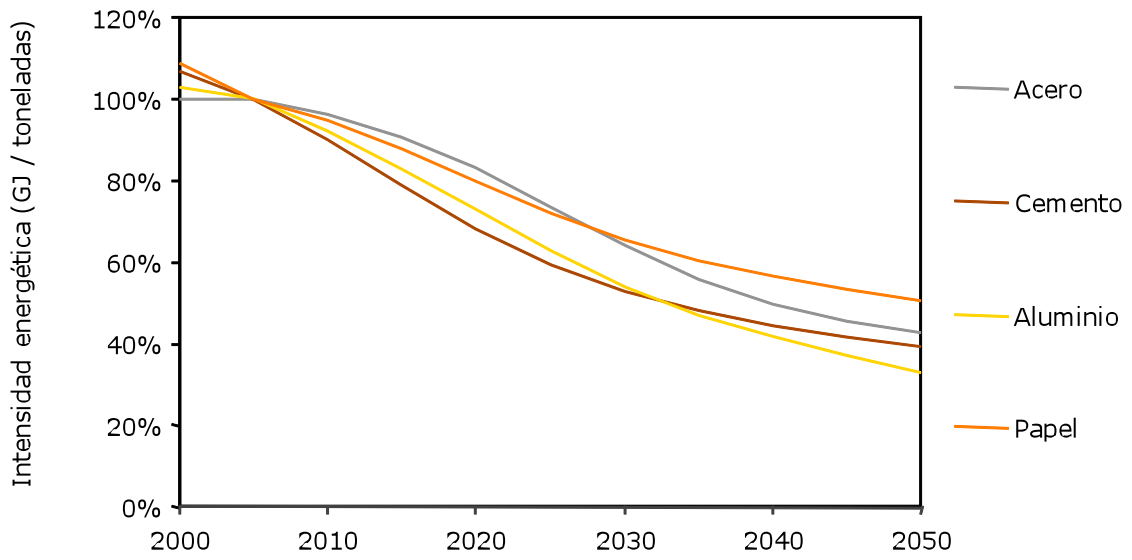
- Aumento del uso de materiales para insumos recuperados o por rutas alternativas es decir, reciclaje de acero, papel y aluminio y materiales de insumos alternativos en el proceso de clínker de la producción de cemento.

- Remodelaciones ambiciosas de las instalaciones existentes para satisfacer estándares de desempeño y requerimientos estrictos para el uso de las mejores tecnologías disponibles en todas las plantas nuevas.[12]

- Mejoramiento continúo de las mejores tecnologías disponibles a lo largo del tiempo.

Para los sectores "B", se asume una mejora anual en la eficiencia del 2%, la cual puede obtenerse a través de la optimización de procesos mejorados, un suministro de energía más eficiente, mejor eficiencia en los sistemas de motores e iluminación, así como medidas en sectores específicos.

[12] No se hacen supuestos explícitos sobre el retiro anticipado de las plantas industriales, pero la rápida transición a las mejores tecnologías disponibles requerirá seguramente reconversiones ambiciosas o reemplazo de las plantas menos eficientes.




Gráfica 3 – 7 Evolución de la intensidad energética para los cuatro sectores industriales "A", incluyendo el uso de rutas alternativas y de reciclaje.

## Acero

En el sector del acero, la ruta de producción estándar utiliza altos hornos, los cuáles usan coque de carbón como materia prima. Esta ruta tendrá mejoras en la eficiencia a lo largo tiempo, así como el creciente uso del proceso de fundición reducida.
La necesidad de energía promedio actual de este proceso de producción es alrededor de 20 a 25 GJ por combustibles y ~ 450 kWh por tonelada producida; el Escenario supone que esto se puede reducir a 12 GJ por combustibles y 100 kWh en promedio para el año 2050, (por ejemplo, a través de la adopción generalizada del proceso de fundición reducida y asumiendo más mejoras en tecnologías disponibles). [Kim, 2002; Worrell, 2008]

Hasta un tercio del uso restante de combustibles será cubierto por biomasa en forma de biocoque para permitir el retiro del carbón de coque. El uso de combustible restante se supone sigue estando basado en coque hasta el año 2050.

La ruta en acero reciclado es mucho más eficiente energéticamente, pero las tasas de los insumos de materiales reciclados ya son altas. El Escenario, sin embargo, supone un pequeño aumento en el uso de materiales reciclados a ~ 70% en la OCDE y ~ 45% en las regiones no miembros de la OCDE para el año 2050. También se supone que el proceso de reciclado aumentará su eficiencia energética en alrededor de 5-6 GJ en combustible y 800 kWh por tonelada a 1,5 de GJ en combustible y 350 kWh por tonelada en el proceso de horno de arco eléctrico. [Martin, 2000]

## Cemento

El cemento utilizado como un sector de referencia para el sector de minerales no metálicos, las mejoras en la eficiencia que actualmente están teniendo lugar deberían reducir la intensidad energética promedio del 5-6 GJ de combustibles por tonelada a 3 GJ de combustibles por tonelada. También un ~30% de reducción en la demanda de electricidad fue asumida ( a ~80 kWh por tonelada). Debido a las altas temperaturas necesarias, sólo la mitad de los requerimientos de combustible pueden ser cubiertos por la biomasa, pero donde ésta sea utilizada, cualquier combustible de biomasa es adecuado. El Escenario supone también una reducción en la

producción de clínker de alto contenido energético y de carbono. El clínker es reemplazado por subproductos industriales, como escorias de alto horno, cenizas o insumos naturales hasta en un 40% de la producción de cemento para el año 2050. La consecuencia sería que el cemento tardaría más en secarse, pero también tendría una mayor dureza. [Kim, 2002]

Cuadro 3 - 1 Estudio de caso: Plantas de estado del arte ahorran energía en la industria del cemento.

| ESTUDIO DE CASO | PLANTAS DE ÚLTIMA GENERACIÓN AHORRADORAS DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO |
|---|---|

La industria del cemento es un gran usuario de energía y también un importante contribuidor global a las emisiones de gases de efecto invernadero. Los Estados Unidos es el tercer productor de cemento en el mundo.
El Grupo Salt River Materials Group opera una planta de cemento en Clarksdale, Arizona, Estados Unidos. La planta fue construida en los años 50 y con el tiempo, recibió varias actualizaciones para aumentar la capacidad del horno y otros sistemas operativos. En 1999, la compañía instaló un conjunto de nuevos equipos lo cual mejoró sustancialmente la eficiencia energética.

Las actualizaciones de la planta incluyeron:

- Un molino de rodillos verticales para materia prima, combustible y terminado de cemento.
- Un horno nuevo de 5 etapas, con un pre-calentador/calcinador de aire de bajas emisiones de óxidos de nitrógeno y un enfriador de clínker de alta tecnología.
- Un quemador de horno moderno.

El nuevo equipo mejoró de manera sustancial el desempeño energético en los procesos más intensivos en el uso de energía de la planta, reduciendo el consumo de electricidad en un 50% y el consumo de combustibles en un 37%. La actualización realizada hizo de Clarksdale una de las plantas cementeras más eficientes de Norteamérica. La planta recibió un reconocimiento por sus logros por parte del programa ENERGY STAR de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

## Aluminio

El aluminio, utilizado como un elemento representativo para el sector de metales no ferrosos, incluirá en el proceso de producción aumentos significativos en la participación de aluminio reciclado. El reciclaje de aluminio requiere de combustible, el cual no puede ser fácilmente reemplazado por biocombustible, pero considerando los 4-5 GJ por tonelada, es un proceso mucho más eficiente respecto de la producción de aluminio primario, el cual además de los 1-2 GJ por tonelada que se usan para precalentamiento de los ánodos, utiliza entre 15 y 16 MWh (no kWh) de electricidad por tonelada de aluminio producido, equivalente a 55 GJ por tonelada, es decir, en un orden de magnitud más intensivo en energía con respecto al reciclaje. El Escenario supone que esto puede reducirse a alrededor de 12 MWh por tonelada en el futuro, pero prioriza el reciclaje de aluminio, siempre que sea esto sea posible. La participación de aluminio reciclado en la producción total está prevista a aumentar desde un 30% a 60% para el año 2050. [Worrell, 2008]

**Papel**

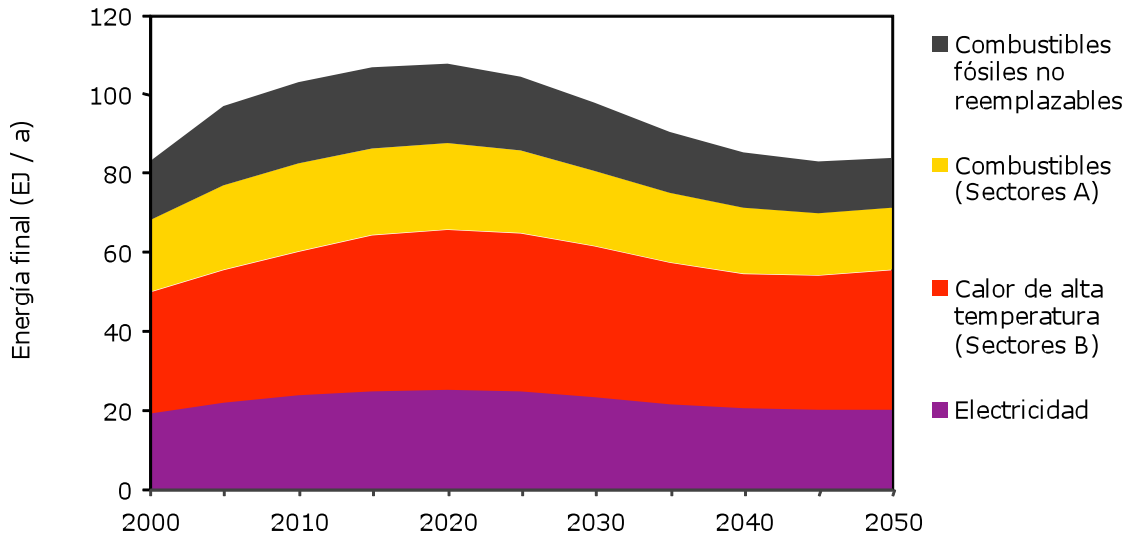
Para el sector de papel, el uso de pulpa reciclada es económica y energéticamente acertado, proporcionando un ahorro de energía "instantáneo" de 30-40%. El Escenario supone por lo tanto que la participación de pulpa reciclada en la producción de papel aumente fuertemente en el futuro, especialmente en regiones donde las tasas de recuperación de papel actual son bajas, alcanzando un promedio de 70% para el año 2050. Donde la pulpa virgen sigue siendo utilizada (un mínimo de 15-20% de fibra de entrada), el Escenario supone que la intensidad energética puede ser disminuida en alrededor de 40 a 50% para tanto los combustibles como la electricidad. [IEA, 2007]

### 3.2.4 Industria – Demanda de energía futura

La gráfica 3 – 8 muestra cómo se desarrollaría la demanda total de energía industrial, como resultado de la evolución de la actividad y la intensidad. La demanda seguirá aumentando inicialmente en este Escenario, pero se desacelerará y alcanzará su pico alrededor de 2020, volviendo a los niveles de 2000 para el año 2050.

Como se detalla anteriormente, esta evolución de la demanda global requiere de un cambio mayor de las tecnologías actuales, las cuales son obsoletas respecto a las mejores tecnologías disponibles, es decir, las tecnologías más eficientes, así como el uso de rutas alternativas y niveles óptimos de reciclaje. El Escenario también supone una modesta reducción en la producción en las regiones de la OCDE, a través de la mayor eficiencia de los materiales.

Es importante tomar nota que una pequeña participación de la demanda total de calor que se muestra en la gráfica 3 – 8 ha sido prevista para ser cubierta por hidrógeno como combustible; véase también el Cuadro 4 - 1.




Gráfica 3 – 8 Uso global general de energía en el sector industrial, por tipo de portador de energía.

## 3.3 Edificios

El sector de edificios (construcciones en general) ofrece grandes potenciales para el ahorro de energía y la electrificación. Este sector también está marcado por la longevidad: las decisiones de diseño de edificios hoy día influencian el uso de energía del edificio por muchas décadas, incluso hasta un siglo.

### 3.3.1 Edificios – Definiciones

El sector de espacios construidos, el cual será referido simplemente como el sector de "Edificios" en este documento, considera el uso de energía tanto en el sector residencial como en el sector de servicios, de acuerdo con las definiciones de los balances de energía de la IEA (véase la tabla 3 – 2).[10]

Tabla 3 - 2 Definiciones del sector Edificios.

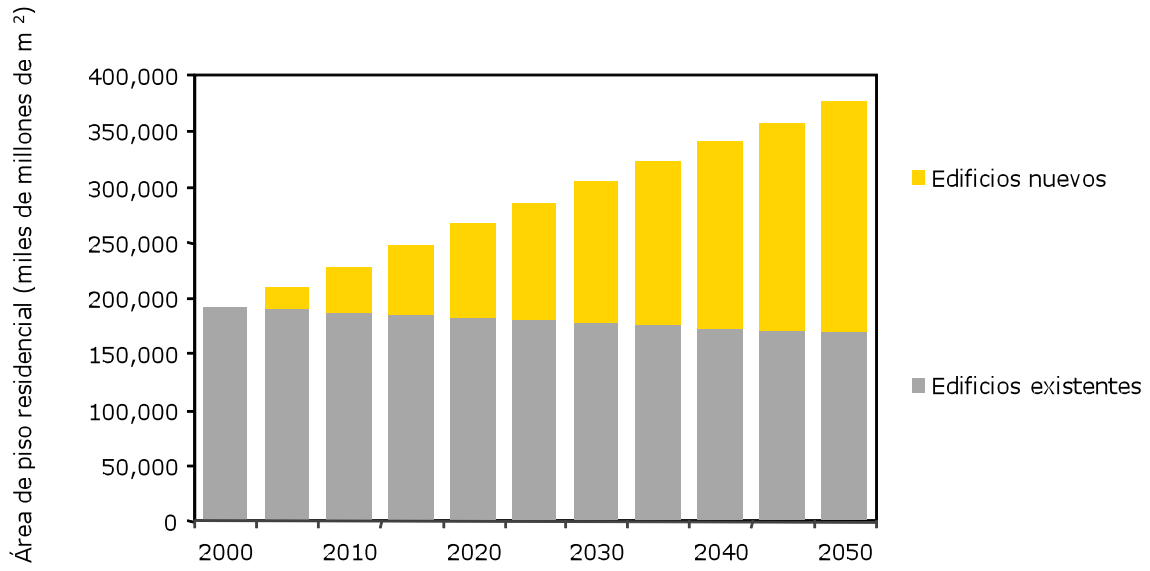
| Sector de Edificios (Definición de la IEA) | Sector de Edificios (Definición del Escenario) |
|---|---|
| Residencial | Residencial |
| Comercial y servicios públicos | Comercial |

### 3.3.2 Edificios – Actividades futuras

Las siguientes etapas se siguieron en el presente Escenario energético, con el fin de establecer las actividades futuras en el sector de Edificios:

- El área total de piso construida en el futuro, la cual es la referencia de la actividad en el sector de Edificios, se proyecta en función del crecimiento de la población y un mayor espacio de vida per cápita. [13]De forma similar al sector industrial, el futuro espacio residencial per cápita es reportado como resultado de la relación entre espacio habitación y el PIB per cápita (véase Anexo B – 2).

- Se realizan supuestos sobre las tasas de demolición típicas e históricas, las cuales se utilizan para dividir la superficie construida hoy en día (antes del 2005) y del área de pisos aún a construirse (nuevos edificios). En la gráfica 3 – 9 se muestran los resultados para el sector de edificios residenciales.

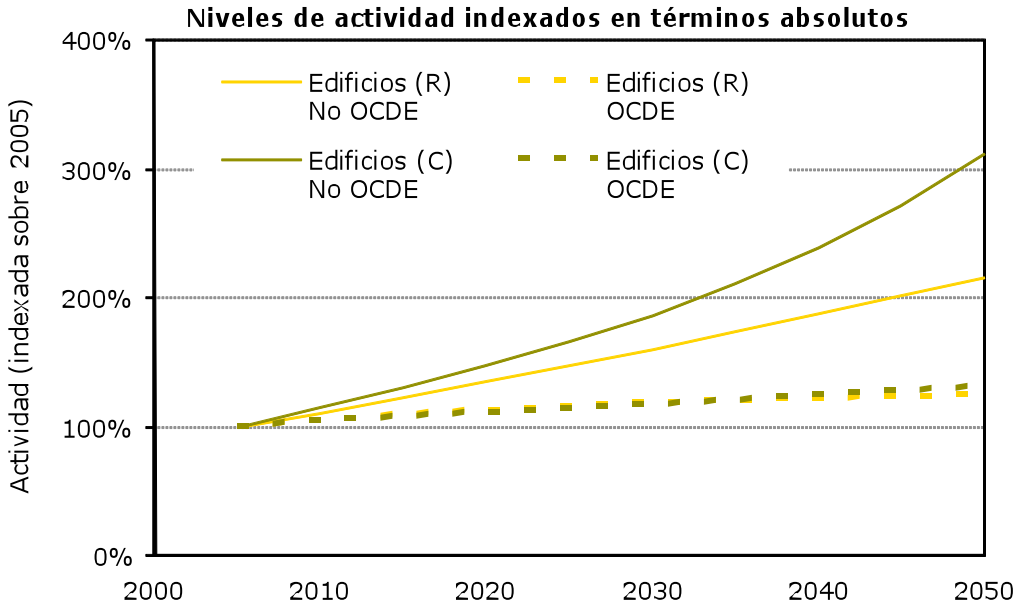



Gráfica 3 – 9 Evolución del área de piso construida en el sector residencial.

[13] Este incremento no es necesariamente el mismo en todas las regiones, en tanto que el punto de inicio puede variar.

En el caso del espacio construido en el sector comercial, se sigue un enfoque similar, pero en lugar de utilizar el crecimiento de la población como una referencia, esta evolución está vinculada al crecimiento del PIB con un factor de desacople.

La evolución general del espacio construido en los sectores residencial y comercial se muestra en la gráfica 3 – 10 .




Gráfica 3 - 10 Evolución indexada del espacio construido (R=Residencial, C=Comercial).

### 3.3.3 Edificios – Intensidad energética futura

Los siguientes pasos se siguen para descubrir la posible evolución de la intensidad energética en el Escenario, es decir, la electricidad y el calor futuros que serán demandados por metro cuadrado de superficie de viviendas o comercial.

Para cada tipo de área construida, la intensidad energética futura fue proyectada con base en los siguientes supuestos:

**Edificios construidos antes del 2005:**

- Todos los edificios existentes deberán llevar a cabo acciones de reconversión respecto de normas de eficiencia energética ambiciosas hacia el 2050. Esto requerirá **tasas de reconversión de cerca de 2.5% del área construida cada año**, lo cual es elevado en comparación con las prácticas actuales, pero factible (véase la gráfica 3 – 11.).

- Para determinadas acciones de reconversión el 60% de las necesidades de calefacción podrían ser abatidas mediante **el aislamiento de paredes, techos y pisos**, reemplazando las viejas ventanas con **ventanas de más alta eficiencia energética** y mediante la instalación de **sistemas de ventilación con mecanismos de recuperación de calor.**

- Una cuarta parte de las necesidades de calefacción y agua caliente restantes se cubrirán con **sistemas solares térmicos locales**, y el resto con **bombas de calor.** [14]

- El **enfriamiento** será cubierto, cuando sea posible, por soluciones **locales y renovables** (véase el cuadro 3 – 3 ).

- Las necesidades de aumento de **consumo de electricidad** en las superficies construidas debido a la creciente demanda de refrigeración, mayor uso de aparatos eléctricos (por área) y el funcionamiento de la bomba de calor, también se han estimado.

**Edificios nuevos:**

- El Escenario hace supone las nuevas construcciones bajo la norma "**cercano a cero en uso de energía**" [15], alcanzando una penetración del 100% de los nuevos edificios en 2030. Estos edificios altamente eficientes debido a la pérdida muy baja de calor a través del aislamiento del edificio y casi sin pérdidas por intercambio de aire (uso de sistemas de recuperación de calor).

- La demanda de calor residual está cubierta por sistemas pasivos solares, (ventanas irradiantes de luz) y **ganancias** de calor internas, (personas, aparatos eléctricos), sistemas de energía renovable en la forma de instalaciones **térmicas solares** y **bombas de calor**.

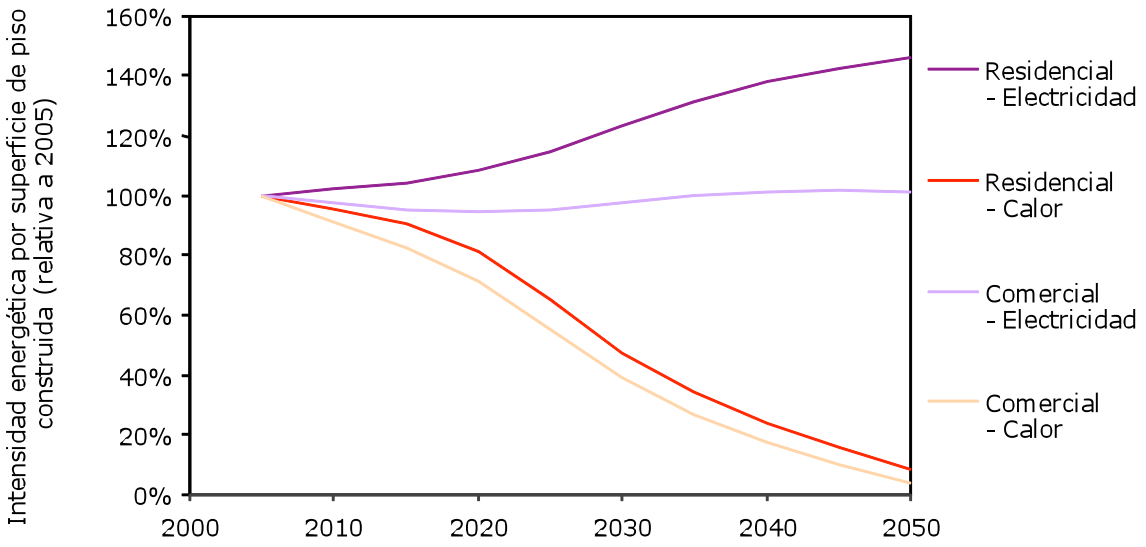
- En comparación con un nuevo edificio hoy en día, este tipo de construcción no requiere ningún tipo de suministro de combustible, es decir, es un edificio **completamente eléctrico**.

- El concepto "cercano a cero en uso de energía" también se aplicará a climas cálidos, en muchos casos reviviendo los enfoques de construcción tradicionales. Estos incluyen **dispositivos de sombreado externo** y una **estrategia de ventilación** óptima (altas tasas de intercambio en la noche, menos durante el día) – véase también el cuadro 3 – 3.

- Existirá una demanda adicional de refrigeración en estas regiones, especialmente en edificios no residenciales con altas cargas internas por las computadoras (oficinas) o iluminación (comercios). Las **necesidades de incremento de electricidad** para la refrigeración y los aparatos eléctricos, así como el uso de bombas de calor, ha sido estimado e incluido en este Escenario (véase más arriba).

[14] Otras tecnologías, tales como los pellets de madera (estufas cilíndricas), podrían jugar un papel en los nichos de mercado o como tecnologías puente, pero no han sido incluidas en el presente Escenario, el cual enfatiza el uso de bombas de calor que funcionan con electricidad renovable.

[15] Por "cercano a cero en uso de energía" nos referimos al hecho del consumo de energía en los edificios se acerca a niveles parecidos a la norma "passive house" desarrollada en Alemania.




Gráfica 3 – 11 Evolución de la intensidad energética en el sector de Edificios.[16]

La evolución resultante en términos de la intensidad energética se muestra en la gráfica 3 – 11. Puede observarse que la demanda de calor se ve drásticamente reducida, así como un aumento de alrededor del 50% en promedio de la demanda de electricidad por unidad de superficie de piso construida. Esto es debido a un aumento en la demanda de electricidad para la operación de la bomba de calor, así como un supuesto sobre el aumento de la utilización de aparatos eléctricos, iluminación y acondicionamiento de aire, el cual sólo puede ser parcialmente contrarrestado por la mejora de la eficiencia.

Cuadro 3 - 2 Historia: Tasas de reconversión en Edificios.

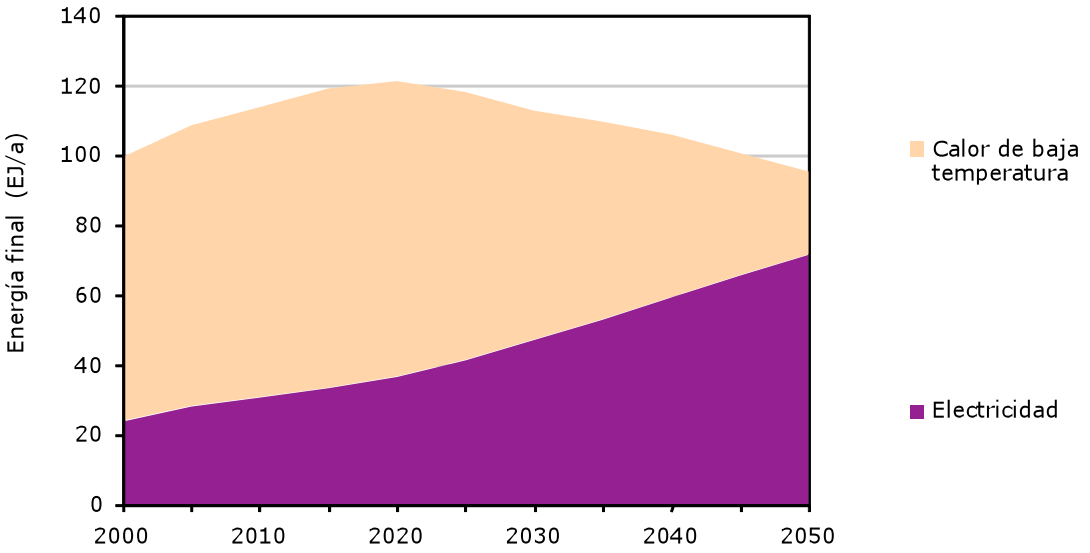
| HISTORIA | TASAS DE RECONVERSIÓN EN EDIFICIOS |
|---|---|

El presente Escenario supone que las tasas de reconversión aumentarán desde sus niveles actuales para llegar a 2-3% ~ para el año 2020, lo que permitirá la reconversión total de todos los edificios existentes para o antes del 2050. Esto podría parecer una ambición desafiante, teniendo en cuenta de los niveles actuales de reconversión en muchas partes del mundo. Sin embargo, esta no es la primera vez que se han alcanzado niveles de reconversión tan elevados. De acuerdo con el informe "$CO_2$ buildings report" elaborado en Alemania [DE Gov, 2006], la tasa de renovación en Alemania durante el año 2006 fue aproximadamente de 2.2% y, de acuerdo con el plan nacional de acción en eficiencia energética [DE Gov, 2007], el gobierno alemán estableció un objetivo de tasa de renovación de 2.6% para el año 2016 de acuerdo con la dirección actual de la política a escala europea.

[16] Nota: Los datos sobre calor mostrados en esta gráfica se refieren a todo el calor que no es suministrado por bombas de calor u opciones solares térmicas. La demanda de electricidad de las bombas de calor se incluye en la línea correspondiente a electricidad (así como la electricidad para iluminación y aparatos eléctricos).

### 3.3.4 Edificios – Demanda de energía futura

Pese al fuerte aumento del espacio de pisos construidos, las reducciones en la intensidad energética detalladas anteriormente llevaron a una reducción de la necesidad de calor en edificios, bajo la forma de combustibles o calor entregado directamente. Al mismo tiempo, se espera un aumento en el uso de electricidad. Estos resultados se muestran en la gráfica 3 – 12.




Gráfica 3 - 12 Uso global general de energía en el sector Edificios, por tipo de portador de energía.

Cuadro 3 - 3 Caso de estudio: Demanda de aire acondicionado en edificios de países mediterráneos.

| CASO DE ESTUDIO | DEMANDA DE AIRE ACONDICIONADO EN EDIFICIOS DE PAÍSES MEDITERRÁNEOS |
|---|---|

Proyecto MED-ENEC, 2007/08. "Eficiencia energética en el sector de la construcción del Mediterráneo" (www.med-enec.com).

El proyecto de MED-ENEC consiste en la implementación de esfuerzos de cooperación entre la Unión Europea y los países del programa MEDA, como parte de la Alianza Euro-Mediterránea. La mayoría de los países del programa se caracterizan por un fuerte contraste entre los centros urbanos e industrializados con altas demandas de energía y las zonas rurales donde el acceso a la energía es generalmente bajo. El crecimiento esperado en la población y la economía, ejercen mucha presión sobre la infraestructura energética existente. El sector Edificios es uno de los principales consumidores, responsables de cerca del 25-45% del consumo final de energía con una tendencia ascendente.

El potencial más grande para la mejora en las zonas urbanas y la reducción de la demanda de refrigeración requiere de un enfoque holístico para integrar la gestión de la demanda y la eficiencia energética en el proceso de planificación de edificios.

El proyecto de MED-ENEC sigue un enfoque de negocio sostenible, incorporando proyectos de demostración y desarrollo de capacidades.

El proyecto se centra en el fortalecimiento de los servicios de las empresas y apoyo a los consumidores, mejorando la capacidad institucional y estableciendo instrumentos económicos y fiscales.

Incluye 10 proyectos de edificios piloto en diez países, estos se realizaron bajo las condiciones locales con empresarios locales, logrado resultados extraordinarios:

- Tres reconocimientos "Energy Globe Awards".
- Actividades de seguimiento en los países.
- Ahorros totales de 900 t/a or 45,000 t en el ciclo de vida útil.
- Un alto potencial de implementación a una escala nacional.

## 3.4 Transporte

### 3.4.1 Transporte – Definiciones

Las actividades en el sector transporte son expresadas comúnmente en personas –kilómetros (pkm) para el transporte de pasajeros y tonelada-kilómetro (tkm) para el transporte de carga.
Por lo tanto, el sector transporte se diferencia, en el Escenario, en los tipos de transporte de pasajeros y de carga. Las definiciones detalladas se muestran en la tabla 3 – 3.

Tabla 3 - 3 Definiciones del sector transporte.

| Tipo de transporte (Definición de la IEA) | Tipo de transporte (Definición del Escenario) |
|---|---|
| Carretero | PASAJERO - Vehículo personal[17] |
| Carretero | PASAJERO – Automóvil, ciudad |
| Carretero | PASAJERO – Automóvil, fuera de la ciudad |
| Carretero | PASAJERO - Autobús |
| Ferroviario | PASAJERO – Ferroviario |
| Aviación | PASAJERO – Avión |
| Carretero | CARGA – Camión |
| Ferroviario | CARGA – Ferroviario |
| Aviación | CARGA – Avión |
| Navegación nacional + Buque-tanques transatlánticos | CARGA - Barco |

### 3.4.2 Transporte – Actividades futuras

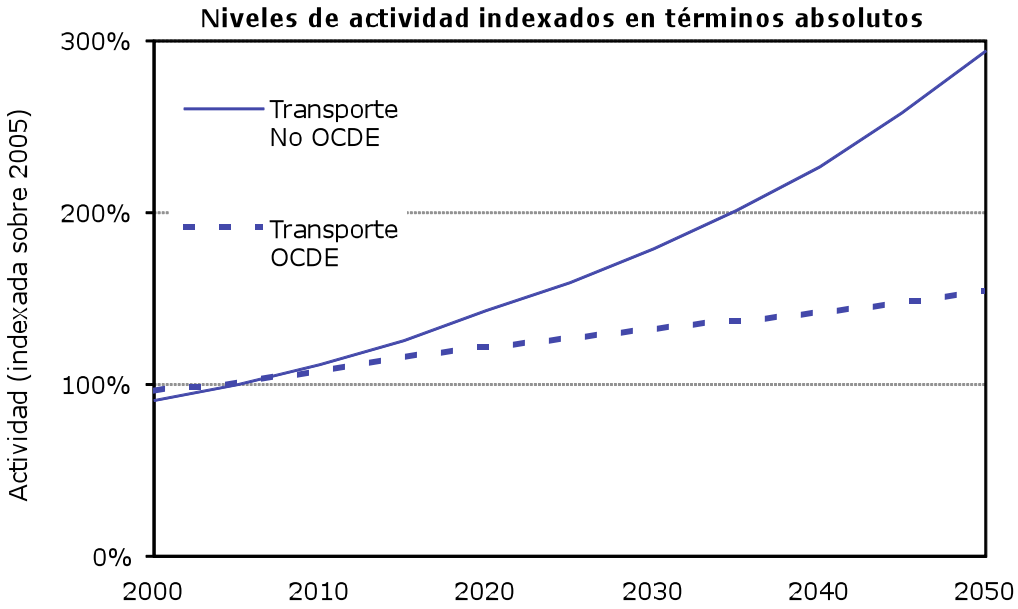
El Escenario Ecofys utiliza una detallada prospectiva de actividades para futuros volúmenes de tráfico en el transporte, establecida bajo una situación de "business-as-usual" [WBCSD, 2004]. El "business-as-usual" prevé un marcado incremento en los volúmenes de viajes en todo el mundo, de acuerdo con las proyecciones del PIB (véase la gráfica 3 – 13).

Cambios en el tipo de transporte son aplicados a esta prospectiva "business-as-usual" para llegar a los volúmenes para cada tipo de transporte en el Escenario Ecofys. Los resultados se muestran en la gráfica 3 – 14 para el caso del transporte de pasajeros y en la gráfica 3 – 15 para el transporte de carga.

En la situación de "business-as-usual", se espera que los volúmenes de transporte aumentarán de forma significativa, especialmente en las economías en desarrollo, con un claro énfasis en el transporte individual por carretera. También cabe esperar un aumento global en el transporte a medida que el PIB aumenta.

[17] Vehículos personales de dos y tres ruedas.

Por lo tanto, el Escenario Ecofys, asume cambios sustanciales de los ineficientes tipos de transporte individual de carretera y aviación hacia modos más eficientes del ferrocarril y de las carreteras.




Gráfica 3 - 13 Evolución indexada de las actividades en el sector Transporte.

El crecimiento menor en el tráfico de automóviles a nivel mundial es resultante de un aumento en las regiones no miembros de la OCDE y una estabilización o disminución en las regiones de la OCDE. También es debido a un aumento en los viajes compartidos, especialmente del transporte ferroviario.

El cambio en el tipo de transporte resulta incluso en una modesta reducción general en la prospectiva de viajes de pasajeros motorizados para el 2050, principalmente a través de:

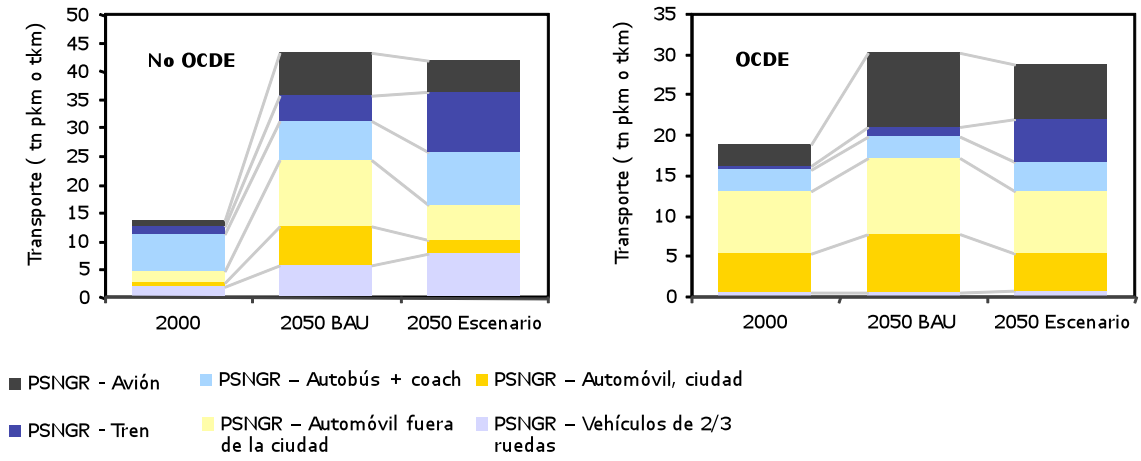
- Un cambio de los viajes en automóvil a los viajes no motorizados, tales como el caminar y andar en bicicleta[18] y
- Un cambio de los viajes aéreos de negocios a alternativas tales como las videoconferencias.[19]

Este cambio de patrón de los automóviles individuales hacia modos más eficientes requiere de un enfoque para la planificación del uso del suelo. Aplicando dicha planeación, los sistemas de transporte masivo de alta cobertura serían posibles, ambientalmente aptos y económicamente sostenibles.

Aunque los supuestos del cambio en los tipos de transporte pueden considerarse ambiciosos, podrían en teoría ser llevados más allá de la prospectiva.

[18] Es importante anotar que las distancias involucradas en el cambio del tipo de transporte no motorizado (caminar y bicicleta) son cortas, por lo cual el cambio en el volumen total persona-kilómetro es reducido.

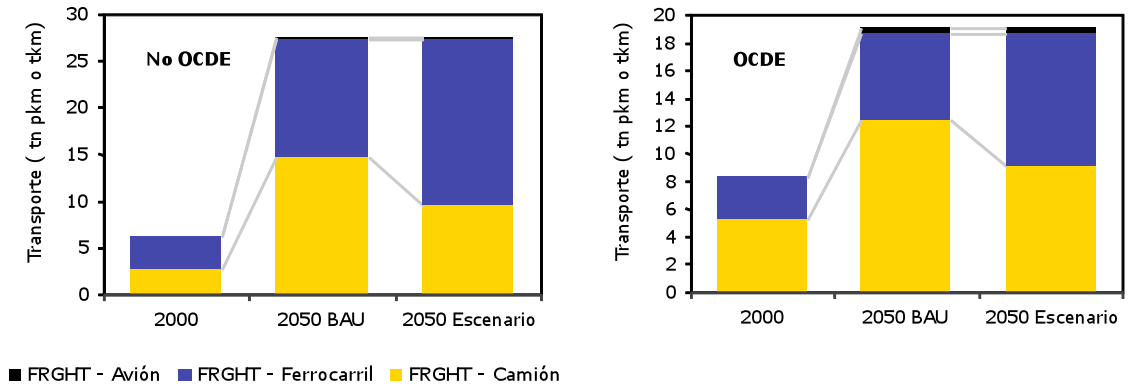
[19] Las videoconferencias desplazarán en mayor medida la participación de los viajes de negocios, los cuales representan la minoría de los pasajeros aéreos. [CCC, 2009]




Gráfica 3 - 14 Cambio modal para transporte de pasajeros.

Para el caso del transporte de carga, en el Escenario Ecofys, el volumen cambió de la aviación y tipos de transporte por carretera (camiones) hacia el ferrocarril.[20] Aunque una reducción de los volúmenes de carga general puede ser deseable en un modelo de economía más localizado, esta opción no fue considerada en el presente documento por falta de una base cuantitativa para tales supuestos.

Es importante tomar en cuenta el aumento de la capacidad ferroviaria necesaria para sostener el aumento del tráfico tanto de pasajeros como de transporte de carga. Se puede argumentar que en la situación de "business-as-usual", un incremento similar en el tráfico por carretera habría sido necesario, pero no se debe subestimar el desafío de asegurar una red ferroviaria de alta capacidad y bien administrada.




Gráfica 3 - 15 Cambio modal para transporte de carga.

## 3.4.3 Transporte – Intensidad energética futura

Los siguientes pasos se siguieron para asegurar que el Escenario emplea los tipos de transporte más eficientes con la más alta posibilidad de tener un suministro de energías renovables:

[20]Debido a la disponibilidad de información, el uso de energía en el largo plazo para el transporte de carga por barco no fue modelado con base en las actividades, pero sí se modeló con bases en las prospectivas del PIB, de forma parecida al enfoque "A" y "B" utilizado en el sector industrial.

- El transitar a tecnologías eficientes, por ejemplo, los camiones con arrastre reducido, una mejor gestión del tráfico aéreo y reducir la necesidad de combustibles fósiles en los autobuses híbridos.

Electrificar los modos de transporte a lo máximo posible, por ejemplo, automóviles eléctricos en ambientes urbanos y sistemas ferroviarios eléctricos.

Como último paso, suministrar combustibles a base de biomasa sostenible, siempre que sea posible (véase la Sección 5).

La table 3 – 4 resume los supuestos respecto de cambio de combustibles, en los cuáles se basan los cálculos del Escenario Ecofys. Los supuestos más destacados son:

- Un cambio completo a vehículos híbridos y/o vehículos eléctricos, convirtiéndose ésta en la principal opción tecnológica para los vehículos ligeros.

- Los camiones de larga distancia en proceso de grandes mejoras de su eficiencia, debido a la mejor elección de materiales, la tecnología de los motores y la aerodinámica, más que transitar hacia el transporte eléctrico (debido al tamaño prohibitivo y peso de las baterías requeridas con la tecnología actual). La participación del 30% de camiones eléctricos está representado por camionetas de entrega totalmente eléctricas que cubren distancias cortas.

- Una participación (pequeña) del combustible para el sector marítimo a ser gradualmente reemplazado por hidrógeno, obtenido de electricidad renovable. Esto se ha considerado una opción viable debido al sistema centralizado de recarga de combustibles de los barcos (ver también Cuadro 4 - 1).

Cuadro 3 - 4 Dato: Necesidades de materiales para baterías.

| DATO | NECESIDADES DE MATERIALES PARA BATERÍAS |
|---|---|

La electrificación del sector del transporte prevé un cambio mayor a vehículos eléctricos e híbridos plug-in para todos los automóviles, autobuses y ~ 30% de los camiones/vehículos de entrega. Este gran volumen de vehículos activados eléctricamente requerirá una producción equivalente de baterías; un vehículo eléctrico típico con un rango de 150 km requeriría una batería con un peso de hasta 250 kgs.

La tecnología disponible para los vehículos eléctricos en los últimos años ha sido la batería de Ion de litio, que logra densidades de energía suficientemente altas para producir vehículos con alcance de 150 km. El evaluar el volumen necesario de litio en el Escenario en el supuesto de que todos los vehículos utilizarán este material es algo que está fuera del alcance del presente estudio. Sin embargo, la oferta de litio en el mundo es claramente un tema de preocupación, dados los grandes volúmenes necesarios para los vehículos eléctricos. En paralelo con el reciclaje y la reutilización en otros sectores, las baterías de iones de litio tendrían que ser re-manufacturadas para su uso renovado. Además, también deberá llevarse a cabo más investigación y desarrollo en materiales alternativos, así como las diferentes tecnologías de almacenamiento de carga.

Tabla 3 – 4 Eficiencia y supuestos de cambio de combustible para todos los tipos de transporte.

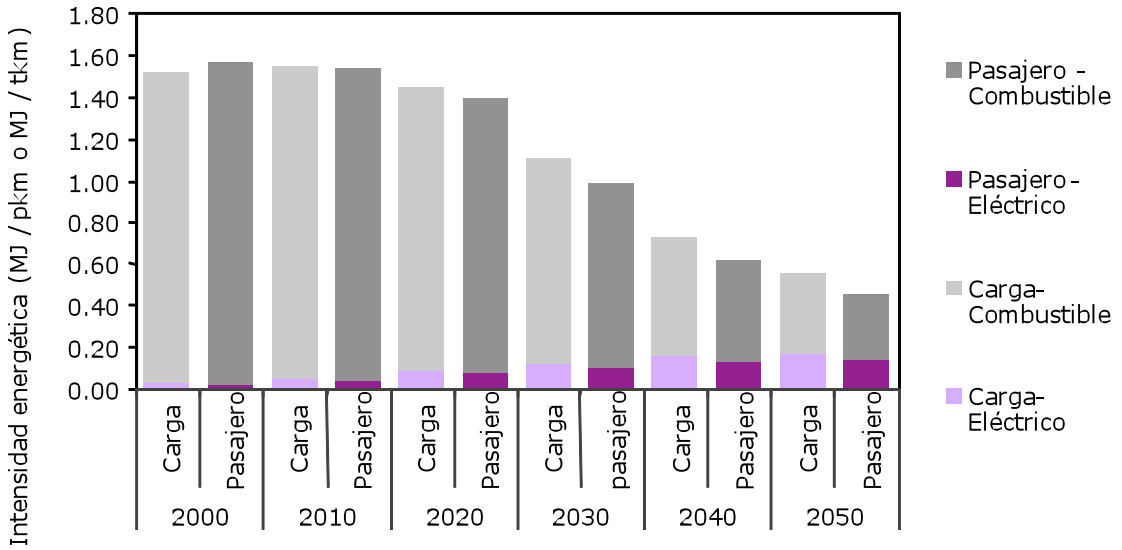
| Tipo | Mejora en la eficiencia 2050 vs 2000 | Electrificación[21] | Comentarios |
|---|---|---|---|
| PASAJERO - Vehículo personal | 50% | 40% – 90%[22] | Por ejemplo, motonetas |
| PASAJERO – Automóvil, ciudad | 75% (2000: 8–11 l/100 km 2050: 2–3 l/100 km) | 90% | 90%, es decir, la mayoría del transporte realizado por vehículos eléctricos o en la parte eléctrica de los vehículos híbridos |
| PASAJERO – Automóvil, fuera de la ciudad | | 70% | |
| PASAJERO – Autobús + Coach | 50% – 65% | 50% – 70% | Híbridos / eléctricos, particularmente en las ciudades |
| PASAJERO - Ferrocarril | 30% | 95% – 100% | Cambio a un ferrocarril totalmente eléctrico, reducción de la resistencia, optimización del espacio |
| PASAJERO - Avión | ~50% | n/d | Mejoras en el diseño de la estructura del avión y del motor, ahorros derivados de la optimización de la gestión de tráfico aéreo [CCC, 2009] |
| CARGA - Camión | 65% | 30% | Camionetas eléctricas de entrega a cortas distancias |
| CARGA - Ferrocarril | 30% | 95% – 100% | Cambio a un ferrocarril totalmente eléctrico |
| CARGA - Avión | ~50% | n/d | [Véase el transporte de pasajeros en avión] |
| CARGA - Barco | ~50% | Ninguno [pero ~5% ($H_2$) a partir de electricidad] | Mantenimiento de la hélice y el casco, así como actualizaciones y reconversiones incluyendo el remolque, mejoras operacionales, incluida la reducción de velocidad; pequeña participación del hidrógeno como combustible en los barcos [IMO, 2009] |

La evolución general resultante de la intensidad energética en el sector Transporte, diferenciada por uso de combustible y electricidad, se muestra en la 3 – 16. Se debe tener en cuenta que la participación de la

[21] Cuando ocurre un cambio de combustible a electricidad, se asume que el vehículo eléctrico necesitará 1.5–2.5 veces menos energía final en promedio, toda vez que la energía es suministrada al vehículo en forma de energía secundaria.

[22] El rango extremo inferior utilizado para las regiones de la OECD, donde las motocicletas son mayoría, el punto más alto del rango para no miembros de la OCDE donde se supone la participación de los vehículos personales incluirá una parte mucho mayor de motonetas eléctricas.

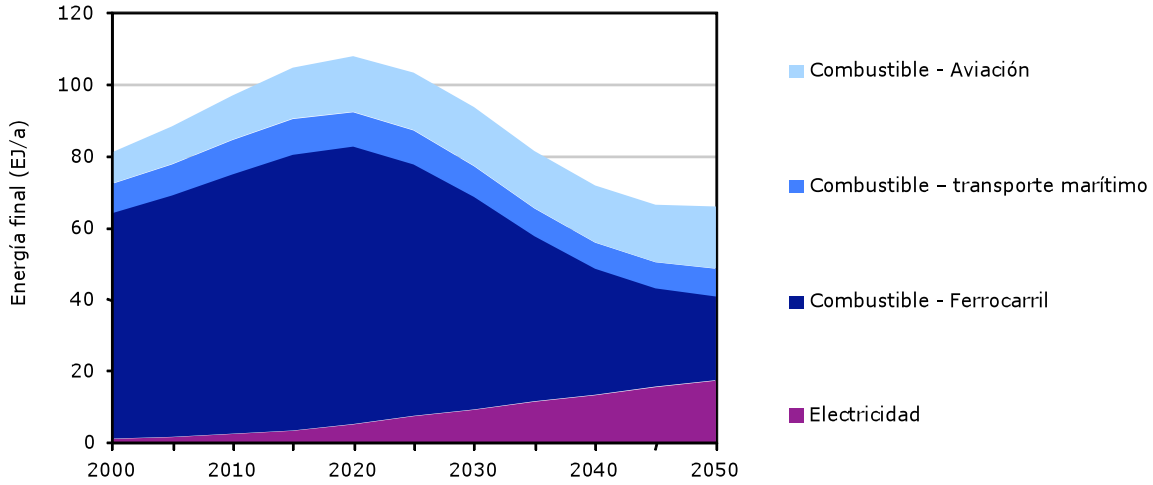
electricidad parece relativamente pequeña en comparación con los combustibles, porque éstos aún deben someterse a una conversión hacia la eficiencia con el objetivo de generar energía mecánica para las ruedas.




Gráfica 3 - 16 Evolución de la intensidad energética en el sector Transporte.

## 3.4.4 Transporte – Demanda de energía futura

Los supuestos sobre los cambios en los tipos de transporte y sobre la evolución de la intensidad energética relacionada con el cambio de combustibles, da lugar a la evolución de la demanda global de energía en el sector Transporte. Esto se muestra en la gráfica 3 - 17.




Gráfica 3 - 17 Uso global de energía en el sector Transporte, por tipo de portador de energía.

Los ambiciosos supuestos sobre eficiencia energética y electrificación dan lugar a una contracción de la demanda de energía en el sector Transporte, a pesar de un fuerte aumento en la actividad subyacente. Al interpretar la gráfica 3 – 17 es importante recordar que mientras la demanda se muestra en la energía final, tal y como se define en los balances de energía de la IEA, la participación de la electricidad en el transporte es pequeña, aunque para muchos modos ofrece la mayoría de energía mecánica para el movimiento de las ruedas.

Esto es porque los combustibles aún tienen que someterse a la conversión en el motor de combustión del vehículo y por lo tanto representan un mayor contenido de energía. (Véase también nota al pie No. 2).

La pequeña participación en la demanda de combustible para el sector marítimo mostrada en la gráfica 3 – 17 se prevé sea suministrada por hidrógeno. Véase también el Cuadro 4 - 1.

Cuadro 3 - 5 Posibilidad: Transporte de carga.

| POSIBILIDAD | TRANSPORTE DE CARGA |
|---|---|

El transporte de carga, como la aviación y el transporte marítimo, representa la mayor demanda de combustible. Aun cuando el Escenario contiene una fuerte participación de la electricidad para las entregas de corta distancia, - por ejemplo, camionetas eléctricas -, así como reemplazos significativos de camiones a transporte ferroviario, existe una cantidad residual de camiones de larga distancia los cuales no será posible convertir a vehículos en el corto plazo.

Existen otras opciones para esta demanda, las cuales no han sido modeladas en el presente estudio:

- Transitar a una economía más local

Una proporción del transporte de carga actual se utiliza para mover mercancías entre poblaciones que podrían ser tanto productores como consumidores de ese producto, haciendo el viaje de carga cuestionable desde un punto de vista energético. Un ejemplo de esto es el envío de productos agrícolas de una región del mundo a otra, la cual podría producir el mismo bien de manera local. Cuantificar este efecto está fuera del ámbito en este estudio, pero cabe señalar que la reducción de los volúmenes de carga representa una oportunidad de contingencia para reducir la demanda de energía del transporte de carretera, mar y aire.

- Uso de hidrógeno en camiones de largas distancias

Como se explicó en el Cuadro 4 - 1, el hidrógeno como combustible no está disponible para el transporte terrestre de larga distancia dentro del plazo de este estudio. Sin embargo, en el futuro podría concebirse una nueva flota de carga para larga distancia, la cual pudiera funcionar con hidrógeno. En tal escenario, la demanda de combustibles fósiles o de biocombustibles para transporte por carretera podría reducirse significativamente.

# 4 Oferta – Energías renovables (con excepción de la bioenergía)

## 4.1 Resultados generales

Los supuestos detallados en la Sección 3 concernientes a la demanda de energía conducen a:

- Una demanda global mucho menor en comparación con el escenario de "business-as-usual".
- Una tasa de electrificación mayor.

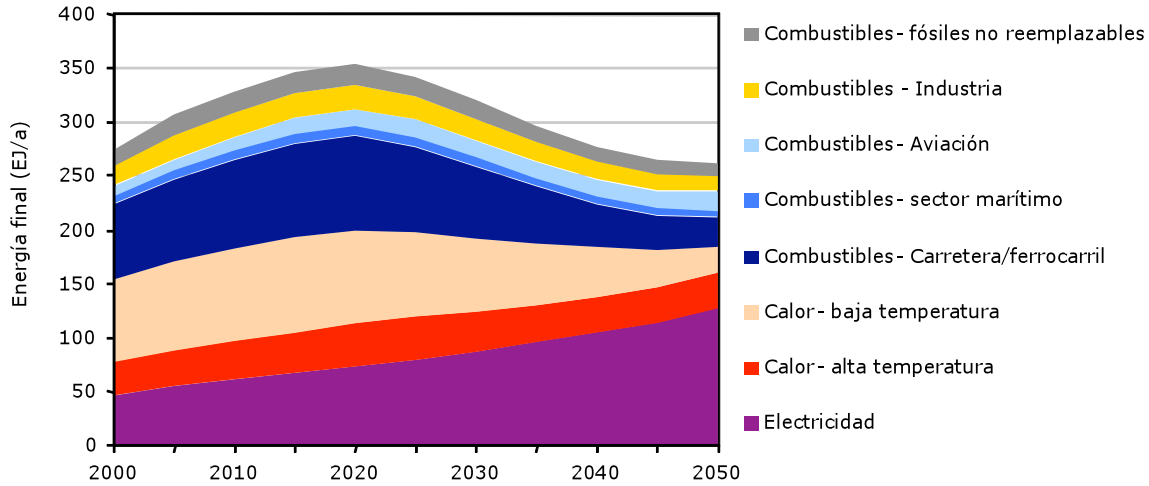
La división de la demanda global resultante se presenta en la gráfica 4 – 1. La demanda de energía aumenta constantemente desde casi los 60 EJ/a a más de 120 EJ/a. Por el contrario, la demanda de calor y combustible crecen en una primera instancia, para reducir drásticamente en los años posteriores .[23]

En el siguiente paso, esta demanda debe coincidir con la oferta de energía. De conformidad con el enfoque (véase la Sección 2), esto se lleva a cabo en el orden siguiente:

- Cuando sea posible, las opciones de energía renovable excluyendo a la bioenergía se utilizan en primer lugar.

- Si la demanda no puede ser totalmente satisfecha, la bioenergía se utiliza hasta su potencial sostenible disponible en ese año (véase la Sección 5).

- Toda la demanda residual es cubierta por fuentes convencionales, tales como combustibles fósiles y energía nuclear.

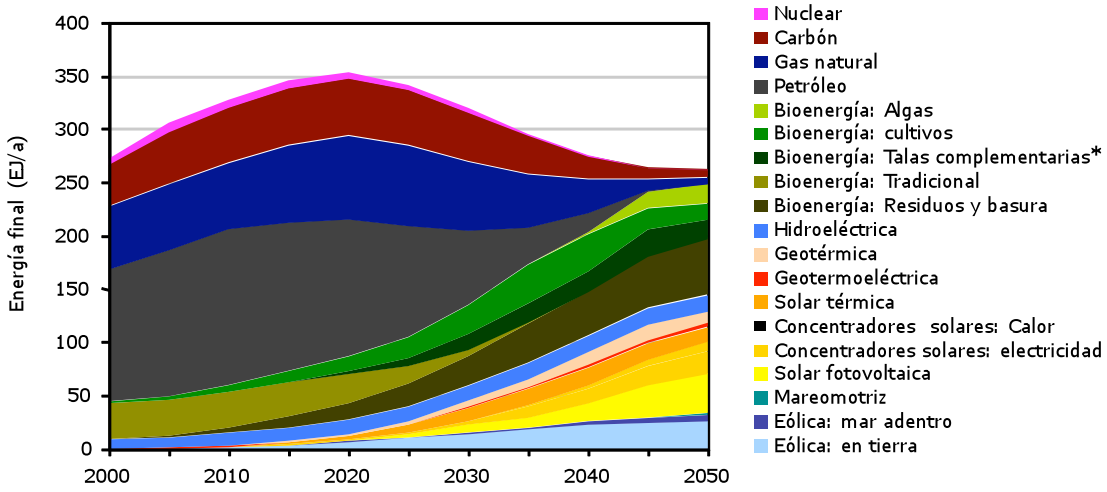



Gráfica 4 – 1 Demanda global de energía en todos los sectores, por tipo de portador de energía.

[23] La participación de la electricidad parece ser pequeña en comparación con, por ejemplo, los combustibles para el transporte, toda vez que éstos todavía tienen que sufrir una reconversión a una eficiencia relativamente menor para generar energía mecánica para mover las ruedas.

Siguiendo esta estricta priorización de opciones, la evolución general de la oferta de energía se muestra en la gráfica 4 – 2.[24]

La estabilización de la demanda de energía por fuertes medidas de eficiencia energética coincide con un rápido crecimiento de la oferta de energías renovables en los últimos años, lo cual resulta en un sistema energético cuyas fuentes son sostenibles en un 95%.




Gráfica 4 - 2 Oferta global de energía en el Escenario Ecofys, divida por fuente. (*las talas complementarias incluyen la participación sostenible del uso tradicional de la biomasa[25])

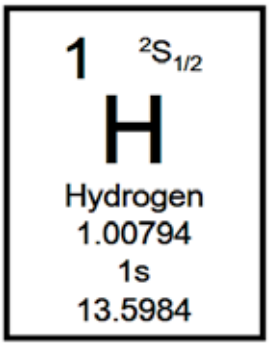
En las secciones siguientes, estos resultados se examinarán con más detalle para cada uno de los sectores de la demanda, precedidos de una presentación de los potenciales detallados, supuestos, y en materia de energías renovables. Se prestará especial atención al complejo tema de la bioenergía en la Sección 5.

[24] En virtud de la que la gráfica presenta la energía final, la participación de los combustibles (fósiles o bioenergéticos), en apariencia es más grande en comparación con las opciones de electricidad y calor.

[25] Las fuentes originales no están referidas de manera explícita en la composición del uso tradicional de la biomasa. Se han agrupado junto con las talas complementarias y esperamos que una porción importante de éstas sean provenientes de los bosques, especialmente en los últimos años.

Cuadro 4 - 1 Historia: El papel del hidrógeno como combustible en el Escenario energético.

| HISTORIA | EL PAPEL DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN EL ESCENARIO ENERGÉTICO |
|---|---|




El hidrógeno como combustible presenta una serie de beneficios los cuales le permite desempeñar un papel puente en el presente Escenario:

- Es un combustible y por lo tanto, podría aliviar la demanda de combustibles renovables y/o de calor de alta temperatura para el cual existen muy pocas opciones sostenibles.
- Puede ser totalmente sostenible, por ejemplo, si se genera a través de la electrólisis a partir de fuentes de energías renovables.
- Si genera a partir de fuentes renovables de esta manera, puede también funcionar como un medio de almacenamiento de energía renovable, es decir, almacenar la electricidad generada por las fuentes eléctricas de oferta en tiempos de sobreproducción.

Sin embargo, existen algunos **desafíos**:

- No hay ninguna red de transporte existente para el combustible de hidrógeno. Por ende, sería necesario contar con la instalación en gran escala de un nuevo tipo de infraestructura de carga para poner combustible de hidrógeno a disposición de los usuarios del transporte, tales como los automóviles de pasajeros
- El hidrógeno tiene una densidad energética más baja que los combustibles convencionales y una densidad de masa inferior incluso a altas presiones, lo cuál lo hace más voluminoso para almacenar y transportar.
- La conversión de electricidad a hidrógeno y de vuelta a la electricidad es considerablemente menos eficiente que usar la electricidad original directamente.

Por las razones anteriores, el escenario utiliza hidrógeno principalmente en aplicaciones donde:

- Los trayectos están entre los centros de carga o el uso final está directamente cerca de los sitios de producción para que la demanda pueda integrarse fácilmente a una nueva red de energía renovable (es decir, no se utiliza en el transporte de pasajeros, sino en instalaciones industriales centrales).
- El tiempo / distancia entre las estaciones de carga es pequeño (por ejemplo, sólo se utiliza en una fracción del transporte marítimo de corta distancia y no se supone que es adecuado para el transporte por carretera).

Además del desplazamiento de la demanda de combustibles y calor, una porción de hidrógeno es necesario para la producción del Fertilizante N, el cual sirve para obtener nutrientes sostenibles usados en la producción de biomasa con el fin de generar bioenergéticos sostenibles.
En total, 9 EJ de la demanda de electricidad adicional se utiliza en el año 2050 para:

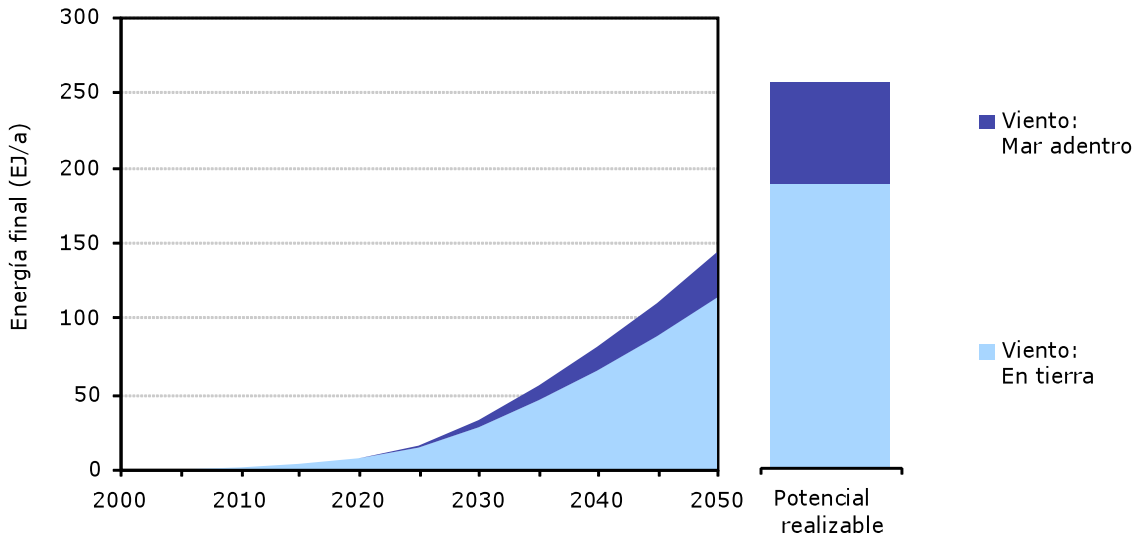
- Desplazar ~ 5 EJ de **combustibles y calor industriales**, principalmente en la producción de químicos, aluminio y cemento.
- Desplazar ~0.5 EJ de **combustible para el sector marítimo.**
- Suministrar 3.5 EJ de electricidad para producir fertilizantes a partir de hidrógeno.

## 4.2 Potenciales para suministro de electricidad y calor a partir de energías renovables (con excepción de la bioenergía)

El **potencial de despliegue** que se muestra en las gráficas de esta Sección es el potencial en el cual se basa el presente estudio. Es el potencial que puede realizarse en cualquier punto en el tiempo, dadas las barreras técnicas y los desarrollos de crecimiento de mercado ambiciosos, pero factibles.
El potencial de despliegue no necesariamente representa el desarrollo más costo-efectivo, es decir, no da cuenta de las barreras de mercado o competencia con otras fuentes. El **potencial realizable** es el potencial totalmente realizable del recurso con un horizonte de desarrollo en el largo plazo.

### 4.2.1 Viento

El presente Escenario incluye la generación de energía eólica tanto en tierra como mar adentro. El crecimiento de la energía eólica en tierra ha sido notable en la última década, con tasas de crecimiento anuales superiores al 25% en la mayoría de los años. Dada la escasez de tierras en algunas regiones del mundo, cada vez más atención se presta a la generación eólica mar adentro. Varios parques eólicos mar adentro ya están en operación en todo el mundo y muchos más están actualmente en las fases de operación y planeación. [GWEC, 2007; Hoogwijk, 2008; Leutz, 2001; REN21, 2010; WWF, 2008]
El Escenario se basa en la suposición de que existe potencial para un crecimiento continuo y constante de la energía eólica durante las próximas dos décadas, con sus niveles de crecimiento disminuyendo significativamente a partir de entonces.
Para el caso de las plantas eólica mar adentro, se aplican tasas anuales de crecimiento potencial de ~ 30%, mientras que para las plantas en tierra se utilizan tasa de crecimiento anual de 20%.




Gráfica 4 – 3 Potencial de despliegue global de energía eólica. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible)

### 4.2.2 Agua

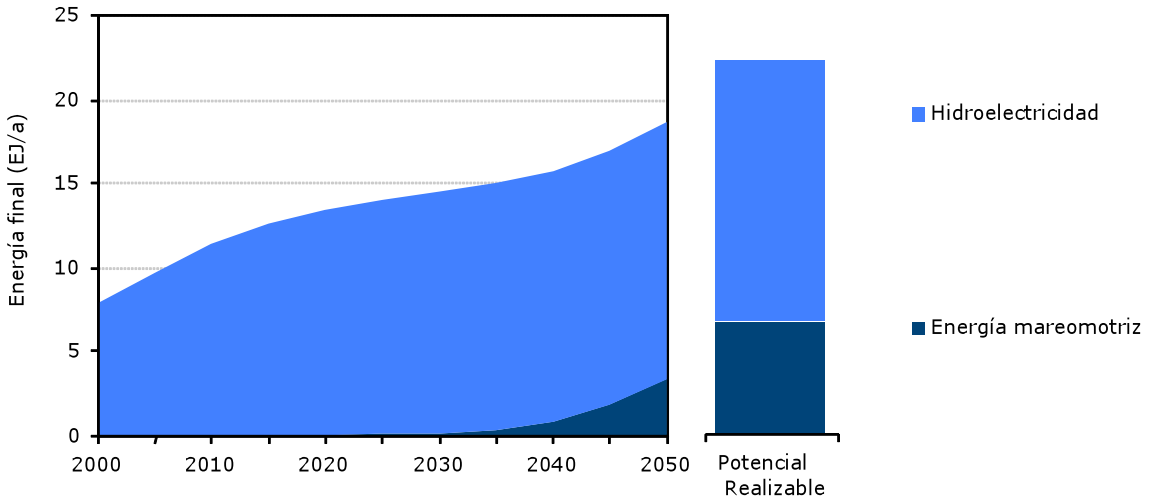
Hemos agrupado dos tipos de producción de energía bajo el título "agua", para los propósitos de este informe: centrales hidroeléctricas y energía mareomotriz.

Las hidroelectricidad es la mayor fuente de energía renovable hasta la fecha, proporcionando casi el 15% de energía en todo el mundo; más de 980 GW de capacidad instalada en 2009. [REN21, 2010]

Aun cuando la hidroelectricidad puede ser producida de manera sostenible, algunos proyectos en el pasado han sufrido efectos secundarios ecológicos y sociales. Por lo tanto, se ha restringido severamente el crecimiento futuro de centrales hidroeléctricas para reflejar la necesidad de una evolución la cual respete los derechos humanos y los ecosistemas existentes. [WWF, 2006; Hoogwijk 2008]

Los potenciales para energía mareomotriz, también conocida como “energía océanica”, son menos densos que otras formas de electricidad, tales como la eólica o la solar, pero pueden estar altamente concentrados, en costas con mucho viento, como en la Gran Bretaña, por ejemplo. Existen varios proyectos piloto en curso para aprovechar la energía mareomotriz y diseñar sistemas sostenibles que funcionen con las mareas. El Escenario estima un potencial para la energía mareomotriz mar adentro de aproximadamente 5%, reflejando las estimaciones regionales donde esté disponible. [EOEA, 2010; OES-IA, 2010]

El potencial para la hidroelectricidad y la energía mareomotriz se muestra en la Gráfica.




Gráfica 4 – 4 Potencial global de despliegue de energía hidroeléctrica y mareomotriz. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible).

### 4.2.3 Sol

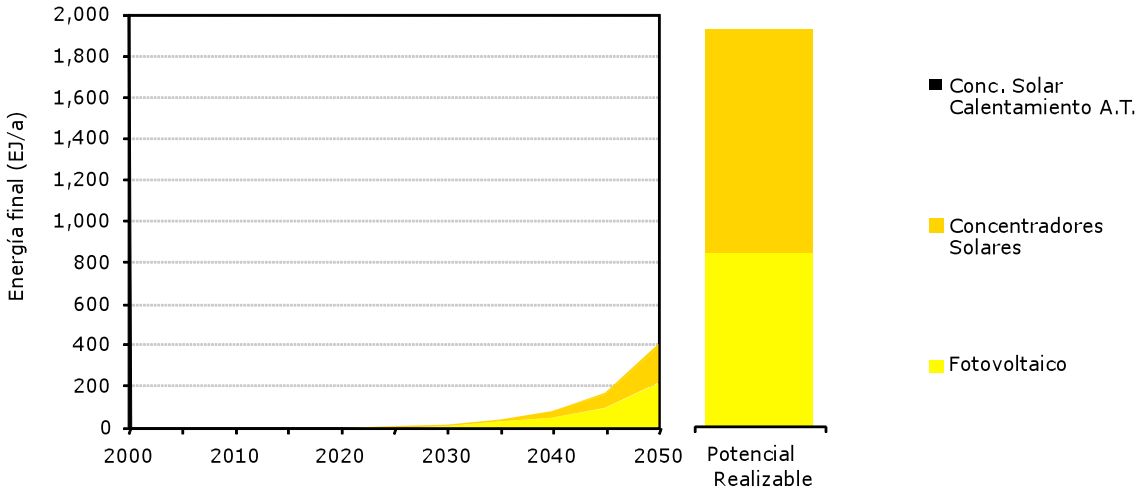
El más grande potencial técnico y realizable para la generación de electricidad y calor de manera sostenible es la energía solar directa, sobre todo en regiones con una gran cantidad de irradiación directa.

El Escenario Energético incluye cuatro tipos diferentes de fuentes de energía solar:

- Sistemas solares fotovoltaicos para la generación de electricidad (FV).
- Sistemas de concentración solar.
- Sistemas de concentración solar para calor de altas temperaturas en la industria.
- Sistemas solares térmicos de baja temperatura para edificios.[26]

El potencial adoptado para las primeras tres fuentes se muestra en la Gráfica 4 - 5.

El escenario considera el potencial para FV basado en tasas continuas de crecimiento anual del 25-30%, incluyendo los resultados tanto de las instalaciones de sistemas FV integrados a los edificios, así como instalaciones FV en grandes áreas, para las próximas dos décadas. [EPIA, 2009; Hoogwijk, 2008]




Gráfica 4 – 5 Potencial global de despliegue de sistemas solares para generación de electricidad y calor (con excepción de los sistemas térmicos para edificios). (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible)

Con mayores tiempos de almacenamiento de energía, los sistemas de concentración solar atraen cada vez más la atención por su potencial de suministrar electricidad para satisfacer la demanda, incluso después del anochecer. Los sistemas con hasta 15 horas de almacenamiento de energía están ahora en la fase de diseño. Aunque todavía es una tecnología en desarrollo, las expectativas respecto de los sistemas de concentración solar son altas y el Escenario, por lo tanto, se basa en el supuesto de que las próximas décadas habrá una fuerte penetración de esta tecnología en el mercado, con posibles tasas de crecimiento de aproximadamente 20%.

Los sistemas de concentración de calor solar permitirían que las instalaciones industriales utilicen directamente las altas temperaturas generadas por parques de sistemas de concentración solar de calor. Esta

[26] El calentamiento solar térmico para edificios es una tecnología bien establecida de uso generalizado. En el Escenario, sin embargo, se trata en la sección de la demanda de energía, con un potencial similar cercano del 10% de la demanda actual de calor en edificios. Por lo tanto, no se presenta una gráfica de potencial de esta tecnología en esta sección.

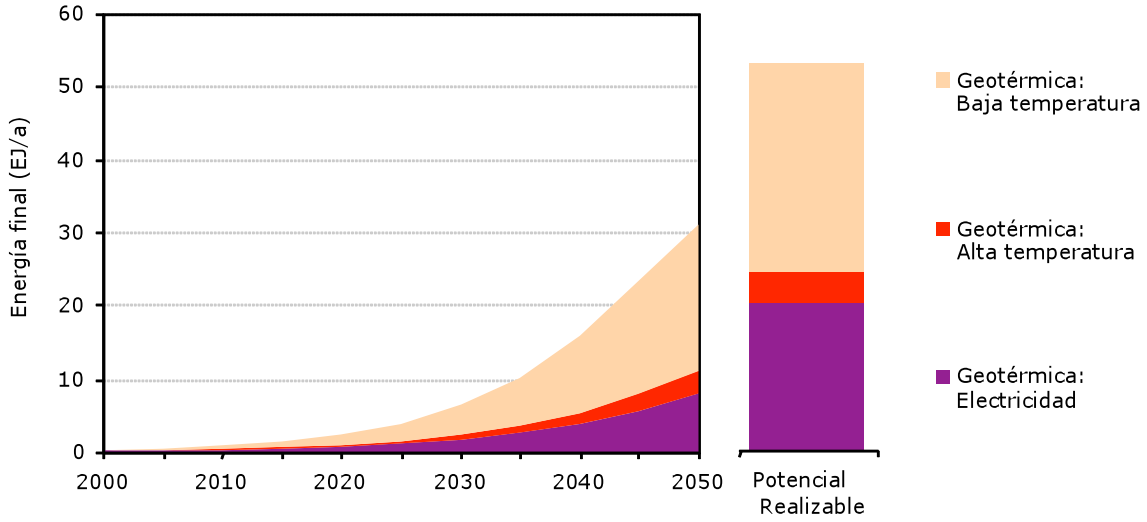
tecnología no está aún en el mercado y por lo tanto, se incluye sólo un potencial muy pequeño en este estudio, alrededor de una décima parte del potencial de los sistemas de concentración solar[27].

### 4.2.4 Geotermia

La energía geotérmica derivada de las altas temperaturas generadas debajo de la superficie terrestre puede utilizarse directamente ("uso directo") para producir calor en los edificios. A temperaturas suficientemente altas, también puede utilizarse para la generación de electricidad y calor.

La energía geotérmica ha sido explotada durante muchos años, con alrededor de 10GW de capacidad instalada de producción en todo el mundo a finales de 2007. Dada la falta de atención que se ha prestado a esta opción en el pasado y su enorme potencial para abastecer la demanda de energía renovable, el Escenario se basa en la premisa de que la actual tasa de crecimiento anual de 5% potencialmente podría duplicarse para llegar a los niveles de otras opciones de energía renovable.

El potencial de energía geotérmica del Escenario se muestra en la Gráfica 4 – 6 .




Gráfica 4 – 6 Potencial global de despliegue de la energía geotérmica. (A la izquierda: Evolución del potencial de despliegue en el tiempo; a la derecha: Potencial máximo factible)

[27]Este es un supuesto realizado de manera conservadora. Se recomienda un análisis más amplio sobre la distribución de la demanda de calor industrial y la disponibilidad de sistemas de concentración de calor solar cercanos a estas instalaciones.

Cuadro 4 – 2 Historia: La sostenibilidad de las energías renovables.

| HISTORIA | LA SOSTENIBILIDAD DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES |
|---|---|

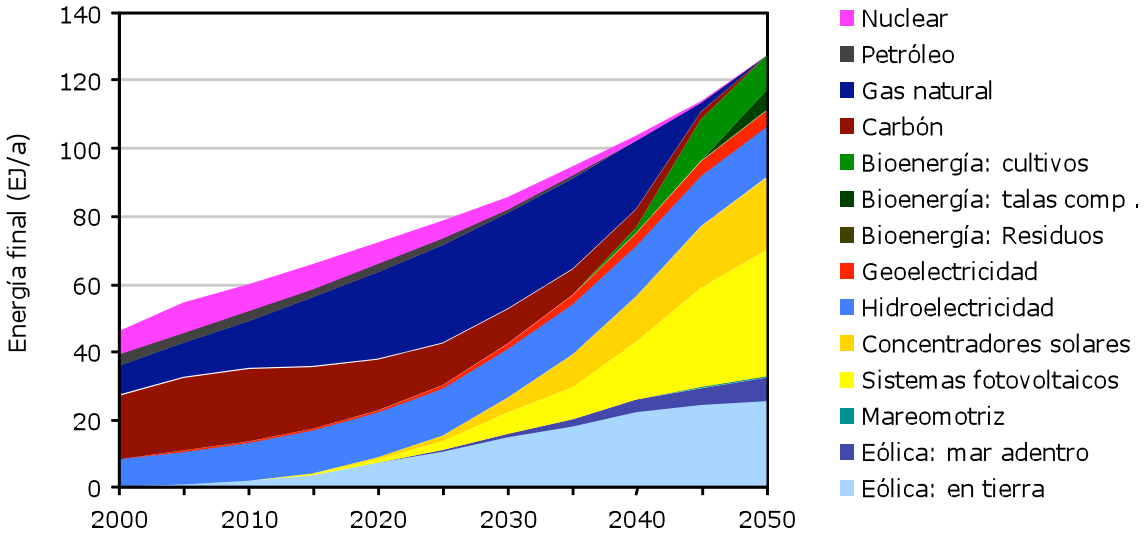
El Escenario Energético de Ecofys clasifica a la energía proveniente del sol, el viento, el agua y la geotermia como renovables, incluyendo la biomasa. Su objetivo es utilizar estas fuentes de energía para desplazar la energía procedente de fuentes convencionales tales como el carbón, petróleo, gas y energía nuclear.

Sin embargo, incluso las fuentes de energías renovables deben evaluarse cuidadosamente con respecto a su sostenibilidad y su impacto sobre el ambiente local. La Sección 5 está enteramente dedicada a la sostenibilidad de la bioenergía, pero las otras opciones también plantean preocupaciones a abordarse. El objetivo fundamental es el panorama sostenible y la planeación del desarrollo de infraestructura. Si planeamos cuidadosamente dentro del contexto local, las energías renovables pueden ser benéficas sin tener "efectos secundarios" inaceptables.

## 4.3 Resultados – Electricidad

Uno de los temas claves en el lado de la oferta de energía es la evolución del futuro sistema de oferta de electricidad.

Como observamos en la Sección 4.2, existen muchas opciones disponibles para generar electricidad a partir de energías renovables, un potencial que supera incluso la demanda futura; un "paraíso" de energías renovables. La diversidad y la abundancia de opciones de oferta de electricidad sostenible es una de las razones por las cuales se están realizando esfuerzos de lado de la demanda, mediante el uso de bombas de calor en los edificios y a través de la electrificación ambiciosa en el sector Transporte.




Gráfica 4 – 7 Oferta global de electricidad en el Escenario Energético.

La Gráfica  muestra la cantidad de la energía renovable disponible que se utiliza realmente en el Escenario, dada la evolución de la demanda de electricidad.

Cuadro 4 – 3 Historia: Fuentes de electricidad movidas por la oferta versus fuentes movidas por la demanda.

| HISTORIA | FUENTES DE ELECTRICIDAD MOVIDAS POR LA OFERTA VERSUS FUENTES MOVIDAS POR LA DEMANDA |
|---|---|

El sistema de suministro de electricidad está cambiando rápidamente. Hace sólo unas décadas este sistema constaba de plantas de generación fósiles o nucleares despachadas centralmente. Las plantas eléctricas nucleares o de carbón con alto contenido de capital con bajos costos de operación fueron empleadas para cubrir la "carga base", el nivel de electricidad siempre necesario, incluso de noche. Esto garantizaba largas horas de funcionamiento durante mucho tiempo, lo cual permitía la recuperación de las altas inversiones para estas plantas. Las plantas de gas natural que operan en el pico de la demanda, con inversiones de capital menores pero con costos más altos de funcionamiento, fueron empleadas para cubrir la carga adicional durante el día.

El sistema de oferta de electricidad se está convirtiendo en un mercado cada vez más dinámico en el cual muchos proveedores diferentes pueden suministrar cantidades variables de energía, y donde incluso partes de la demanda pueden ser controladas para llegar a un equilibrio óptimo entre oferta y demanda. La mayoría de las plantas eléctricas tendrán un potencial variable; ya no existe una "carga base". Por ejemplo, una cantidad creciente de la energía eólica está disponible prácticamente con cero costos marginales durante las horas de más alta velocidad del viento, que a veces pueden coincidir con las horas de baja demanda (en la noche). Inclusive si una planta eléctrica operando en "carga de base" encuentra a un cliente durante esos períodos, no recuperará su inversión durante esas horas, debido a los bajos precios de la electricidad (cercanos al costo marginal).

En el escenario, diferenciamos entre fuentes "movidas por la oferta", las cuales ofrecen electricidad a costo marginal cero cuando el recurso natural (sol, viento, agua) está presente y las fuentes "movidas por la demanda", las cuales pueden funcionar independientemente a niveles variables. Con la combinación correcta de las fuentes y un adecuado acoplamiento de la red eléctrica en grandes áreas geográficas, es posible suministrar con suficiente confiabilidad la cantidad requerida de electricidad en todo momento. Incrementar la fracción de fuentes "movidas por la oferta" y el equilibrio eléctrico proporcionado por las fuentes "movidas por la demanda", crea importantes desafíos técnicos y exigirá un gran esfuerzo de investigación y desarrollo.

Además del cuidadoso equilibrio de la oferta y la demanda, hay una restricción adicional sobre el sistema eléctrico en el presente Escenario: la cantidad de fuentes de energía "movidas por la oferta" [28] están

[28] Las opciones movidas por la oferta para la generación de electricidad son aquellas fuentes cuya generación en cierta hora del día depende de la disponibilidad de la fuente energética, por ejemplo, energía eólica, electricidad fotovoltaica y energía mareomotriz. Las

restringidas a un tope, dado en un porcentaje de la demanda total de electricidad, para reflejar que el equilibrio entre las fuentes "movidas por la demanda" son necesarias para garantizar una oferta continua. Véase la Tabla para la clasificación de las fuentes.

A fin de equilibrar los patrones de carga y por lo tanto permitir una participación cada vez mayor de fuentes movidas por la oferta, las redes eléctricas deben estar bien conectadas dentro de una región. Dado el estado actual de las redes eléctricas en la mayor parte del mundo, esto significará grandes inversiones en la construcción o ampliación de la capacidad regional de las redes eléctricas.

Los cuellos de botella deben eliminarse para permitir la transmisión de electricidad sin restricciones al:

- Incrementar la capacidad e
- incrementar el rango de las líneas de transmisión.

Más allá del 2020 puede haber una demanda adicional por tecnologías que puedan proporcionar una mayor estabilidad a la red eléctrica. El Escenario parte de la premisa de que los gastos de investigación y desarrollo estarán enfocados en el desarrollo de estas tecnologías (véase también la Sección 6).

Tabla 4 – 1 Clasificación de fuentes renovables de electricidad por tipo de opción: movida por la oferta o movidas por la demanda (para equilibrio).

| Fuente | Tipo[28] |
|---|---|
| Eólica tierra adentro | Movida por la oferta |
| Eólica mar adentro | Movida por la oferta |
| Mareomotriz | Movida por la oferta |
| Fotovoltaica | Movida por la oferta |
| Concentradores solares | Movida por la demanda |
| Geotérmica | Movida por la demanda |
| Hidroeléctrica | Movida por la demanda[29] |
| Bioelectricidad | Movida por la demanda |

Suponiendo inclusive que las acciones para la preparación de los sistemas eléctricos se llevan a cabo inmediatamente, el Escenario toma en cuenta los largos tiempos de entrega (15 a 25 años), lo cual es típico de estos grandes proyectos de infraestructura, al limitar la participación de la energía solar y la eólica en primera instancia, pero levantando gradualmente esta restricción con el tiempo.[30]

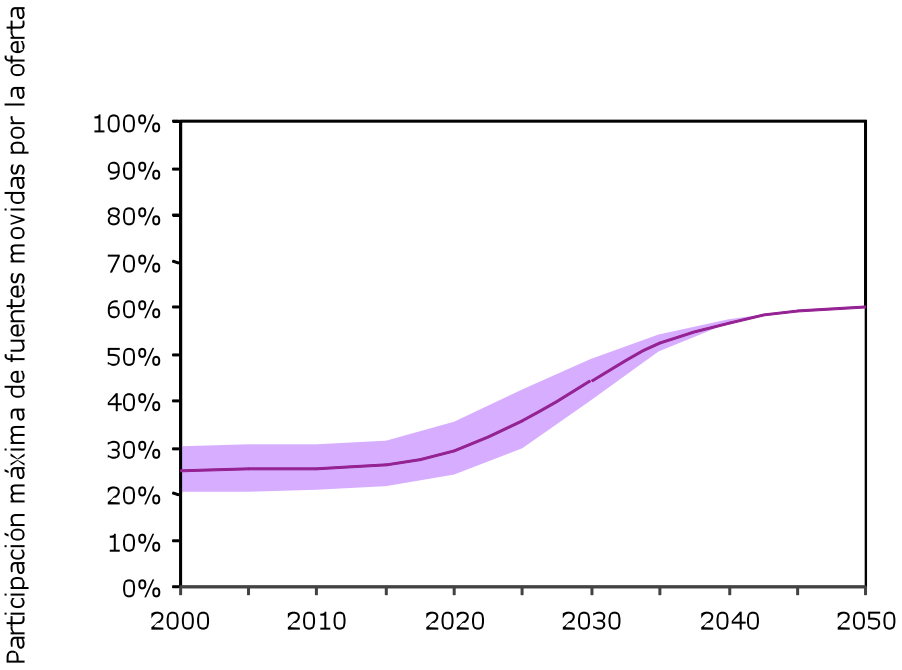
---

fuentes movidas por la demanda son aquellas opciones más fácilmente adecuadas a la demanda, tales como la energía geotérmica, la hidroeléctrica, sistemas de concentración solar con almacenamiento y electricidad a partir de biomasa.

[29] La energía hidroeléctrica es clasificada como movida por la demanda en este Escenario. No obstante, las buenas prácticas ambientales deben incluir la atención a mínimos flujos de agua.

[30] Es importante anotar que no se hacen supuestos explícitos sobre el retiro anticipado de plantas carboeléctricas a escala global. No obstante, la construcción adicional de plantas carboeléctricas en la mayoría de las regiones no es compatible con la ruta de desarrollo establecida en el presente Escenario.

La Gráfica  muestra los límites permitidos establecidos por el Escenario para la participación de electricidad proveniente de fuentes movidas por la oferta en la distribución de la red eléctrica. La premisa es que los sistemas eléctricos actuales podrían abastecer entre 20 y 30% de electricidad proveniente de fuentes movidas por la oferta, sin grandes cambios en los sistemas de infraestructura o de gestión, véase por ejemplo [Ecofys, 2010].




Gráfica 4 – 8 Restricciones impuestas a la energía fotovoltaica y la energía eólica debido a los límites de potencia de las redes eléctricas. El rango representa las diferencias en todas las regiones.

Para una mayor penetración de las energías renovables, sólo existen análisis limitados. Con base en varios estudios [Blok, 1984; Sørensen, 2004; ECF Roadmap, 2010], esperamos que esta participación pueda aumentar hasta el 60% para el año 2050 en todas las regiones, siempre y cuando los sistemas eléctricos sean rediseñados para ser más flexibles. Esto requiere del uso completo de **todos** los siguientes ejes:

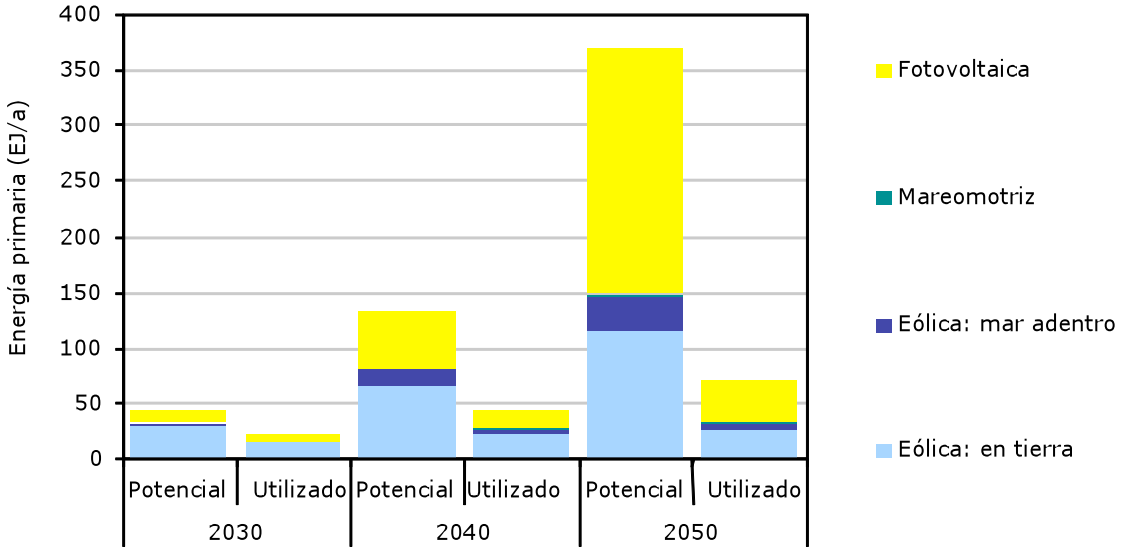
- Mejoras de capacidad en la red eléctrica para eliminar los cuellos de botella y aumentar la capacidad de transmisión.
- Administración del lado de la demanda, sobre todo para los grandes consumidores, pero también a nivel del consumidor individual.
- Almacenamiento en la forma de bombeo de hidroelectricidad;[31] almacenamiento centralizado de hidrógeno y almacenamiento de calor.

[31] La energía puede almacenarse en los embalses hidroeléctricos, por medio del equilibrio de las corrientes naturales con salidas determinadas para la generación, o a través de bombas eléctricas a la hora del relleno del embalse. Toda la infraestructura de las centrales hidroeléctricas tiene potenciales impactos ambientales y sociales. Debe prestarse atención a las corrientes de aguas abajo, toda vez que las actividades en periodo de máxima demanda pueden impactar en los hábitats naturales y en el uso humano de los ríos. A través de decisiones inteligentes para las ubicaciones, diseños y regímenes de funcionamiento, estos impactos pueden evitarse, ser minimizados, mitigados o compensados, en conformidad con los criterios existentes de sostenibilidad convenidos internacionalmente.

- Los excedentes restantes de la electricidad renovable se pueden convertir en hidrógeno para su uso como combustible en aplicaciones específicas (véase Cuadro 4 - 1).

El Escenario simplemente pone los límites mencionados anteriormente en el sistema energético, postulando la evolución de los sistemas eléctricos. El evaluar exactamente cómo esto se podría lograr, así como el papel a desempeñar del almacenamiento de energía y de los sistemas de redes inteligentes, está más allá del alcance de este estudio.

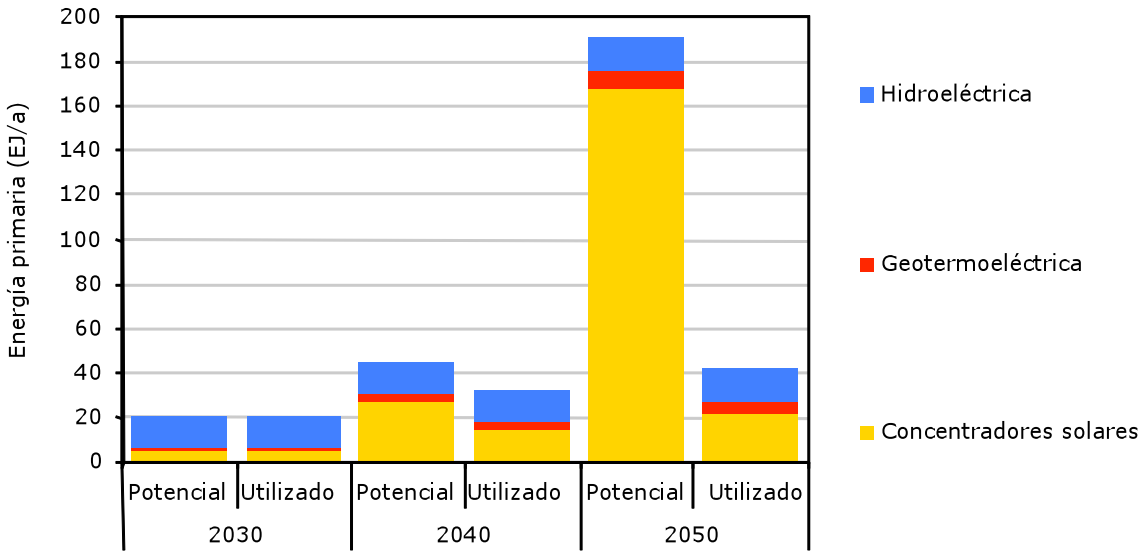
Las restricciones en la red eléctrica explican el por qué las opciones de energía renovable no se utilizan plenamente, a pesar de que el despliegue potencial supera a la demanda. La Gráfica  muestra las grandes posibilidades en las fuentes movidas por la demanda para el 2030. La razón por la cual dicho potencial no se utiliza plenamente es la restricción en la red eléctrica[32], es decir, el hecho de que nuestras redes necesitarán tiempo para la gran participación en el suministro de electricidad de las fuentes movidas por la oferta.




Gráfica 4 – 9  Potencial de despliegue total vs uso real de fuentes de electricidad movidas por la oferta.

Incluso para las opciones de fuentes motivadas por la demanda, no se aprovecha todo el potencial. Esto puede resultar sorprendente, en virtud de que sigue existiendo una brecha en la demanda, la cual es completada con bioenergía. La razón de esto es la diferenciación regional. La Gráfica , por ejemplo, muestra un potencial significativo para los concentradores solares en los últimos años. No obstante, dado que la mayor parte de este potencial se encuentra en regiones con una baja demanda de electricidad, no puede ser utilizado totalmente.[32]

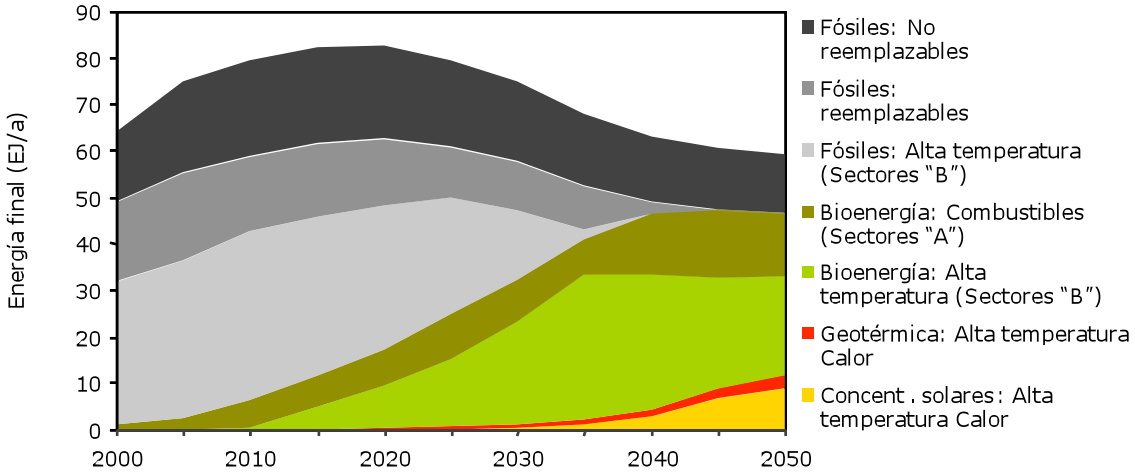
[32] Nota: El Escenario energético permite el intercambio de electricidad dentro de cada una de las diez regiones. El uso compartido entre regiones no ha sido tenido en cuenta; en realidad, esto debe utilizarse para optimizar aún más la oferta de electricidad mundial.




Gráfica 4 – 10 Potencial de despliegue global vs uso real de fuentes de electricidad movidas por la demanda (excluyendo a los bioenergéticos).

## 4.4 Resultados – Calor y combustibles para el sector industrial

Dados los potenciales de energías renovables mostrados en la Sección 4.2 (y para bioenergía – véase la Sección 5), la siguiente imagen sobre la oferta resulta de la demanda de calor y combustibles en el sector industrial (véase la gráfica 3 – 8).




Gráfica 4 – 11 División de opciones de oferta energética en el sector industrial global (sin contar la electricidad).

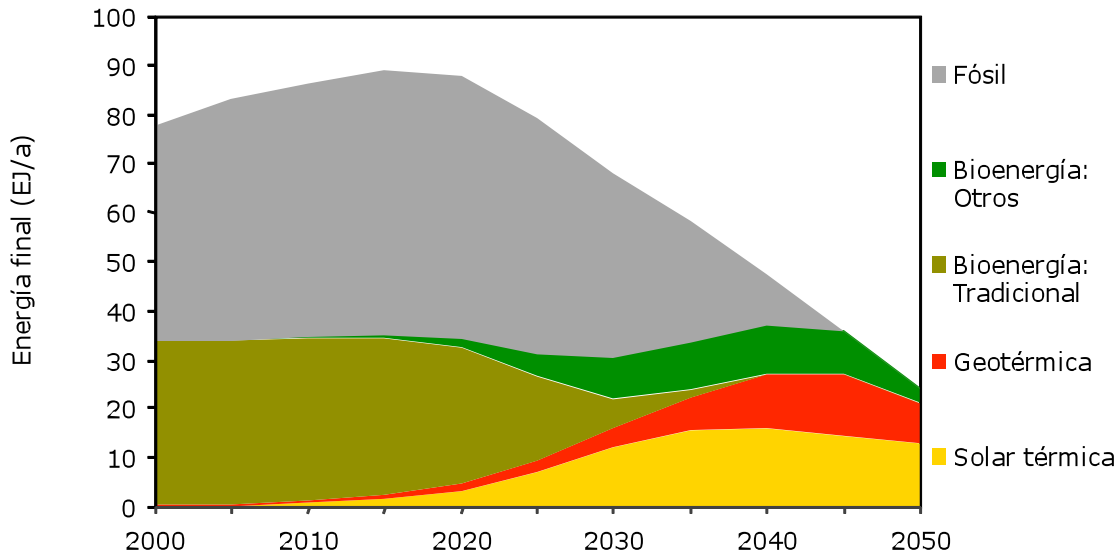
La oferta de combustibles fósiles domina en los primeros años. A medida que la bioenergía sostenible está disponible, comienza a desplazar a estos combustibles, con lo que abarca más allá de su dominio "tradicional" en el sector del papel. Para el año 2050, la bioenergía suministra casi dos tercios del combustible industrial y la demanda de calor después de que se han implementado ambiciosas medidas de eficiencia energética.

El calor directo de procesos industriales se obtiene parcialmente de la geotermia y después de 2030, de concentradores de calor solar. Una demanda residual de combustibles fósiles persiste, por ejemplo para aquellos procesos industriales basados no sólo en la energía y contenido de carbono, sino también en las propiedades mecánicas de los combustibles fósiles.

## 4.5 Resultados – Calor para edificios

Dados los potenciales de energías renovables expuestos en la Sección 4.2 (y para bioenergía– véase la Sección 5), la siguiente imagen resulta en torno a la oferta para cubrir las necesidades de calor en el sector Edificios (véase la gráfica 3 – 8).

Las medidas de eficiencia energética tanto para reconversiones ambiciosas como normas más estrictas para los edificios, dan lugar a una demanda de calor rápidamente contraída en el sector a partir de 2015. En aquellos lugares donde el calor es todavía necesario para calefacción, calentamiento de agua y para cocción de alimentos, por ejemplo, será suministrado de manera creciente a partir de opciones geotérmicas y solares. El uso actual de la biomasa tradicional será eliminado y sólo una proporción pequeña, considerada sostenible, cerca del 30% del uso actual, se utilizará en las últimas décadas. En los años finales del Escenario, incluso esta pequeña cantidad de biomasa no deberá ser necesaria debido a la existencia de otras opciones renovables y una demanda cada vez menor. [33]



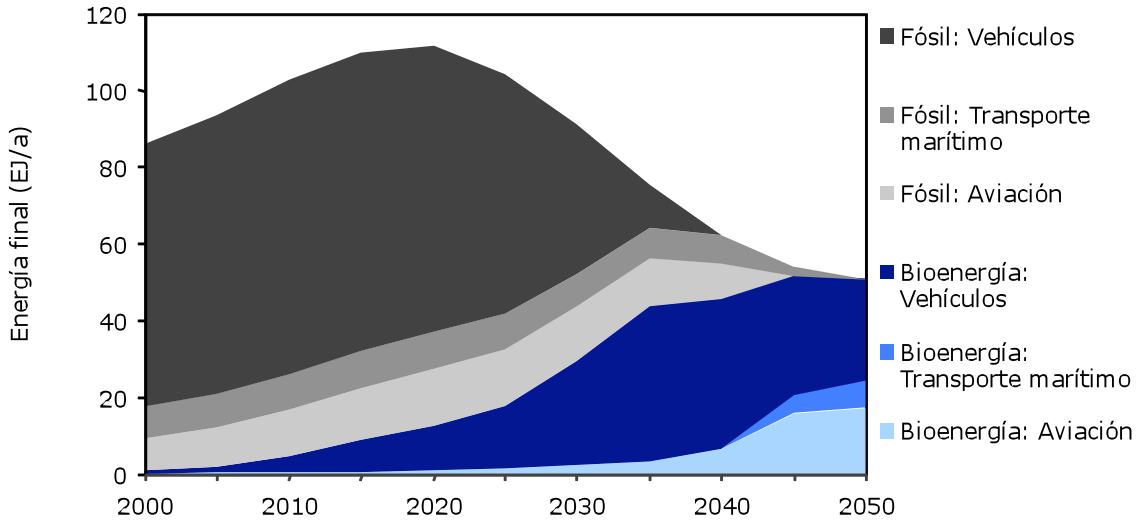

Gráfica 4 – 12 División de opciones de oferta de energía en el sector global de Edificios (sin contar la electricidad).

[33] Es importante anotar que puede haber una parte de los ~ 11 EJ de biomasa sostenible tradicional que podría utilizarse para satisfacer otras necesidades de bioenergía en los años finales cercanos al 2050. Sin embargo, y siendo que no se conoce la composición de este uso de la biomasa tradicional, hemos decidido no desviarla hacia otras rutas.

## 4.6 Resultados – Combustibles para transporte

Dados los potenciales de energías renovables expuestos en la Sección 4.2 (y para bioenergía – véase la Sección 5), la siguiente imagen de oferta resulta de la demanda de combustibles en el sector Transporte (véase la gráfica 3 – 8).

La demanda de energía seguirá creciendo durante varias décadas, pero su crecimiento se desacelerará debido a la electrificación y los cambios modales. Alrededor del 2020, la demanda en general comenzará a disminuir, cayendo muy por debajo de los niveles de 2000 para el año 2050. La adopción de los biocombustibles para el transporte de vehículos se acelerará con la maduración de muchas nuevas tecnologías de conversión, las cuales proporcionarán biocombustibles para una amplia gama de usos finales, incluyendo combustible para aviación. Para el año 2050, todos los combustibles de transporte restantes se obtendrán en su totalidad de la bioenergía y las fuentes de energía fósil se eliminarán totalmente.




Gráfica 4 – 13 División de las opciones de oferta de energía en el sector global del Transporte (sin contar a la electricidad).

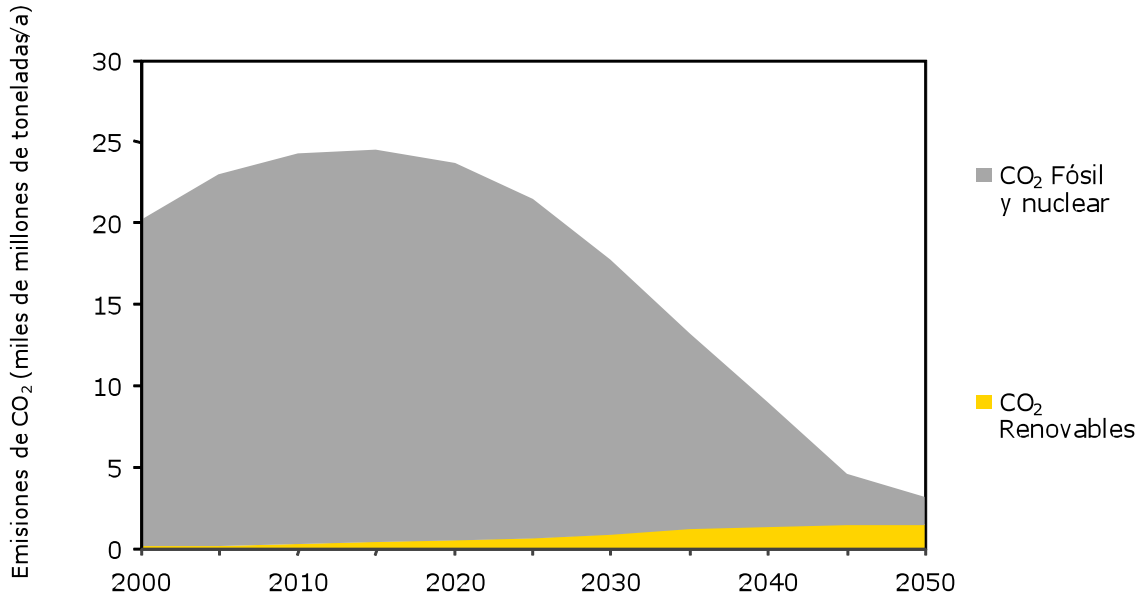
## 4.7 Emisiones de GEI

Aun cuando el Escenario energético se centra principalmente en el logro de un sistema energético sostenible, también puede ser de interés el examinar el perfil de las emisiones resultantes con ese nuevo sistema energético. A continuación incluimos un análisis básico de las emisiones que podrían producirse en el sistema energético en el Escenario. Se hace uso de los factores de emisión estándar para portadores de energía fósil y factores de análisis de ciclo de vida obtenidos de la literatura. Así como nuestro propio análisis para todas las fuentes de bioenergía. [IPCC, 2006]

Se espera que las fuentes de energía eólica, solar, hidroeléctrica y geotérmica tengan cero emisiones con la excepción de las centrales hidroeléctricas a las cuales se atribuye un factor de emisión alto de ~10 toneladas de $CO_2$ / GWh. [Gagnon, 1997].

La Gráfica  demuestra la evolución total de las emisiones por energía del Escenario energético en $CO_2$ equivalente[34] dado el supuesto anterior. Esta gráfica incluye las emisiones a lo largo del ciclo de vida de la producción de bioenergéticos (véase la Sección 5.9) y de las centrales hidroeléctricas (con la etiqueta "$CO_2$ Renovables").

En los primero años, las emisiones siguen claramente la evolución de la oferta y demanda de energía (véase la gráfica 4 – 2). Sin embargo, en los últimos años, el desplazamiento de opciones energéticas intensivas en emisiones por opciones de bajas o nulas emisiones conduce a una rápida contracción de las emisiones globales.
En total, el Escenario energético sería testigo de la reducción de aproximadamente ~900 mil millones de toneladas de $CO_2$ equivalente entre los años 2000 y 2050.




Gráfica 4 – 14 Emisiones globales de CO2 equivalente como resultado del sistema energético expuesto en el Escenario.

De manera general., el Escenario Energético llevaría a una disminución de ~80% en las emisiones relacionadas con el uso de energía contra los niveles de 1990 en el año 2050.[35,36]

[34] Las emisiones mostradas están en $CO_2$ equivalente. Sin embargo y dado que esto refiere a emisiones exclusivamente del sistema energético, la mayor parte de las emisiones son en $CO_2$. Una porción muy pequeña de las emisiones proviene del $NO_x$ y $CH_4$ las cuales han sido convertidas en $CO_2$ equivalente para elaborar cifras agregadas.

[35] Son emisiones "brutas". Al corregirlas por el hecho de una participación mayor de las emisiones restantes provenientes de la aviación, esto reduce la cifra de mitigación a un ~70% debido al impacto de la aviación a grandes alturas.

[36] La reducción de emisiones podría ser aun mayor, si las emisiones asociadas a las centrales hidroeléctricas pudiesen ser reducidas. El factor de emisión para las centrales hidroeléctricas fue escogido de acuerdo con las tasas contenidas en el presente documento. No obstante, las opciones de centrales hidroeléctricas más pequeñas, podría esperarse que tuviesen menores emisiones.

## Captura y secuestro de carbono

La aplicación de la captura y secuestro de carbono (CCS, por sus siglas en inglés) podría llevar, en los últimos años, a una disminución mayor de las emisiones del sector industrial y el uso de combustibles fósiles y biomasa para la generación de electricidad.
Sin embargo, el empleo de la captura y secuestro de carbono para la mayoría de las emisiones en el presente Escenario no es muy atractivo, principalmente porque llega a su etapa de maduración demasiado tarde, entre 2025–2030. En el momento en que la captura y secuestro de carbono pueda ser implementada en gran escala, el uso de combustibles fósiles habrá disminuido fuertemente. Por lo cual, las inversiones en los mismos no obtendrán el rendimiento requerido.

En el contexto del presente Escenario, sería más lógico enfocarse en:

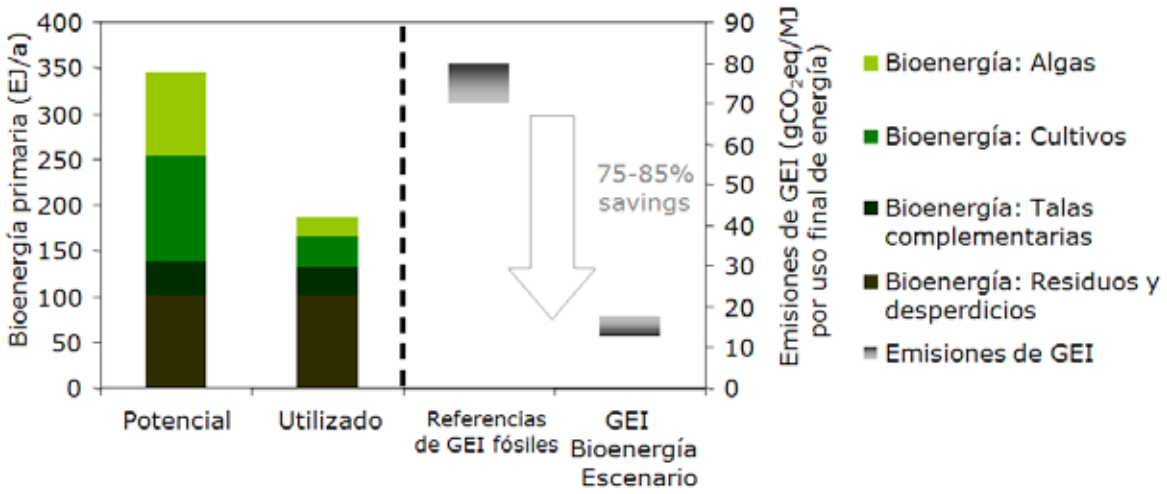
- Opciones para reducir o reemplazar el 5% de uso de combustibles fósiles que aun persiste después de 2050.
- Opciones para reducir las emisiones de $CO_2$ por la combustión de biomasa.
- Opciones para reducir las emisiones de $CO_2$ por el uso industrial de la biomasa.
- Opciones para reducir las emisiones de $CO_2$ resultantes del ciclo de vida de la producción de biocombustibles.
- Los sistemas de captura y secuestro de carbono para combustibles fósiles, pero que sean adaptables para una conversión posterior a bioenergía con captura y secuestro de carbono.

# 5 Oferta – Bioenergía sostenible

## 5.1 Resumen: Atendiendo la demanda con bioenergía sostenible

El Escenario incorpora una parte significativa de la oferta de bioenergía sostenible para satisfacer la demanda restante después de utilizar otras opciones de energía renovable. El Escenario sólo incluye la oferta de bioenergía considerada sostenible y que conduce a la reducción significativa de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles.[37]

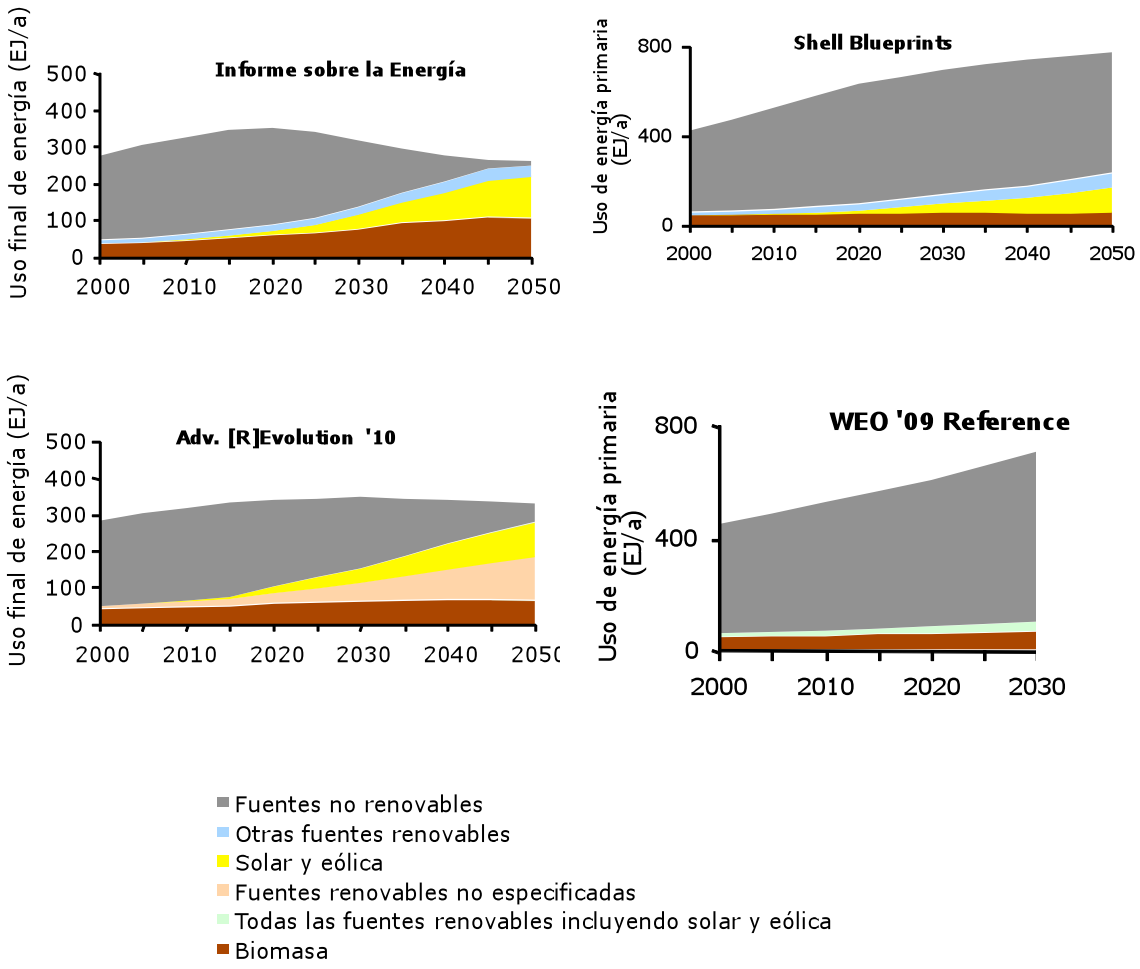
La Gráfica 5 – 1 muestra que el escenario es capaz de satisfacer la demanda con la bioenergía dentro de su potencial sostenible y al mismo tiempo lograr altas reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero.




Gráfica 5 – 1 Panorama general en el 2050 del uso de bioenergía sostenible en el Escenario vs potencial de sostenibilidad y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la bioenergía sostenible vs las referencias de combustibles fósiles.

Es importante comprender que, en comparación con otros estudios [Greenpeace, 2010; Shell, 2008; OECD/IEA, 2009] el Escenario Energético utiliza una cantidad relativamente grande de bioenergía, lo cual se muestra en la Gráfica .

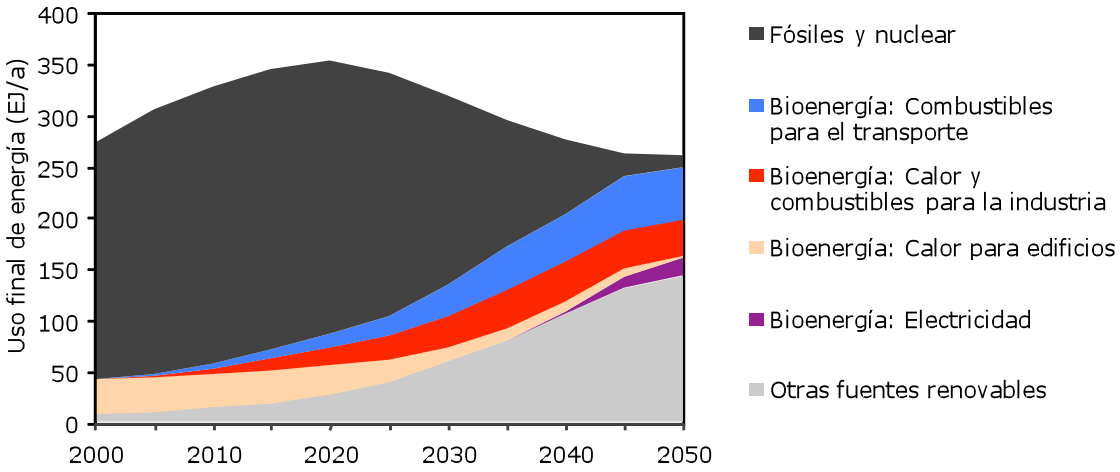
[37] El enfoque del Escenario respecto de la sostenibilidad de la bioenergía se describe en la Sección 5.2 y se detalla más profundamente en las Secciones 5.3 a la 5.7. Las reducciones en términos de emisiones de gases de efecto invernadero se presentan en la Sección 5.9.




Gráfica 5 – 2 Panorama de la participación de las energías renovables en el Escenario Energético y otros estudios. Los números absolutos no pueden ser comparados entre las dos gráficas de la izquierda y las dos de la derecha, dado que expresan uso de energía final y uso de energía primaria, respectivamente.

El motivo predominante para esta gran participación de la bioenergía es que el Escenario tiene una cuota de energía renovable total significativamente mayor en su oferta de energía con respecto a los otros estudios, llegando a 95% en 2050. Al intentar alcanzar una participación tan alta de la energía renovable, la búsqueda de una oferta de combustible y calor con fuentes renovables es el mayor desafío.

Por lo tanto, en el Escenario la bioenergía es principalmente usada para suministrar combustible al transporte, combustible industrial y calor, es decir, para satisfacer las demandas de energía que no pueden cubrirse a través de la electricidad renovable u otras aplicaciones de calor renovable. Sólo cantidades muy pequeñas de bioenergía se utilizan para la producción de electricidad, en el caso donde no exista suficiente capacidad movida por la demanda de otras fuentes (véase Gráfica 5 – 3). A medida que la demanda global se estabilice durante los últimos 10 años del horizonte de tiempo planteado, la bioenergía también se estabilizará.




Gráfica 5 – 3 Uso global de bioenergía vs Otras fuentes de energía renovable y no renovable.

Los principales tipos de demanda cubiertos por la bioenergía incluyen:

- ***Combustibles para el transporte donde la densidad de almacenamiento es normalmente un factor crucial, especialmente en***:
    - Transporte carretero a largas distancias
    - Aviación
    - Transporte marítimo
- ***Combustibles industriales donde el calentamiento eléctrico o solar es insuficiente, particularmente en***:
    - Aplicaciones que requieren temperaturas muy altas
    - Aplicaciones que requieren un portador de energía específico, por ejemplo, un combustible sólido o gaseoso. Un ejemplo está dado por la industria del acero donde el proceso requiere de la dureza estructural de un combustible sólido.

Como esta demanda normalmente puede satisfacerse sólo a través de una opción de oferta de bioenergía, el aporte de la oferta necesario en el Escenario es grande. Por lo tanto en los primeros años del horizonte de tiempo del Escenario se utiliza el potencial de bioenergía sostenible completo. Sin embargo, hacia el 2050 y del mismo modo que con las otras opciones de renovables del Escenario, este potencial de bioenergía ya no es necesario y la oferta de posibilidades está disponible, como se muestra en la Gráfica 5 – 1. Las posibilidades en la categoría de cultivos significan que no todas las hectáreas de tierra con potencial identificado como sostenibles se utilizan para el cultivo de la bioenergía.

Cuadro 5 - 1 Posibilidad: Materiales a partir de biomasa.

| POSIBILIDAD | MATERIALES A PARTIR DE BIOMASA |
|---|---|

En la actualidad, los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural y carbón no se utilizan únicamente para suministrar energía: estas fuentes también se utilizan como materia prima para producir materiales como plásticos. Estos materiales también podrían ser producidos con materias primas de la biomasa, como la madera, el biogás y los aceites vegetales. Por lo tanto, podría haber una competencia por la biomasa entre los fabricantes de materiales y el sector energético.

Dado que el uso de materias primas de materiales ocurre fuera del sistema energético, este tema está más allá del alcance del Escenario. Una excepción sería la evaluación del potencial para la silvicultura sostenible para fines de bioenergía propuesta en la Sección 5.5. En esta evaluación, la demanda actual y futura de madera en rollo industrial, utilizada en el sector de la construcción y la industria de pulpa y papel, fue tomada en cuenta.

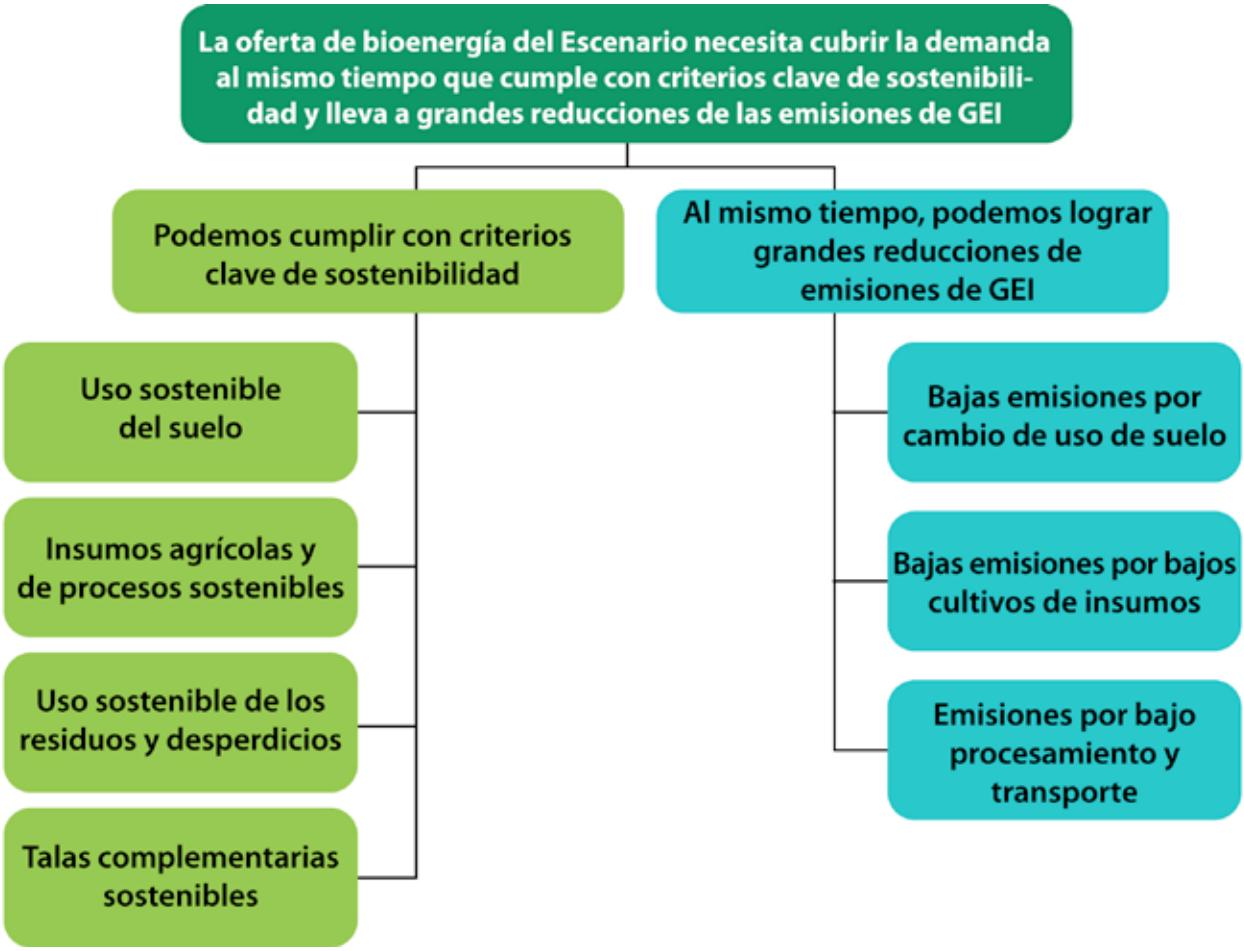
Aun cuando el suministro de materias primas queda fuera del alcance del Escenario, hemos hecho una evaluación de la medida en que esto puede influir en el sistema energético. Datos de la IEA [saldos de AIE, 2008] muestran que en 2006, un total de 490 Mtoe o 21 EJ de petróleo primario (productos), gas natural y carbón se utilizaron como materia prima petroquímica. Esto corresponde al 9% del uso total de estos combustibles fósiles. Extrapolando esto hacia el 2050 y usando los estimados de crecimiento de la población y el crecimiento del PIB del Escenario, da como resultado una estimación para 2050 de 66 EJ de utilización de materia prima. Como esta estimación no incluye los beneficios futuros potenciales en la eficiencia de los materiales y el reciclado, puede ser una sobreestimación.

En la gráfica 5 – 1 se puede observar que esta demanda de EJ 66 por materias primas podría ser cubierta por el potencial de biomasa sostenible en el 2050, además de la biomasa necesaria para propósitos de la bioenergía. Además, los materiales basados en la biomasa pueden utilizarse en un enfoque en cascada; después de la vida útil del producto se pueden utilizar como fuente de energía, por ejemplo, para la combustión. Este enfoque integra el uso de recursos de la biomasa para materiales y para energía en lugar de que estos usos estén compitiendo.

## 5.2 Sostenibilidad de la bioenergía: Enfoque para asegurar la sostenibilidad

La oferta de bioenergía debe provocar grandes reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, a fin de que el Escenario Energético sea sostenible. El Escenario se asegura de ello al considerar un amplio enfoque conceptual respecto de la sostenibilidad de la bioenergía, el cual se muestra en la gráfica 5 – 4.

Una descripción más detallada se presenta de la Sección 5.3 a la 5.9.




Gráfica 5 – 4 Enfoque conceptual utilizado en el Escenario Energético respecto de la sostenibilidad de la bioenergía.

Desde el punto de vista conceptual de la gráfica 5 – 4, hemos derivado un conjunto de criterios de sostenibilidad para evaluar el potencial de bioenergía sostenible a partir de los residuos, desperdicios, talas complementarias, cultivos bioenergéticos y algas.

Estos criterios se muestran en la Tabla 5 - 1.

Tabla 5 - 1 Criterios de sostenibilidad aplicados a la bioenergía.

| Tema | Subtema | Criterios para asegurar el cumplimiento de la sostenibilidad |
|---|---|---|
| Uso de suelo y seguridad alimentaria | Uso de suelo actual | • Exclusión de la conversión de tierras de cultivo, agrícola, bosques y áreas protegidas actuales. |
| | Uso agrícola del agua | • Exclusión de áreas no propicias para la agricultura de temporal. |
| | Protección a la biodiversidad | • Parcialmente contenido en los criterios de uso de suelo actuales.<br>• Exclusión adicional de tierras con alto valor en términos de biodiversidad. |
| | Desarrollo humano | • Parcialmente contenido en los criterios de uso de suelo actuales.<br>• Exclusión adicional de tierras para desarrollo humano. |
| | Seguridad alimentaria | • Parcialmente contenido en los criterios de uso de suelo actuales<br>• Exclusión adicional de tierras para satisfacer la demanda de alimentos. |
| Insumos agrícolas y de procesamiento | Procesamiento del uso de agua | • Procesamiento de agua tipo “closed loop” en la producción de biocombustibles. |
| | Uso de fertilizantes agrícolas | • Producción de Fertilizante N a partir de energía e insumos sostenibles.<br>• Uso de fertilizantes P y K fertiliser: enfoque tipo “closed loop”. |
| Talas complementarias | Uso sostenible del crecimiento adicional del bosque | • Exclusión de áreas forestales protegidas, inaccesibles o vírgenes.<br>• Exclusión de especies no comerciales.<br>• Exclusión de la madera necesaria para propósitos industriales. |
| | Uso de la participación sostenible de biomasa tradicional | • Exclusión del 70% de la biomasa tradicional actualmente utilizada. |
| Residuos y desperdicios | Disponibilidad de residuos | • Exclusión de residuos que no sean fácilmente disponibles. |
| | Uso sostenible de los desperdicios | • Reciclaje adicional.<br>• Exclusión de residuos provenientes de fuentes no renovables. |

Cuadro 5 – 2 Caso de estudio: Uso de suelo sostenible al integrar caña de azúcar y ganado.

| CASO DE ESTUDIO | USO DE SUELO SOSTENIBLE AL INTEGRAR CAÑA DE AZÚCAR Y GANADO |
|---|---|

Necesitamos la tierra para diferentes usos: para proporcionar alimentos, fibras, vivienda y energía y para la conservación de la naturaleza y su biodiversidad. Como la cantidad disponible de tierra es limitada, es importante dar cabida a estas crecientes demandas de manera sostenible.

Una forma para aumentar la productividad de la tierra es la introducción de los sistemas mixtos agrícolas-ganaderos. Un ejemplo de este sistema es la integración de la caña de azúcar y el ganado [Sparovek, 2007]. Este concepto se utiliza en la región brasileña Ribeirão Preto.

Esta tierra fue utilizada previamente para la cría de ganado, ahora también se utiliza parcialmente para el cultivo de caña de azúcar. La caña de azúcar se procesa para producir etanol. Los residuos procedentes de este procesamiento se utilizan como alimento complementario para el ganado. Dado que ahora hay una fuente de alimento para el ganado, se requieren menos pastizales para alimentar a la misma población de ganado, dejando libre la tierra para el cultivo de la caña de azúcar.

Los resultados muestran que, con este método, la misma tierra para alimentar cierto número de ganado sirve producir etanol a partir de caña de azúcar. Además, se ha mejorado los ingresos de los agricultores locales. El bienestar de los animales no es puesto en peligro debido a que la intensidad de ganado es aún muy baja.

En conjunto, cubren los siguientes temas de sostenibilidad que reflejan lo encontrado en la parte izquierda de la gráfica 5 – 4.

- ***Uso de suelo y seguridad alimentaria*** *(*Sección *5.3)***:** Hemos excluido tierra en ciertos casos para garantizar la protección de la biodiversidad, de sumideros de carbono forestal, del desarrollo humano y de la demanda de alimentos. Además, hemos incluido sólo tierra apta para la agricultura de temporal en nuestro potencial de tierra de cultivo para bioenergía.

- ***Insumos agrícolas y de procesamiento*** *(Sección 5.4)***:** Hemos restringido los cultivos de bioenergía a las tierras de agricultura de temporal. Este es un criterio importante de sostenibilidad para insumos agrícolas tan importantes como el agua. Además, utilizamos un enfoque tipo “closed loop” para el agua en el procesamiento de biomasa en plantas de biocombustible, con el fin de garantizar la sostenible en su procesamiento. Los insumos para fertilizantes agrícolas también tienen que ser tan bajos como sea posible mediante el uso de la agricultura de precisión y un enfoque tipo “closed loop” cuando esto sea posible. Por último, todos los fertilizantes de nitrógeno se producen a partir de materias primas y energía sostenible.

- ***Talas complementarias*** (*Sección 5.5)* Hemos incluido talas complementarias procedentes solamente de una explotación sostenible de la madera. Su primera fuente es el crecimiento de bosque adicional. Para que esta explotación sea sostenible, se incluyen especies sólo comerciales en los bosques que son accesibles, desprotegidos y ya perturbados. La segunda fuente es una parte del uso actual de la biomasa tradicional. Para garantizar su sostenibilidad, la mayoría de esta biomasa tradicional es eliminada y no se utiliza en el presente Escenario.

- ***Residuos y desperdicios*** *(Sección 5.6)* Hemos incluido sólo residuos y desechos procedentes de fuentes renovables. Los residuos no están disponibles, por ejemplo los competidores con muchos otros distintos usos, no se han tomado en cuenta.

Estos criterios y su aplicación en el Escenario son discutidos con mayor detalle de la Sección 5.3 a la 5.6. En tanto que la Sección 5.9 discute como esto puede afectar las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero logradas por el uso de bioenergía en el presente Escenario.

## 5.3 Sostenibilidad de la bioenergía: uso de suelo y seguridad alimentaria

El escenario explícitamente prioriza un número de usos de suelo sobre el uso de suelo para el cultivo de la bioenergía. Además, el escenario restringe los cultivos de bioenergía a tierras apropiadas para el cultivo de temporal, a fin de que los cultivos bioenergéticos no requieran el riego[38] como insumo agrícola.

Por lo tanto, los siguientes tipos de tierras no se consideran para cultivos de bioenergía en el Escenario Energético:

- Tierras utilizadas para el suministro de alimentos y fibra, teniendo en cuenta el crecimiento de la población futura y un escenario en el que la dieta humana cambie (menos carne).

- Tierras utilizadas para la protección de la biodiversidad y ecosistemas forestales que son grandes sumideros de carbono.

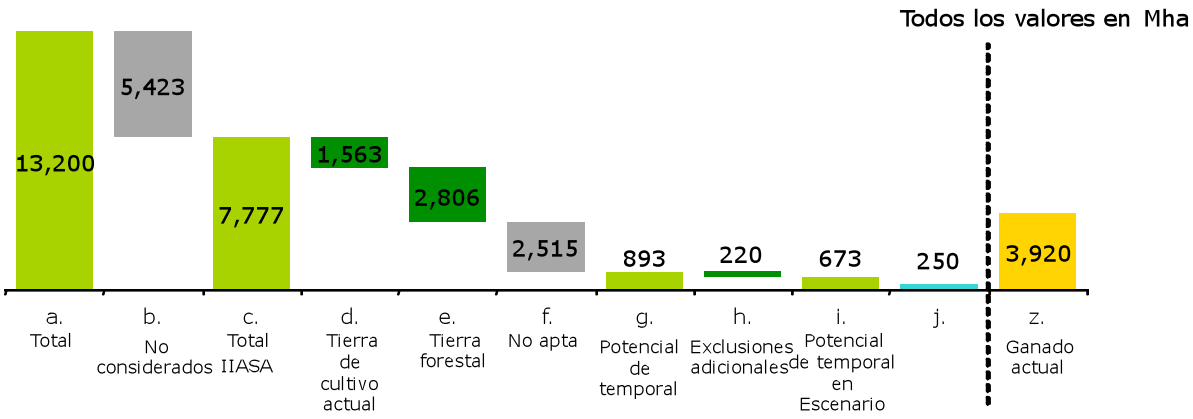
- Tierras aprovechadas para el desarrollo humano al expandir los espacios de vivienda.

- Tierras poco o nada aptas para la agricultura de temporal de cultivos bioenergéticos.

Se realizó una evaluación del potencial de la tierra para el cultivo de temporal de cultivos bioenergéticos basado en esta priorización de uso de suelo. La Gráfica 5 – 5 muestra los resultados de dicha evaluación. Reconocemos que un ordenamiento territorial sustancial es necesario para el uso de suelo directo de la manera correcta. Este tema se trata más adelante en la Sección 7.2.3.

[38] Reconocemos que el agua usada para la agricultura es un tema complejo. Por un lado el uso intensivo de la irrigación puede conducir a la escasez de agua dulce (local y regional). Por otra parte, el riego es un medio para alcanzar el potencial de producción de la tierra, lo que reduce la necesidad de nuevas tierras agrícolas. Por lo tanto, hemos optado por un plan de cultivos bioenergéticos en tierras aptas para la agricultura de temporal. Esto conduce a un rendimiento satisfactorio sin necesidad de uso de agua adicional. Las prácticas relacionadas las cuales aumentan la producción, tales como el almacenamiento temporal de agua de lluvia para aplicarlo a la tierra más tarde, pueden utilizarse en casos donde no conduzcan a efectos perjudiciales en el ecosistema (local y regional) y el suministro de agua.

La evaluación estuvo basada en un reciente estudio de la IIASA [Fischer, 2009]. La Sección 2.7 de ese reporte proporciona una evaluación del potencial de producción para diferentes tipos de cultivos bioenergéticos. Aprovechamos la información fuente de dicho estudio y análisis adicionales de Ecofys para elaborar la evaluación para el Escenario Energético utilizando el enfoque progresivo que se refleja en la gráfica 5 – 5 y descrito en detalle en el siguiente texto.




a. Superficie de suelo total global (excluyendo a la Antártida)
b. Excluidos: tierras protegidas, tierras estériles, áreas urbanas, cuerpos de agua
c. Tierra total considerada en el estudio de la IIASA
d. Excluidas: tierras de cultivo agrícola actuales
e. Excluida: tierra forestal sin protección
f. Excluida: tierra no apta para la agricultura de temporal
g. Potencial para agricultura de temporal
h. Excluida: tierras adicionales para la protección de la biodiversidad, desarrollo humano, demanda de alimentos
i. Potencial para cultivos energéticos del Escenario
j. Uso de suelo para cultivos energéticos del Escenario
z. Tierras usadas actualmente para criar ganado (solo para referencia; se traslapa con otras categorías)

Gráfica 5 – 5 Resultados de la evaluación realizada para el Escenario Energético sobre potencial de uso de suelo para el cultivo energético de temporal.

1. Punto de inicio: la masa total de tierra disponible con excepción de la Antártida es de 13,200 Mha (millones de hectáreas).

2. Exclusión de todas las tierras protegidas actuales, tierra estéril, suelo urbano y cuerpos de agua interiores no pueden utilizarse para la agricultura. De acuerdo con los datos de la IIASA, esto totaliza 5,423 Mha.

3. Exclusión de tierras de cultivo agrícola actuales para salvaguardar la producción actual de alimentos. De acuerdo con los datos de la IIASA, esto un total de 1,563 Mha. Véase también la gráfica 5 – 8.

4. Exclusión de la conversión de todas las tierras forestales actualmente sin protección para proteger la biodiversidad forestal y las reservas forestales de carbono. De acuerdo con los datos de la IIASA, es un total de 2,806 Mha. Véase también la Gráfica 5 – 8.

5. Exclusión de todas las tierras que son poco o no aptas para la agricultura de temporal, para asegurar que los cultivos bioenergéticos sean de temporal. De acuerdo con los datos de la IIASA, esto totaliza 2,515 Mha. Véase también la gráfica 5 – 9.

6. Exclusión de tierras adicionales para cubrir las futuras necesidades de protección de la biodiversidad, el desarrollo humano y la demanda de alimentos. Esto se realiza con base en el análisis de literatura de Ecofys y es tratado con más detalle de la gráfica 5 - 10 a la gráfica 5 – 13. Estas tierras totalizan 220 Mha.

Con base en esta evaluación, se calculó un potencial sostenible de tierra total de 673 Mha para los cultivos bioenergéticos de temporal en el Escenario Energético. Los detalles de esta evaluación se explican más detalladamente de las Sección 5.3.1 a 5.3.5.

El potencial evaluado se encuentra en praderas y bosques no densamente cubiertos de vegetación. La mayoría de estos tipos de suelo se utiliza actualmente como tierras de pastos de baja intensidad para el ganado. Estos pueden quedar disponibles para otros fines a través de una combinación consistente en limitar la futura demanda de productos animales y la intensificación de los sistemas ganaderos con una muy baja intensidad actual. Esto se describe con mayor detalle en la Sección 5.3.5 y el Cuadro 5 - 1. Adicionalmente, el Cuadro 5 - 1 proporciona información sobre la cantidad total de tierras utilizadas actualmente para criar ganado, las cuales totalizan unas 3,920 Mha. [39]

El potencial de 673 Mha fue usado como la referencia para el Escenario Energético. Sin embargo, el Escenario no utiliza este potencial en su totalidad. El máximo uso de suelo para cultivos bioenergéticos es de 250 Mha en 2050, como se muestra en la gráfica 5 – 5.

Ambos valores, las 673 Mha de tierra disponible y las 250 Mha realmente utilizadas para el cultivo de bioenergía, están muy influenciados por las suposiciones realizadas en la construcción de este Escenario. La tierra disponible, por ejemplo, depende de la evolución de la demanda de alimentos y la productividad agrícola (véase la Sección 5.3). Las tierras aprovechadas realmente para el cultivo de la bioenergía dependen de muchos de los supuestos, en particular en el sector Transporte (véase también el Anexo D).

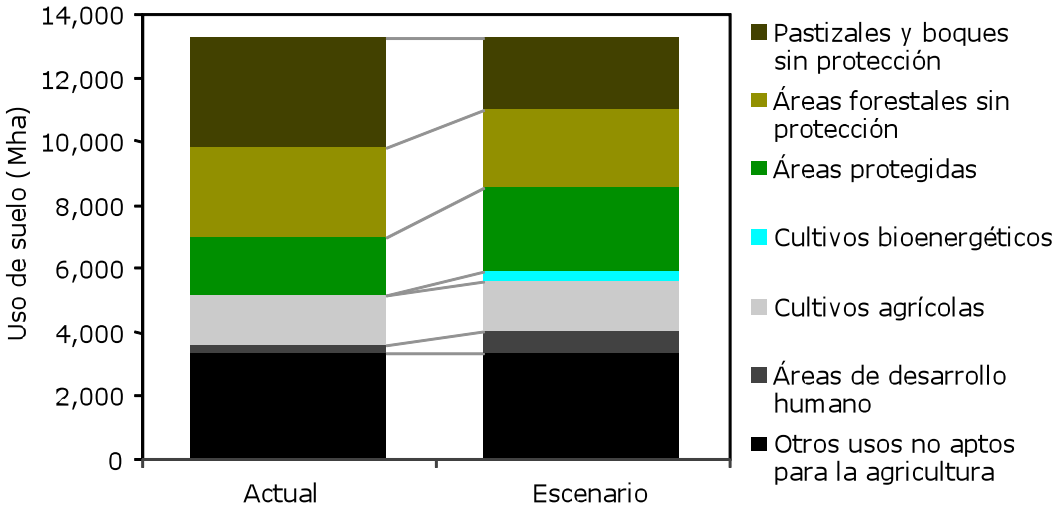
[39] Esta cifra se proporciona exclusivamente para propósitos de comparación.

Cuadro 5 – 3 Historia: Uso de suelo en el Escenario Energético.

| HISTORIA | USO DE SUELO EN EL ESCENARIO ENERGÉTICO |
|---|---|

La masa de tierra total en el mundo, con la excepción de la Antártida, abarca unas 13,200 Mha (132 millones de $km^2$). El estado o la función de estas tierras se conocen comúnmente como el "uso de suelo". Hay muchos tipos de uso de suelo. Algunos de ellos describen el uso activo por parte de los seres humanos, tales como la tierra dedicada a la agricultura y las tierras utilizadas para el desarrollo humano, como las zonas urbanas y la infraestructura de transporte. Otros usos reflejan el estado natural de la tierra, como área forestal o pastizal - y bosques.

El escenario incorpora un análisis de uso de suelo basado en siete diferentes usos. En este análisis, presentado en esta Sección y sus subsecciones, calculamos los efectos sobre el uso global del suelo, del crecimiento de la población, los cambios en los hábitos alimenticios, el uso de la bioenergía y la protección de la biodiversidad, entre otros. La Gráfica 5 – 6 muestra el uso de suelo en su situación actual y el Escenario para 2050.




Gráfica 5 – 6 Uso de suelo en el mundo con la excepción de la Antártida (total: 13,200 Mha) en su situación actual y en el Escenario Energético para 2050. El valor de 250 Mha para cultivos bioenergéticos es el valor máximo de uso de suelo establecido para estos cultivos en el Escenario.

De la Gráfica 5 - 6, es evidente que hay un aumento en los campos de cultivo de bioenergía relativamente grande en comparación con la situación actual, pero pequeño en comparación con el uso total del suelo. Una cantidad significativa de área actualmente sin protección, tanto en bosques como de pastizales, también se coloca bajo protección. Se proporcionan más detalles sobre todos los tipos de uso de suelo en esta sección y subsecciones. Reconocemos que un ordenamiento territorial sustancial es necesario. Este tema se trata más adelante en la Sección 7.2.3.

### 5.3.1 Tipos de uso de suelo actuales

Se excluyeron del Escenario las tierras que cuentan actualmente con un uso de suelo, lo cual hace los cultivos bioenergéticos imposibles o no aceptables. Los usos de suelo excluidos fueron los siguientes:

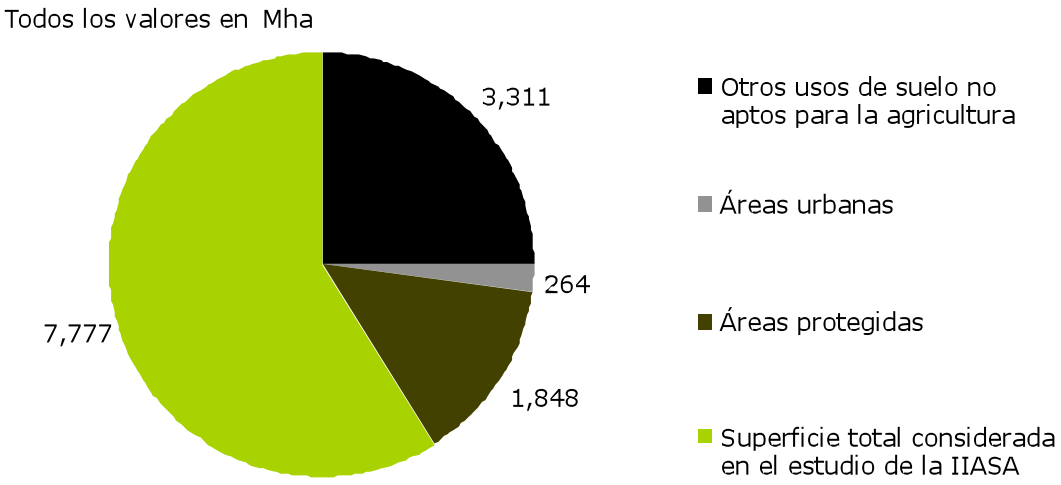
**Imposible**

Tierras áridas
Áreas urbanas
Cuerpos internos de agua

**No aceptable**

Áreas protegidas
Bosques
Cultivos agrícolas

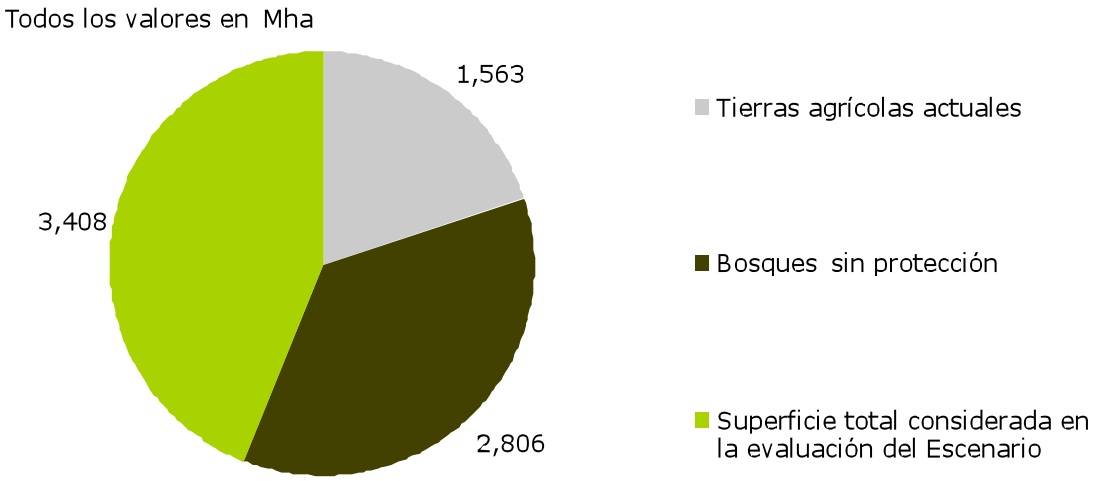
Los primeros cuatro usos de suelo en la lista anterior fueron pre-excluidos en el estudio original de la IIASA, reduciendo la superficie de suelo, como se muestra en la gráfica 5 – 7.




Gráfica 5 – 7 Usos de suelo pre-excluidos del estudio de la IIASA. "Otros usos de suelo no aptos para la agricultura" incluye a las tierras áridas y los cuerpos internos de agua.

Posteriormente, excluimos también la conversión de los bosques y tierras de cultivo actuales para salvaguardar la biodiversidad de los bosques, los sumideros de carbono y la producción alimentaria actuales.[40] La Gráfica muestra los resultados de dichas exclusiones.

[40] Salvaguardas adicionales a la biodiversidad y la seguridad alimentaria fueron consideradas en un paso posterior; véase de la Sección 5.3.3 a la 5.3.5.




Gráfica 5 – 8 Exclusiones de usos de suelo del Escenario con base en el uso agrícola y las áreas sin protección actuales.

En total, 3,408 Mha de las 13,200 Mha iníciales permanecieron después de estas exclusiones de los usos del suelo actuales.

### 5.3.2 Adecuación de tierras para la agricultura de temporal

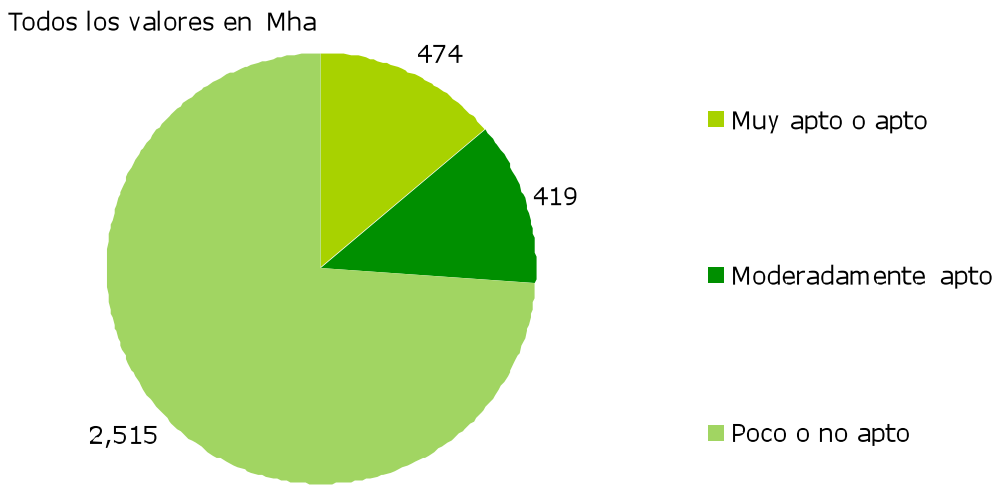
Nos aseguramos también de que ninguna aportación insostenible de agua como insumo fuera necesaria para los cultivos energéticos. Por lo tanto, se excluyeron de todas las tierras identificadas, en el estudio de la IIASA, como poco aptas o no aptas para la agricultura de temporal. La Gráfica 5 – 9 muestra los resultados de este proceso.

En total, quedaron 893 Mha de las 3,408 Mha iniciales después de estas exclusiones.

### 5.3.3 Protección de la biodiversidad

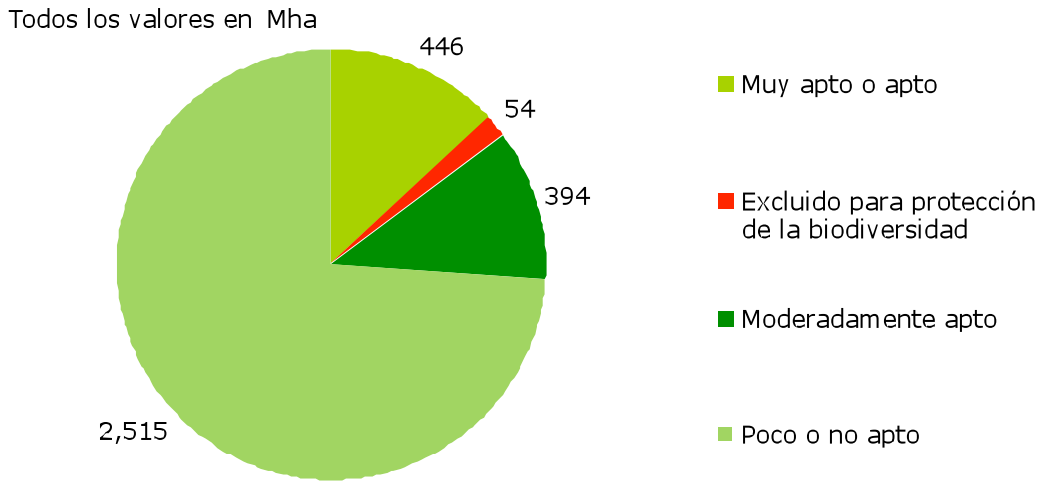
El *German Advisory Council on Global Change (WBGU)* desarrolló un estudio sobre la conservación de la biósfera [WBGU, 1999]. Una de las conclusiones de este trabajo fue que entre 10 y 20% de la masa mundial de tierras debe ser protegida con el fin de preservar las diferentes funciones de la biósfera, tales como la regulación del clima y su biodiversidad.

Las estadísticas más recientes proporcionadas por la *World Database on Protected Areas* establecen que el 14% de la superficie de tierra está actualmente bajo un regime de protección. [WDPA, 2009]




Gráfica 5 – 9 Exclusiones de uso de suelo realizadas en el Escenario con base en su adecuación para la agricultura de temporal.

Por lo tanto y con el fin de ubicarnos en el límite superior del rango presentado por el WBGU, un 6% de la masa global de tierra debería estar protegida. Aunque no se sabe donde se encuentra este 6%, asumimos en nuestros cálculos que estas exigencias también reducirán el potencial de la tierra para el cultivo de temporal de cultivos bioenergéticos en un 6%. Esta reducción es adicional a la exclusión de tierras protegidas en función de los datos de la IIASA, tal y como se presenta en la Sección 5.3.1. Estas reducciones totalizan 54 Mha y se muestran en la Gráfica 5 - 10.




Gráfica 5 – 10 Exclusiones de uso de suelo para el Escenario con base en la protección de la biodiversidad.

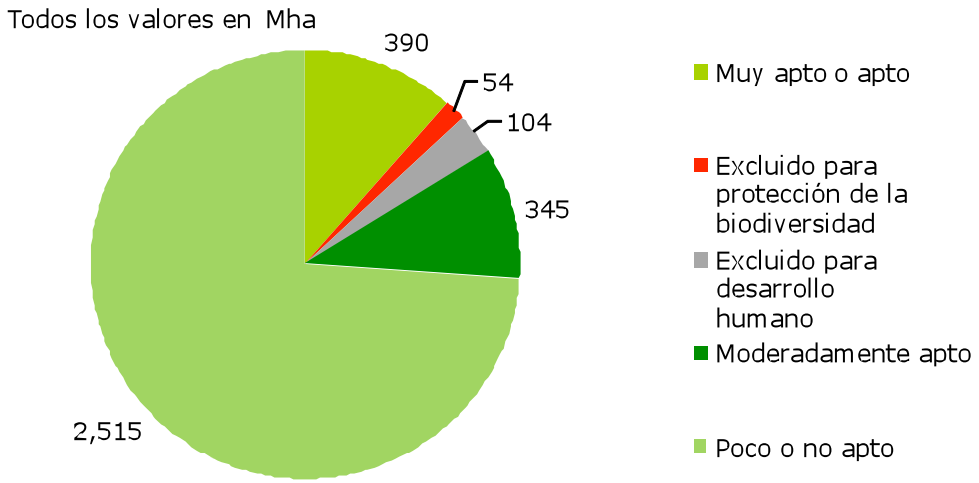
### 5.3.4 Desarrollo humano

Hoogwijk realizó un estudio sobre potenciales de fuentes de energía renovables, incluyendo una evaluación del aumento en el uso de suelo para construcción de edificios [Hoogwijk, 2004]. El uso de suelo actual por parte de los edificios se estima en 2% de la masa total del suelo a nivel global con excepción de la Antártida. Las proyecciones de las Naciones Unidas estiman que este uso de suelo será de 4% en 2030 [UNEP, 2002].

Por lo tanto, damos por sentado que el uso de suelo para los edificios aumentará desde el actual 2% a un 4% en 2030. Extrapolamos esta Gráfica, utilizando los números de crecimiento de la población empleados a lo largo del presente documento, a un uso de suelo para los edificios de 5% en el año 2050. El crecimiento del uso de suelo actual al 2050 requiere por lo tanto, excluir el 3% de la masa de tierra global, con excepción de la Antártida, para este propósito.

Posteriormente, asumimos que esta expansión se llevará a cabo en bosques y pastizales sin protección - debido a que la expansión hacia otros tipos de suelos no es posible, no es aceptable o mucho menos probable. El 3% de la masa de tierra global, con excepción de la Antártida, equivale a 12% de los bosques y pastizales sin protección. Por lo tanto, hemos reducido el suelo potencial para el cultivo de bioenergéticos de temporal en un 12% para el desarrollo humano.

Esta reducción es adicional a la exclusión de las áreas urbanas referida por los datos del estudio de la IIASA presentados en la Sección 5.3.1. Esta reducción totaliza 104 Mha, las cuales se muestran en la Gráfica 5 - 11.




Gráfica 5 – 11 Exclusiones de uso de suelo en el Escenario con base en el desarrollo humano.

### 5.3.5 Demanda alimenticia

La necesidad de tierras de cultivo agrícola para satisfacer la demanda futura de alimentos es una cuestión muy debatida. Tomamos un enfoque pragmático para evaluar si los campos de cultivo agrícola actuales son capaces de sostener el crecimiento de la demanda futura de alimentos o no. La premisa de nuestro enfoque era el

supuesto en el cual, en 2005, la oferta de alimentos de suministro igualó a la demanda[41]; Ambos fueron indexados al 100%. Posteriormente, pronosticamos su evolución para 2050 de la siguiente forma:

Extrapolamos el ***crecimiento de la demanda de alimentos*** utilizando el siguiente enfoque por pasos:

- Comenzado con los valores actuales de calorías per cápita [FAOSTAT, 2010b] de ~ 2,400 kilocalorías de vegetales per cápita y 350 y 950 kilocalorías de productos de origen animal en países no miembros de la OCDE y regiones de la OECD, respectivamente[42]. Las calorías provenientes de los productos de origen animal fueron convertidos en equivalentes de cultivo con factores de conversión basados en el consumo necesario para producirlos. La base de estos factores[43] fue el consumo de alimentos de ~ 17 kg (carne), ~2.4 kg (huevos) y ~1.7 kg (lácteos) de alimento por kg de producto de origen animal producido.

- Se calculó una dieta per cápita "business-as-usual" en el período 2005–2050 diferenciando entre la OCDE y los países no miembros de la OCDE. Esto se realiza en base a las proyecciones de dieta existente [FAO, 2006].

- Asumimos entonces que el consumo de productos de origen animal total mundial se verá limitado a un crecimiento de no más de ~ 65% entre 2005 y 2050, lo que significa que el consumo de productos de origen animal promedio per cápita (en equivalentes de cultivo) aumenta en un 10% durante el mismo periodo, habida cuenta de las proyecciones de la población.[44]

---

[41] Esto significa que no hacemos suposiciones sobre los cambios en los patrones de distribución de alimentos, cuando realizamos la prospectiva de oferta y demanda futuras. Esto no significa que deben mantenerse los actuales patrones de distribución. Claramente, hay un desequilibrio en su distribución a nivel mundial, pero este tema no formaba parte de este estudio.

[42] De los cuales ~210 (no OCDE) y ~480 (OCDE) calorías corresponden a productos de la carne y el resto son porciones diarias de huevos, pescado, etc.

[43] Para el caso de la carne, este factor se deriva de los valores de la literatura de las eficiencias de alimentación por tipo de animal [Smeets, 2008] y la distribución actual del consumo de carne por tipo de animal [FAO, 2006], lo cual es una dieta mixta de productos bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral. Para el caso del huevo, se utilizaron los valores de la literatura de [Blonk, 2008]. Para los productos lácteos, los valores de la literatura de [Smeets, 2008; Pimentel, 2003; Linn, 2006] fueron utilizados. Se supone que la alimentación tiene un contenido de energía de 19 MJ/kg de materia seca. [Smeets, 2008]

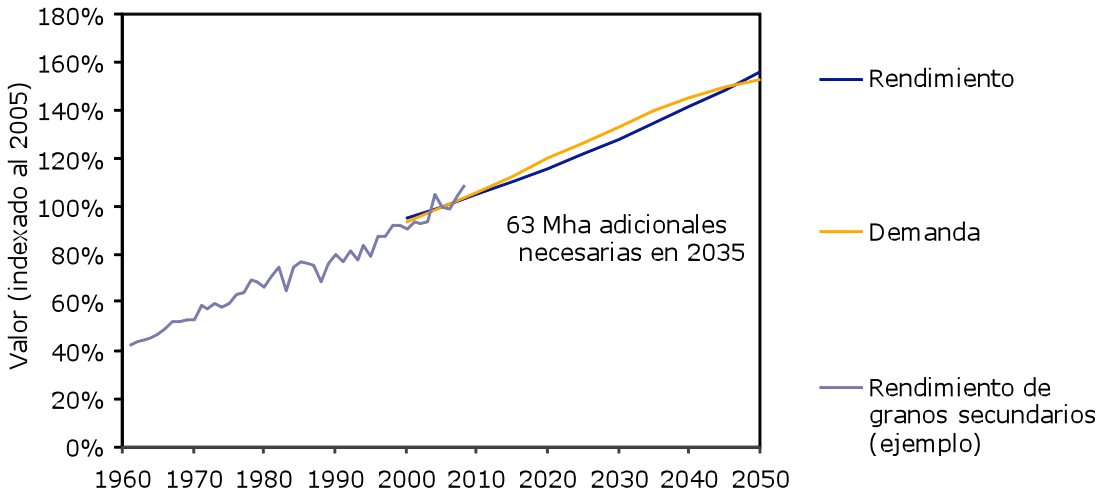
[44] Esto se puede lograr con el siguiente escenario de la dieta, que sólo debe ser considerado como un ejemplo:

- la dieta tiene la misma intensidad de carne (y huevo) en la OCDE y los países no miembros de la OCDE para el año 2050.
- Esta dieta significa una reducción de alrededor del 50% en el consumo de carne (constante en el consumo de huevo) en el año 2050 con respecto a 2005 en países de la OCDE y un crecimiento de ~ 25% en el consumo de carne (60% en el consumo de huevo) en los países no miembros de la OCDE.
- El consumo de productos lácteos se mantiene constante en las regiones de la OCDE y se duplica en las regiones no miembros de la OCDE para llegar a alrededor del 50% de la intensidad de OCDE per cápita en el año 2050.
- La ingesta de alimentos per cápita en esta dieta con restricciones de carne es de unas 2,800 kilocalorías per cápita por día en las regiones no miembros de la OCDE y 3,000 en las regiones de la OCDE. Esto significa una disminución de aproximadamente 10% en 2050 con respecto a 2005 en los países de la OCDE y un crecimiento de aproximadamente 10% en los países no miembros de la OCDE.

- A continuación, multiplicamos las dietas per cápita restringidas con cifras de crecimiento de población del Escenario para obtener un crecimiento total de la demanda de alimentos en equivalentes de cultivo. Esto fue indexado con 2005 y se presenta en la línea amarilla en la Gráfica 5 - 12.

Extrapolamos el crecimiento en ***los alimentos suministrados por las tierras de cultivo agrícola actuales*** mediante el uso de un aumento en el rendimiento de 1% al año. Este valor es un valor intermedio derivado de la revisión de una gama de proyecciones de aumento de rendimiento de 0,4 a 1,5% contenidas en la literatura [FAO, 2009; FAO, 2006; PBL, 2009; IIASTD, DE 2009; Erb, 2009]. El impacto del cambio climático en las proyecciones de rendimiento no fue considerado explícitamente en este análisis. Sin embargo, al elegir el valor intermedio de incremento del rendimiento, hemos tratado de ser moderados en nuestros supuestos.

Este aumento de rendimiento fue aplicado al valor indexado en 2005 del 100% y está representado por la línea azul de la Gráfica 5 - 12. Para mayor referencia, está gráfica también contiene el desarrollo indexado del rendimiento de cereales secundarios en los últimos 50 años, que ha sido mayor que el 1% supuesto en el Escenario Energético.




Gráfica 5 – 12 Cálculo de usos de suelo excluidos en el Escenario con base en la seguridad alimentaria global.

De la Gráfica 5 – 12 se puede observar que, bajo los supuestos del Escenario, las tierras de cultivo actuales tendrán la capacidad de cubrir la demanda completa de alimentos para el 2050. Sin embargo, en los años intermedios esto no será siempre el caso. Hemos calculado que el máximo déficit de alimentos con las tierras de cultivo actuales ocurrirá en 2035 y representará cerca del 4% de las tierras actuales de cultivo. Esto totaliza 63 Mha.

Cuadro 5 - 1 Historia: El papel de la alimentación para el ganado en el uso de suelo global.

| HISTORIA | EL PAPEL DE LA ALIMENTACIÓN PARA EL GANADO EN EL USO DE SUELO GLOBAL |
|---|---|

El uso de suelo para la alimentación del ganado es un gran contribuyente al uso de la superficie de tierras global total. En virtud de la dificultad para obtener las cifras exactas, hemos hecho una estimación utilizando datos de la literatura sobre:

- Campos de cultivo agrícola utilizados para el cultivo de alimentos para ganado [IIASA, 2009] estima en 33% de las actuales 1,563 Mha los campos de cultivo agrícola cuyo uso es para cultivos de alimento animal. Esto equivale a 520 Mha.

- Tierra utilizada como prado para pastura permanente. Según [FAOSTAT, 2010a] los datos de este uso de suelo fueron alrededor de 3,400 Mha en los últimos años.

Esto significa que aproximadamente 3,920 Mha de las 13,200 Mha o 30% de la masa de tierra global, con excepción de la Antártida, se utilizan para alimentar al ganado.
Esto demuestra que existe un gran potencial para la disponibilidad de tierras adicionales para otros propósitos cuando se reduce la demanda de uso de suelo para cultivar alimentos del ganado. El escenario incluye dos rutas para reducir esta demanda:

- ***Reducir la demanda de productos cárnicos.*** Esto se hace al limitar el consumo de carne, creando una dieta más balanceada. Mediante una reducción de alrededor del 50% en el consumo de carne por habitante en el año 2050, con respecto a 2005 en los países de la OCDE. El estipular una dieta con la misma intensidad de carne para los países no miembros de la OCDE, implicaría un crecimiento de ~ 25% en el consumo de carne en 2050 con respecto a 2005 en países no miembros de la OCDE. Más detalles sobre estos supuestos pueden encontrarse en la Sección 5.3.5.

- ***Intensificar los sistemas ganaderos de muy baja intensidad.*** Según las estimaciones anteriores, alrededor de 3,400 Mha están en uso como prado para pasturas permanentes. Estos sistemas ganaderos a menudo tienen una muy baja intensidad; sólo algunas cabezas de ganado por hectárea. Estos sistemas pueden intensificarse de manera sostenible, por ejemplo, al integrarlos con el cultivo de cosechas, sin poner en peligro el bienestar animal. De esta manera, la misma cantidad de tierra puede rendir para productos animales y productos adicionales, como cultivos alimentarios o cultivos bioenergéticos. Un ejemplo de caña de azúcar y la integración de ganado se da en el Cuadro 5 - 2.

Mediante el uso de estos dos ejes, el Escenario tiene una visión sostenible sobre la producción y el consumo de los productos animales, conduciendo a un uso sostenible de la tierra, el cual se presenta en el Cuadro 5 - 3.

Cuadro 5 - 2 Posibilidad: Modelando la oferta y demanda futuras de alimentos.

| POSIBILIDAD | MODELANDO LA OFERTA Y DEMANDA FUTURAS DE ALIMENTOS |
|---|---|

Los alimentos son el producto agrícola más importante del mundo. Casi toda la producción agrícola está dirigida a alimentar a la población mundial, directa o indirectamente por la alimentación de ganado que suministra productos de origen animal. Otros productos agrícolas, tales como las fibras para prendas de vestir, la biomasa para la generación de energía y la producción de tabaco, constituyen una proporción muy pequeña del total de la producción agrícola actual.

Por lo tanto, la modelización de la oferta y demanda de alimentos y el equilibrio entre ellas, es importante para todos los análisis sobre agricultura y uso de suelo, incluyendo el análisis de potencial de bioenergía del presente Escenario. Esto es una tarea compleja por las siguientes razones:

- Demanda: la demanda futura de alimentos depende del tamaño de la población mundial y la composición de su dieta. Esta dieta, por su parte, depende de parámetros tales como riqueza y opciones culturales. La intensidad de los productos animales en esa dieta es particularmente importante, dado que éstos requieren una gran cantidad de alimentos.
- Oferta: la futura provisión de alimentos depende de la superficie disponible y la producción por unidad de área. El desarrollo de este rendimiento es difícil de predecir porque depende de numerosos factores como resultados de I&D, la adopción de tecnologías, la educación y requisitos de sostenibilidad.
- Equilibrio entre la oferta y la demanda: el equilibrio entre la demanda y la oferta de alimentos se conoce bien. Suele decirse que la oferta actual de alimentos es adecuada para la demanda mundial en su totalidad, pero debido a los problemas de distribución existe escasez de alimentos en el mundo.[45]

La tierra disponible para cultivos de bioenergía en el Escenario Energético es fuertemente dependiente de los supuestos realizados en el análisis sobre los alimentos. Cuando es posible, hemos utilizado supuestos conservadores, con una excepción notable, al incluir una restricción en el consumo de carne y hacer un llamado a tener una dieta más sostenible. Véase la Sección 5.3.5.

[45] El Informe de la Energía Renovable no hace supuestos explícitos sobre los cambios en el sistema de distribución de alimentos. Por ende, en términos de los cálculos, suponemos que la oferta y la demanda de alimentos están ahora en equilibrio y permanecerán en equilibrio en el futuro. Este equilibrio equivale a la no hay escasez de producción de alimentos a nivel mundial para los que necesitaríamos "reservar" tierras adicionales. Y al no haber uso excesivo de tierras de cultivo que afectase la producción de alimentos. Esto no significa que la escasez local o la sobreoferta no existen, sino simplemente el Escenario no hace ningún supuesto. La reducción de residuos en el sector agrícola y de alimentos puede mejorar la situación. Este tema no se trata en el ámbito del presente estudio, pero investigaciones adicionales sobre esta cuestión serían valiosas.

| POSIBILIDAD | MODELANDO LA OFERTA Y DEMANDA FUTURAS DE ALIMENTOS |
|---|---|

La Tabla 5 - 2 muestra que cualquier cambio en estos factores puede tener grandes efectos en la necesidad de tierras de cultivo adicionales para alimentos. Los ejemplos de la Tabla muestran cómo estos cambios pueden resultar en un leve o fuerte aumento o una fuerte disminución de las tierras de cultivo agrícola actuales.

Del mismo modo, el efecto de la demanda en el uso de suelo real utilizado en el Escenario (en lugar del uso de suelo potencial mostrado a continuación) puede verse afectado por los cambios en la demanda. Esto se describe brevemente en el Anexo D.

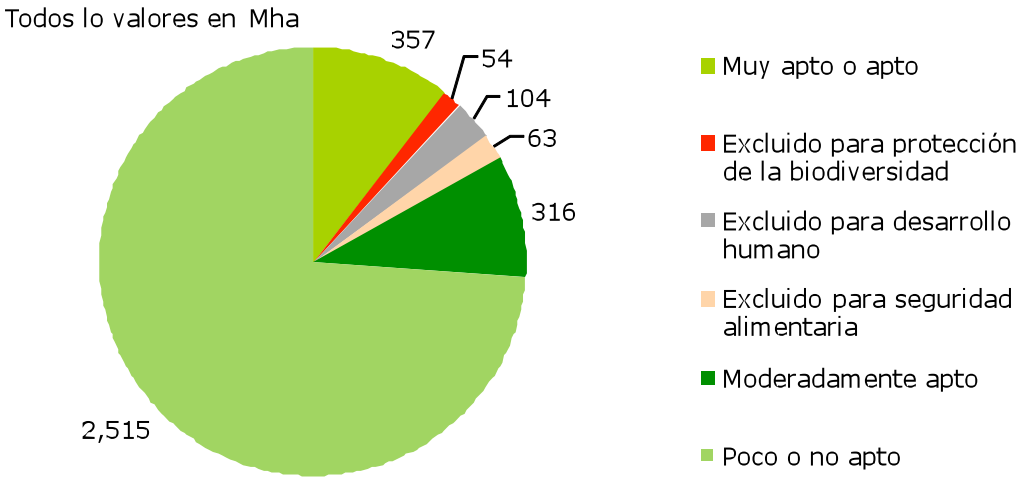
Tabla 5 - 2 Necesidad adicional de tierras de cultivo para alimentos: Efecto de diferentes supuestos en la oferta y demanda de alimentos así como su balance.

| **Parámetro** | **Ejemplo de cambio comparado con los valores usados en el Escenario Energético** | **Tierras de cultivo para bioenergéticos** | |
|---|---|---|---|
| | | **Disponibles** | **Utilizadas** |
| ***Resultados del Escenario*** | **-** | ***673*** | ***250*** |
| Oferta: Incremento de rendimiento anual | 0.4–1.5% en lugar de 1%[46] | 300–1,080 | - |
| Demanda: Consumo de carne | 25–75% en lugar de reducción del ~50% en el consumo de carne[47] | 350–1,270 | - |
| Balance de la oferta y la demanda | Oferta es 90–110% de la demanda en 2005, en lugar de estar en equilibrio | 500–800 | - |

Aunque las 63 Mha identificadas son la mayor cantidad de superficie adicional necesaria para satisfacer la demanda de alimentos cada año para el 2050, hemos decidido excluirla del potencial durante todo el período en el Escenario. Esta reducción adicional a la exclusión de los campos de cultivo agrícola actuales, con base en los datos de la IIASA tal como se presenta en la Sección 5.3.1. Es reducción se muestra en la Gráfica 5 - 13.

[46] Véase la Sección 5.3.5 para mayor información de los supuestos del Escenario en este tema.

[47] Véase la Sección 5.3.5 y el Cuadro 5 - 4 para mayor información de los supuestos del Escenario en este tema.




Gráfica 5 – 13 Exclusiones de uso de suelo del Escenario con base en la seguridad alimentaria.

## 5.4 Sostenibilidad de la bioenergía: Insumos agrícolas y procesamiento

Para garantizar una agricultura sostenible y el procesamiento de cultivos energéticos, se incluyó un marco de los insumos necesarios para ello.

### Procesamiento del uso de agua

Se evaluó, a partir de la literatura, opiniones de expertos y nuestra experiencia previa, la disponibilidad en el mercado de un enfoque tipo "closed loop" para el procesamiento de agua en la elaboración de biocombustibles. Esto significa que las plantas de biocombustibles pueden descargar tanta agua limpia como el total que consumen y por lo tanto, esto no es perjudicial para el suministro normal. La empresa proveedora de tecnología Dedini [Dedini, 2008] argumenta que las plantas que construye se abastecen de agua no potable de río y al terminar su proceso descargan agua potable. Si esto se confirma, estas plantas servirían como purificadoras de agua.

### Uso agrícola del agua

Las proyecciones de rendimiento para los cultivos bioenergéticos en el Escenario se basan en sistemas agrícolas de temporal, no se hace uso de la irrigación[38], donde se añaden fertilizantes al suelo.

El rendimiento de los cultivos bioenergéticos se escala en función de la idoneidad de la tierra para la agricultura de temporal (véase también el Anexo C 2) para reflejarlo. Esto significa que la mayoría de los rendimientos del Escenario están alrededor de un 50 a 70% del máximo rendimiento obtenido actualmente en los sistemas agrícolas de alto rendimiento. Los números de estos rendimientos se presentan en el Anexo C 2.

Cuadro 5 - 3 Historia: Uso de agua para bioenergía en el Escenario Energético.

| HISTORIA | USO DE AGUA PARA BIOENERGÍA EN EL ESCENARIO ENERGÉTICO |
|---|---|

El agua, sobre todo el agua dulce, es un recurso importante para la población humana. La usamos con objetivos nutricionales, como agua potable, como un recurso agrícola y para otros fines tales como limpieza, transporte y recreación. El agua también es un factor esencial en la preservación de la naturaleza y su biodiversidad. Por lo tanto, debe utilizarse de forma sostenible en todo el Escenario Energético. El Escenario cumple este uso mediante la incorporación de:

- ***Procesamiento tipo "Closed loop" del agua para bioenergéticos***: las plantas de procesamiento de bioenergéticos descargan agua en el mismo nivel de pureza o un mayor nivel de pureza del agua de la que se abastecen. Consulte la Sección 5.4 para mayor información.

- ***Agricultura de temporal para cultivos bioenergéticos***: los cultivos bioenergéticos no utilizan medios de irrigación en el Escenario Energético. Toman el agua que necesitan de la lluvia. Consulte la Sección 5.4 para mayor información.

- ***Cultivo de algas con agua de mar o aguas salobres***: el aceite de algas utilizado para la producción de biocombustibles para el transporte se obtiene de algas cultivadas en agua de mar o agua salobre en lugar de agua dulce. Consulte la Sección 5.7 para mayor información.

## Uso de fertilizantes agrícolas

El Escenario Energético incluye un marco para los fertilizantes más utilizados, basados en nitrógeno, fósforo y potasio. Este marco tiene por objeto reducir al mínimo la necesidad de adicionar fertilizantes y produce nutrientes a base de nitrógeno de fuentes sostenibles.

- Para todos los fertilizantes: Nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), un enfoque "closed loop" puede ser adoptado en la medida de lo posible para minimizar la necesidad de utilizar fertilizantes.
    - Agricultura de precisión minimizando la necesidad de insumos de N, P y K.
    - Minimizar las pérdidas al ambiente de N, P y K.
    - El reciclaje de N, P y K, por ejemplo, de los flujos de residuos y desechos, devolviendo el producto de la biodigestión al suelo.

- Fertilizantes a base de nitrógeno (N)
    - Los fertilizantes a base de Nitrógeno se producen a partir de calor en el Escenario.
    - El fertilizante N con hidrógeno como materia prima se produce a partir de electricidad renovable en el Escenario.

Por lo tanto, con el fin de garantizar el posible uso de fertilizantes más sostenibles, se incluyeron en el lado de la demanda del modelo del Escenario:

- Todo el calor como insumo para producir fertilizantes N para el cultivo de bioenergéticos.
- Toda la electricidad necesaria en la producción hidrógeno para el fertilizante N. Este mecanismo también puede utilizarse como fuente de almacenamiento para las fuentes de electricidad movidas por la oferta

Considerando que el nitrógeno del aire es el otro único componente necesario en el método actual de producción de fertilizante N[48], su producción para bioenergéticos es sostenible en la medida que la electricidad requerida se extraiga de fuentes sostenibles.

Además, aconsejamos un enfoque tipo "closed loop" para los fertilizantes tanto como sea posible, al utilizar técnicas de agricultura de precisión, minimizando las pérdidas y reciclando los fertilizantes a partir de los flujos de residuos y desechos. La tendencia en esta dirección ya ha comenzado, por ejemplo, en la agricultura de los países desarrollados, debido a consideraciones económicas y políticas.

La agricultura de precisión tiene como objetivo ajustar la aplicación de fertilizantes a las necesidades exactas de los cultivos. El reciclaje de fertilizantes puede lograrse mediante la devolución a la tierra de cultivo de los residuos y desperdicios. Esto puede incluir la recuperación de fertilizantes a partir de los productos de la biodigestión de residuos húmedos (por ejemplo, el estiércol) a la tierra, véase la Sección 5.6. Otro ejemplo sería la recuperación de fertilizantes de los flujos de aguas de drenaje. Las tecnologías necesarias y prácticas para un enfoque tan cerrado necesitan más refinamiento y una adopción más amplia.

## 5.5 Sostenibilidad de la bioenergía: Talas complementarias

La madera de los bosques se cosecha para diferentes propósitos, tales como la construcción, la producción de papel o la producción de energía. Hemos analizado en el Escenario Energético el potencial sostenible para la recolección de la biomasa de leña de bosques para fines energéticos, teniendo en cuenta la demanda de madera para otros fines. Estas talas complementarias sostenibles constan de dos componentes los cuales se analizan a continuación.

[48] En la actual producción de fertilizantes N, el gas natural reacciona con el aire a altas temperaturas y presiones para producir amoníaco, el cual se procesa en fertilizantes N. Como el gas natural es una fuente de calor tanto como el hidrógeno, lo hemos reemplazado con calor sostenible e hidrógeno en nuestro Escenario.

Cuadro 5 - 4 Historia: Los bosques en el Escenario Energético.

| HISTORIA | LOS BOSQUES EN EL ESCENARIO ENERGÉTICO |
|---|---|

Los bosques son importantes en un ecosistema global sostenible. Toman el $CO_2$ y lo almacenan, y después liberan el oxígeno. Además, los bosques alojan una parte integral de la biodiversidad del mundo. Por lo tanto, no permitimos, en el Escenario, ninguna ampliación de tierras de cultivo en las zonas forestales actuales, sea para alimentos o bioenergía. De hecho, aumentamos las áreas de tierras protegidas en cerca del 50%. Para obtener más detalles, véase el Cuadro 5 - 3.

La vegetación en los bosques crece al tomar el $CO_2$ y la energía de la luz solar. Una parte de este crecimiento puede ser cosechada para proporcionar la biomasa de leña con fines tales como la construcción y la energía. Esto debe implementarse de manera sostenible. El potencial de biomasa proveniente de la silvicultura que se incluye en el Escenario proviene de fuentes sostenibles, a saber:

- Las talas complementarias sostenibles, las cuales consisten de dos subcategorías:
    - Talas complementarias de las zonas donde existe un potencial de silvicultura sostenible, una vez que se han satisfecho otras demandas, por ejemplo, por la madera en rollo para la industria, la construcción y la producción de papel.
    - El uso sostenible de biomasa tradicional: actualmente existe un uso de la biomasa tradicional para la oferta de energía primaria en muchas áreas, especialmente las zonas rurales en los países en desarrollo. El Escenario elimina este uso tradicional de la biomasa hacia 2050 en tanto es sustituido cada vez más por otras opciones, tales como las solares térmicas. Estimamos que, en promedio mundial, una participación del 30%[49] del potencial liberado actualmente utilizado como biomasa tradicional, puede ser cosechado de una manera sostenible. Esta participación del 30%, por lo tanto, permanece como biomasa sostenible en la oferta del Escenario para satisfacer la demanda de calor de baja temperatura para edificios, tal y como sucede hoy en día. El otro 70% de la biomasa tradicional actual no es considerada como un uso sostenible y se elimina del Escenario.
- La transformación de la madera sostenible y los residuos de las talas, así como desechos de madera: residuos procedentes de la silvicultura sostenible y procesamiento de madera para aplicaciones no bioenergéticas, por ejemplo, aserrín y residuos de material de madera.

Las secciones 5.5 y 5.6 proporcionan detalles adicionales sobre las talas complementarias sostenibles y sobre los residuos de la madera y los desperdicios. Un panorama general esquemático se presenta en el Anexo E.

[49] El tamaño de esta participación compartida es una estimación y podrá variar debido a las condiciones locales. Por lo tanto, el uso sostenible de biomasa previamente utilizada como biomasa tradicional debería adaptarse a la situación local. Además, los usos menos sostenibles deberían ser eliminados al principio.

### 5.5.1 Crecimiento adicional de los bosques

El crecimiento adicional sostenible de los bosques se define como el crecimiento que actualmente no se cosecha y que:

- no es necesario para el crecimiento futuro de la demanda para madera en rollos para la industria (por ejemplo, para la construcción o producción de papel).
- puede ser cosechado de una manera ecológica.

El potencial del Escenario para el crecimiento adicional sostenible de los bosques está basado principalmente en un estudio de Smeets [Smeets, 2008], con algunas modificaciones, tal y como se describe a continuación.

De acuerdo con el estudio, el **potencial técnico** mundial respecto del crecimiento adicional del bosque sería de ~ 64 EJ de biomasa de madera en el 2050. Sin embargo, el **potencial ecológicamente restringido** resulta ser de ~ 8 EJ. La razón de esta discrepancia es la exclusión de todas las áreas protegidas, zonas inaccesibles e inalteradas[50] considerando el potencial ecológico. Esto significa que se incluyen solamente áreas de bosque clasificados como "perturbado y disponible para la oferta de madera".

Una salvaguarda adicional en términos de sostenibilidad es el uso, en el incremento anual bruto, solamente de especies comerciales, en lugar de todas las especies disponibles. [51]

En virtud de que los cálculos de Smeets parcialmente se basan en una fuente más antigua [FAO, 1998], se realizó un cálculo adicional para una selección de seis países (Brasil, Rusia, Letonia, Polonia, Argentina y Canadá). Esto fue considerado necesario porque en algunos de estos países, el área de bosque “perturbado” pudo haber cambiado considerablemente en el período desde 1998 hasta hoy.

En los cálculos adicionales, se determinó la cantidad de talas complementarias sostenibles, resultante de la superficie de bosque perturbado adicional disponible para oferta de madera, en comparación con la base de datos originales, con base en informes más recientes de los países para el *Global Forest Assessment 2010* (con datos que van desde 2004-2009) [FAO, 2010]. Esto resultó en un potencial adicional, sobre todo para Rusia y Canadá. Las principales diferencias fueron causadas por las estadísticas actualizadas sobre bosques perturbados disponibles para la oferta de madera. El potencial adicional para los seis países se incluyó en el potencial ecológico desarrollado por Smeets, resultando en un potencial total para el crecimiento de los bosques adicionales sostenible de ~ 27 EJ.

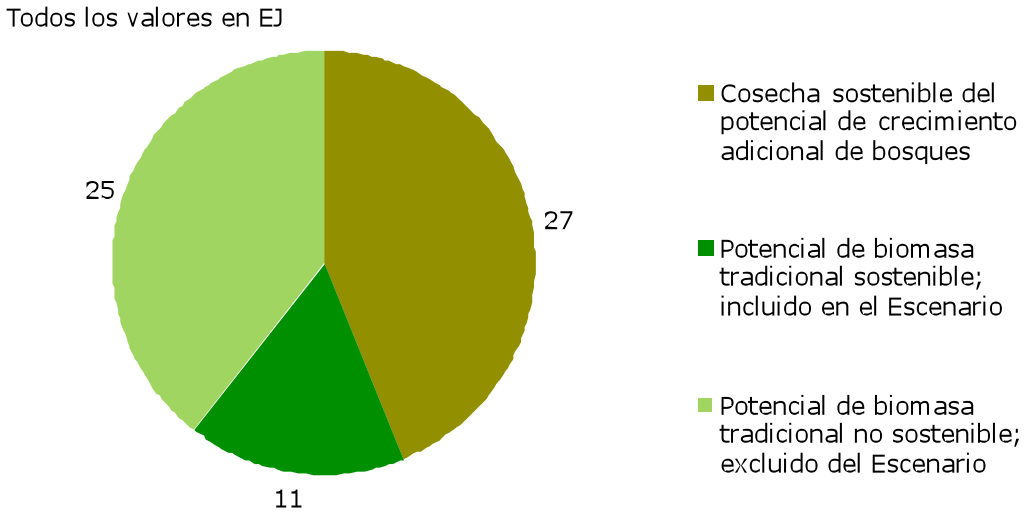
Varios factores han contribuido para tener este potencial relativamente grande.
Los factores más significativos son:

---

[50] El salvaguardar también las zonas utilizadas para la conservación del suelo, laderas y cuencas hidrográficas.

[51] El potencial está determinado por el incremento anual bruto (es decir, el crecimiento del bosque en un año por área), considerando el área del bosque y la demanda de productos de madera. Dado que el valor para el incremento anual bruto de especies comerciales se basa en el promedio nacional, mientras que en las zonas de bosque consideradas la proporción de especies comerciales será relativamente alta, es probable que el potencial esté subestimado en el presente documento, proporcionando un “buffer” para salvaguardar las prácticas de cosecha sostenibles.

- Las estadísticas actualizadas sobre el uso de los bosques en comparación con los datos del período 1986–1995 (también con mayor confiabilidad).
- Los cambios relativamente grandes en los sectores forestales de países como Rusia y Brasil (el desarrollo de los sectores forestales, una mejor visión de las funciones de las zonas y una mejor accesibilidad).
- El conjunto más detallado de categorías y definiciones en las estadísticas actualmente elaboradas por la FAO.




Gráfica 5 – 14 Inclusiones y exclusiones para la categoría de *talas complementarias*, con base en la cosecha sostenible del crecimiento adicional de los bosques y el uso sostenible de la biomasa tradicional.

## 5.5.2 Participación sostenible del uso de biomasa tradicional

Agrupada en la categoría de "talas complementarias (incluyendo uso tradicional)" la participación sostenible del uso actual de la biomasa para usos tradicionales también aparece, principalmente para la producción de calor en los hogares. Trabajamos en la suposición de que la mayoría de este uso es la biomasa de leña[52], aunque otras fuentes contribuyen claramente.

El Escenario Energético funciona sobre el supuesto de que cualquier uso tradicional de la biomasa considerado insostenible hoy, será gradualmente eliminado y reemplazado con enfoques más sostenibles, tales como las opciones solares térmicas.

No hay datos disponibles en la literatura sobre la participación sostenible del uso actual de la biomasa tradicional. Por lo tanto, en la medida que el Escenario gradualmente elimina el uso de la biomasa tradicional.

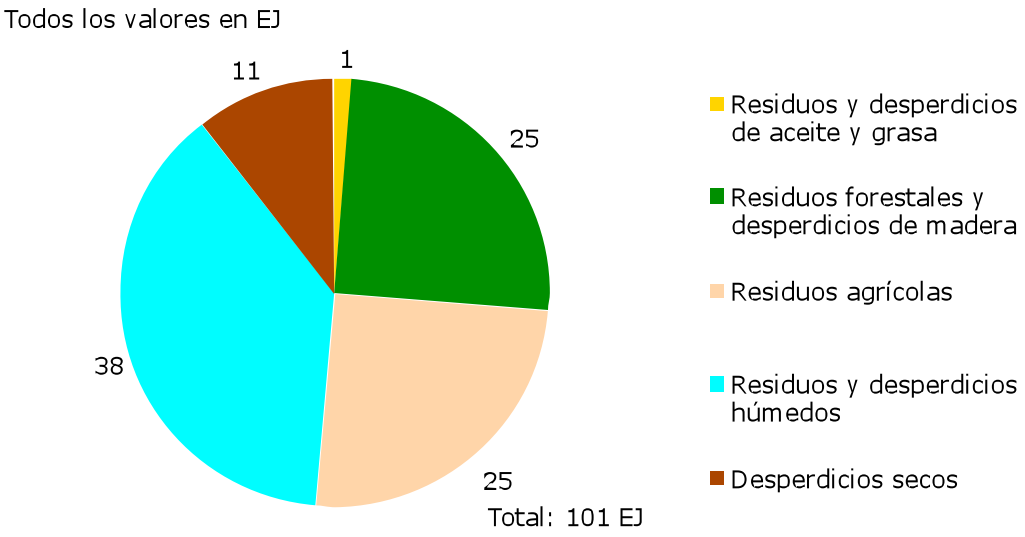
[52] No existían datos detallados disponibles sobre la composición del uso de la biomasa tradicional. Hemos optado por lo tanto que no pueda incorporarse a ninguna otra ruta de oferta, salvo aquella relacionada con la oferta de calor para edificios residenciales. Sin embargo, en realidad, una parte de esta biomasa puede ser adecuada para rutas de conversión lignocelulósicas.

Hemos estimado que el 30% de esta biomasa a ser eliminada puede ser cosechada en forma sostenible. Esto equivale a un potencial mundial estimado en 11 EJ para esta categoría. Sin embargo, en los últimos años del Escenario, este potencial no se utiliza completamente, dado que la demanda por calor en los edificios disminuye sustancialmente y otras opciones renovables se hacen cargo de dicha demanda.

En total, hemos incluido 38 EJ de biomasa de leña en la categoría de talas complementarias como se muestra en la Gráfica 5 – 14.

## 5.6 Sostenibilidad de la bioenergía: Uso de residuos y desperdicios

Desarrollamos un estudio sobre la literatura en materia de residuos y desperdicios para las categorías[53] mostradas en la Gráfica 5 – 15. La lista completa de fuentes puede ser encontrada en el Anexo G5.




Gráfica 5 – 15 Potencial de residuos y desperdicios sostenibles encontrados en el Escenario a 2050, en cinco categorías.[54]

Después de obtener los valores de la literatura para el potencial de cada clase de residuos y desechos, se realizaron tres análisis adicionales para llegar a las gráficas finales de los residuos y los desechos:

1.- Adaptamos las proyecciones encontradas en la literatura al 2050, para el potencial del estiércol y los desechos de grasa animal, y así reflejar el nivel de consumo de carne en el Escenario, en la Sección 5.3.5.

[53] Las aguas de drenaje humano no se incluyen como fuente de energía en el Informe sobre la Energía Renovable, dado que la literatura sobre su potencial es limitada, por lo cual no hay datos concluyentes. En cualquier caso, es muy probable que las aguas de drenaje humano sólo serían un contribuyente secundario dentro de las cifras globales para residuos y desperdicios [EEA, 2006]. Por supuesto, el Escenario todavía admite el concepto de generación de energía aprovechando las aguas de drenaje humano tanto en países desarrollados como en desarrollo. Sin embargo, por las razones anteriores, no se incluye cuantitativamente en la oferta de energía del Escenario.

[54] Los valores individuales pueden dar una suma diferente en virtud de las discrepancias por el redondeo de cifras.

2.- Hemos modificado el potencial de residuos secos provenientes de los desechos sólidos municipales, reflejando el hecho de que no todos estos desechos son renovables y que algunos son húmedos y algunos son secos; véase la Gráfica 5 – 16.

a. Del potencial global de 47 EJ se calculó, con base en la literatura, que el 25% podría ser reciclado, (por ejemplo, papel). Esto es adicional al reciclado que tiene lugar después de la separación en el sitio de recolección, tal es el caso del reciclaje de papel recogido en contenedores separados en los hogares o en las empresas de embalaje.

b. Del potencial restante de 35 EJ se calculó, con base en la literatura, que el 60% no es renovable, por ejemplo, plásticos.

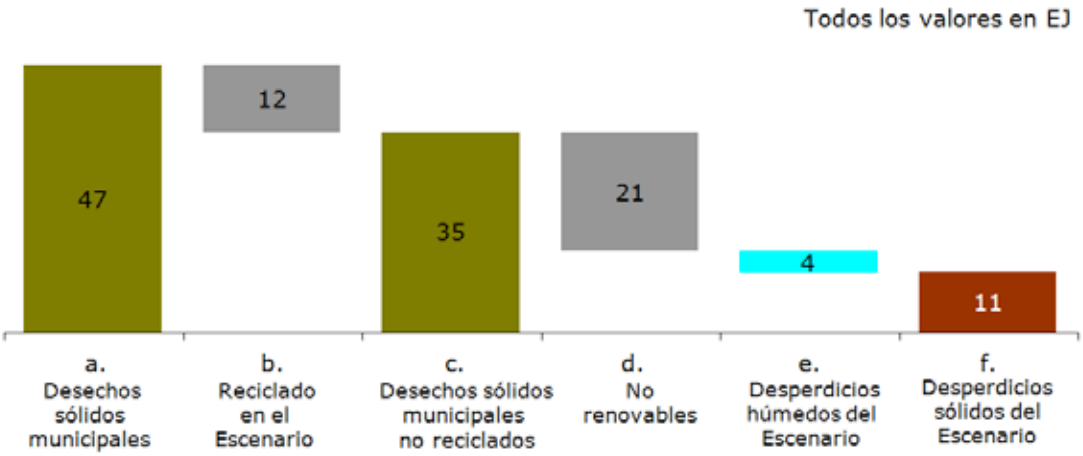
c. Del potencial restante estimado en 15 EJ se calculó, con base en la literatura, que el 75% son residuos secos y 25% son residuos húmedos.

3.- Hemos cambiado la disponibilidad de participación (también referida como fracción recuperable) de algunas de las categorías porque eran incompatibles con otros principios[55] del Escenario. Por ejemplo, la fracción recuperable utilizada para paja en los países de la OCDE es presentada y explicada en la Gráfica 5 – 17. Las fracciones recuperables utilizadas en nuestros análisis se detallen en la Tabla del Anexo C1.

El procesamiento de residuos y los desperdicios de madera estuvieron directamente basados en [Smeets, 2008], el cual ya considera la competencia por usos de estos residuos y desechos de otras industrias (por ejemplo del papel). El estudio calcula inicialmente el potencial ecológico de estos residuos y, entonces, resta toda la demanda, incluyendo la competencia por usos, dentro de un modelo basado en su comercio[56].

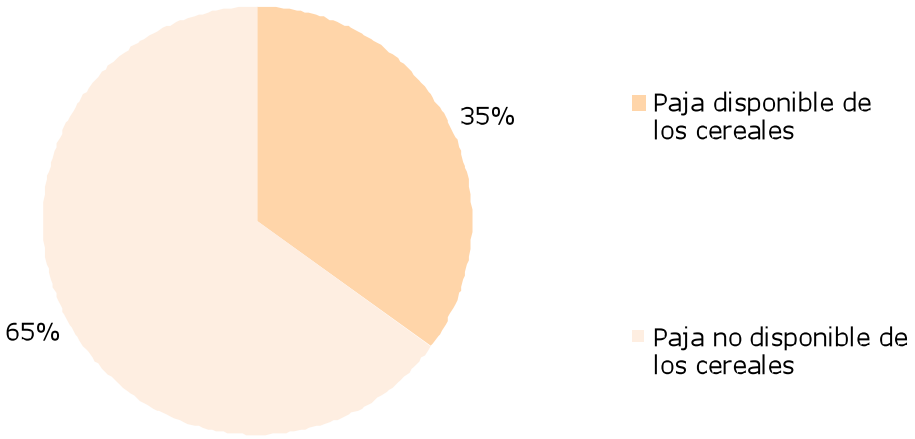
[55] Un ejemplo sería el regreso a la tierra de la materia orgánica resultante de la biodigestión como fertilizantes, por ejemplo, la remolacha azucarera y la yuca. De esta forma, los residuos que normalmente se quedan en la tierra para el reciclaje de fertilizantes, pueden ser tomados de la tierra, digeridos y regresados de nuevo a la tierra, proporcionando el mismo reciclaje de fertilizantes.

[56] Se puede considerar preferible el restar la demanda para ciertas rutas específicas, a fin de mantener vínculos estrechos entre las rutas y sus usos específicos. [Smeets, 2008] toma un enfoque ligeramente diferente a fin de investigar las divisiones geográficas y los impactos en el comercio. Esto es consistente con una visión a largo plazo de los flujos comerciales de productos intermedios.




a. Mezcla global de desechos sólidos municipales después de las opciones de preselección para reciclado
b. Excluido: Reciclaje adicional en el Escenario
c. Mezcla de desechos sólidos municipales no reciclados
d. Excluido: desperdicios no renovables
e. Escenario Energético: desechos húmedos de la mezcla de desechos sólidos municipales
f. Escenario Energético: desechos secos de la mezcla de desechos sólidos municipales

Gráfica 5 – 16 Análisis adicional para el potencial de los desechos sólidos municipales.




Gráfica 5 – 17 Fracción recuperable de paja proveniente de los cereales en países de la OCDE. Solamente 35% de la paja está disponible para propósitos energéticos en virtud de otros usos en competencia, por ejemplo sus usos como fertilizante del suelo, alimento o superficie de reposo para animales y en virtud de las barreras para su recolección.

Las categorías de residuos y desperdicios resultantes se enumeran a continuación. Su origen[57] en la cadena de la biomasa se denota con una letra entre paréntesis: primario (P), secundario (S) y/o terciario (T):

- Aceites y grasas – 1 EJ (S, T):
  - Grasa animal
  - Aceite de cocina usado

- Residuos forestales y desperdicios de madera – 25 EJ (P, S, T):
  - Residuos de tala – ~5 EJ
  - Residuos por procesamiento de madera ~10 EJ
  - Desperdicios de madera – ~10 EJ

- Residuos agrícolas – 25 EJ (P, S):
  - Cereales
  - Colza
  - Café
  - Soya

- Residuos y desperdicios húmedos – 38 EJ (S, T):
  - Residuos del procesamiento de remolacha de azúcar
  - Residuos del procesamiento de papas
  - Estiércol
  - Racimos de fracción recuperable de fruta vacía con aceite de palma
  - Efluentes del molino de aceite de palma
  - Caña de azúcar
  - Yuca
  - Desechos húmedos municipales

- Desperdicios secos – 11 EJ (T):
  - Desechos sólidos municipales

## 5.7 Algas sostenibles

El Escenario Energético utiliza el aceite proveniente de las algas para cubrir la demanda restante en las rutas del petróleo después del uso de residuos, desperdicios y cultivos bioenergéticos.[58] En virtud de que el cultivo y cosecha de algas a escala comercial está aún en desarrollo, el Escenario sólo incluye un uso significativo de algas de 2030 adelante. El enfoque sobre el uso de las algas en el Escenario se basa en un estudio reciente de Ecofys [Ecofys, 2008] sobre el potencial mundial de la biomasa acuática, el cual identificó viabilidad en el

[57] Los residuos primarios están relacionados con la producción de biomasa (por ejemplo, paja), mientras que los residuos secundarios se relacionan con el procesamiento de biomasa (por ejemplo, aserrín) y los residuos terciarios están relacionados con el uso de productos (por ejemplo, estiércol). Los residuos terciarios, especialmente cuando no tienen un valor económico, son llamados comúnmente desperdicios. Véase el Anexo F.

[58] Dado que no todas las tierras identificadas para el cultivo sostenible son aptas para el cultivo de aceite, las algas son necesarias aun cuando el potencial de tierras de cultivo de bioenergéticos no sea totalmente cubierto.

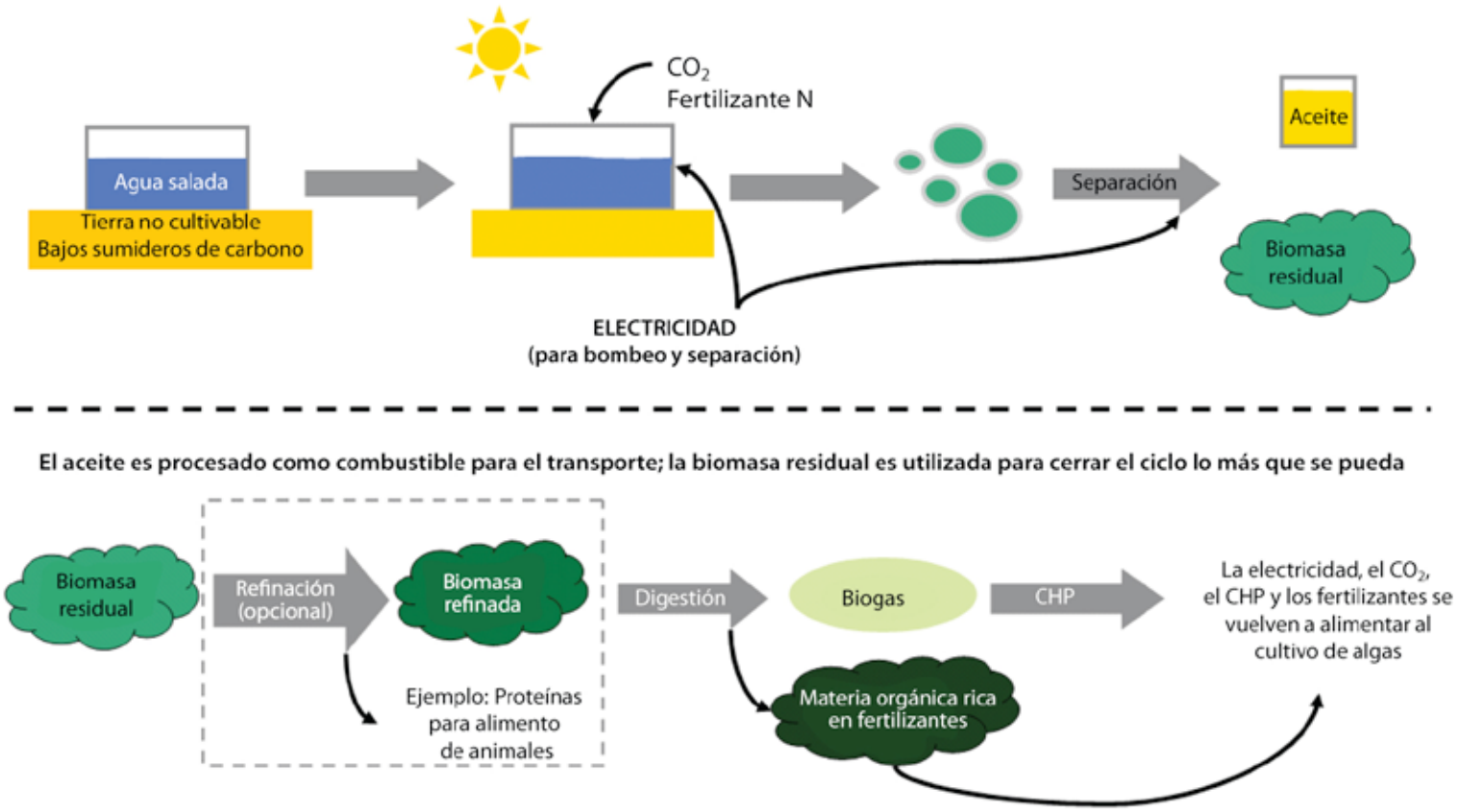
largo plazo. El potencial total energético en el largo plazo de este estudio, incluyendo el cultivo de macroalgas en mar abierto, el cual requiere todavía un sustancial desarrollo tecnológico, es aproximadamente de 6,000 EJ. El Escenario más conservador solamente considera aceite proveniente de microalgas cultivadas en estanques abiertos sobre tierras no cultivables llenas de agua salada. El potencial total para la producción de aceite de algas con esta tecnología se estimó en 90 EJ de aceite.

El cultivo de algas en el Escenario Energético optimiza las propiedades benéficas de las microalgas, al mismo tiempo que permanecen dentro de los límites fijados por el escenario para cultivo terrestre de algas del estudio. En este marco los criterios de sostenibilidad de la bioenergía establecidos en el Escenario son respetados. El marco consta de los siguientes elementos:

- Las microalgas son cultivadas en tierras no cultivables que no representan sumideros de carbono importantes.
    - Su fertilización agrícola consiste principalmente de fertilizantes de nitrógeno y $CO_2$.
    - El cultivo tiene lugar en agua salada.
- El aceite es extraído de las algas y alimentado a una planta de procesamiento de biocombustibles.
- Los insumos energéticos para el cultivo consisten principalmente en electricidad para el bombeo y extracción del aceite, etc.
- Opcional: La biomasa restante de las algas puede ser refinada para recolectar componentes de alto valor, como por ejemplo, las proteínas. Puede ser posible producir productos para alimentar animales procedentes de la fracción recuperable de la proteína, reduciendo potencialmente la necesidad de cultivos de alimento animal.
- Los residuos de biomasa de la extracción de aceite pueden ser digeridos, ya sea directamente o tras un refinamiento opcional. El biogás producido es quemado para producir electricidad y calor. La producción de electricidad cubre los insumos energéticos para el cultivo.
- La materia orgánica resultante de la biodigestión y el $CO_2$ obtenido de la combustión de biogás alimentan a las algas para cerrar el ciclo de fertilizantes. Para los fertilizantes de nitrógeno nuestro objetivo es cerrar el 75% del ciclo.
- El ciclo de cultivo de las algas vuelve a comenzar.

Este ciclo es mostrado esquemáticamente en la Gráfica 5-18.

La máxima cantidad de aceite de algas utilizado en el escenario al 2050 es de 21 EJ. Con base en los rendimientos calculados en el estudio de Ecofys, esto equivale a aproximadamente a 30 Mha de uso de tierras no cultivables. Los 21 EJ de uso de aceite de alga son aproximadamente el 25% de los 90 EJ identificado en el Escenario más conservador, consistente únicamente en aceite proveniente de microalgas cultivadas en estanques abiertos llenos de agua salada sobre tierras no cultivables. Por lo tanto, el uso de aceite de algas en el Escenario se adapta cómodamente dentro de los potenciales identificados en el estudio de Ecofys, especialmente en la medida en la cual el potencial de cultivo de las algas en mar abierto puede ser aprovechado debido a los avances tecnológicos del futuro.

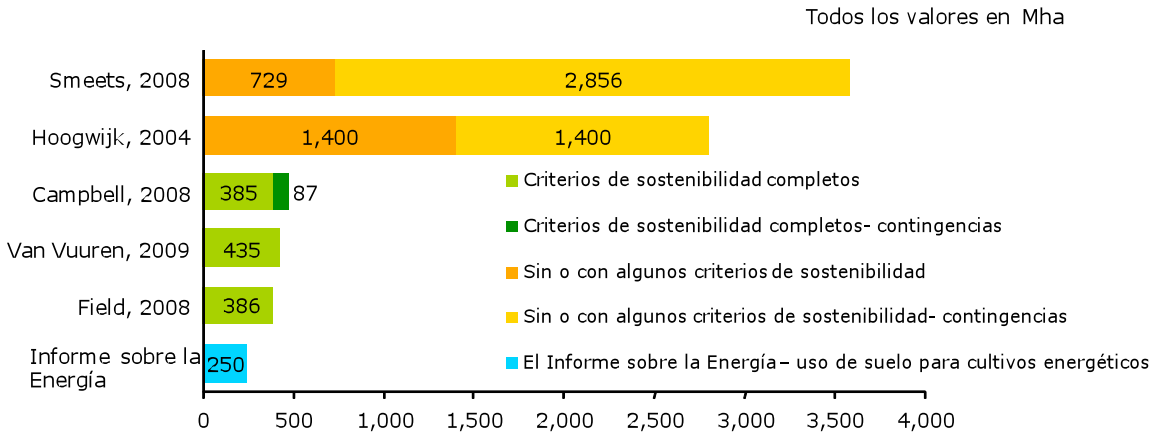



Gráfica 5 - 18 Representación esquemática del ciclo de cultivo de algas.

## 5.8 Comparación con otros estudios

Comparamos el uso de suelo para cultivos energéticos, el uso de bioenergía primaria de los cultivos bioenergéticos y las algas en el Escenario Energético, con los valores sobre potenciales de la literatura existente. [Smeets, 2008; IEA, 2009; Dornburg, 2008; IAASTD, 2009; Hoogwijk, 2004; Erb, 2009; Van Vuuren, 2009; WBGU, 2008; Campbell, 2008; Field, 2008]

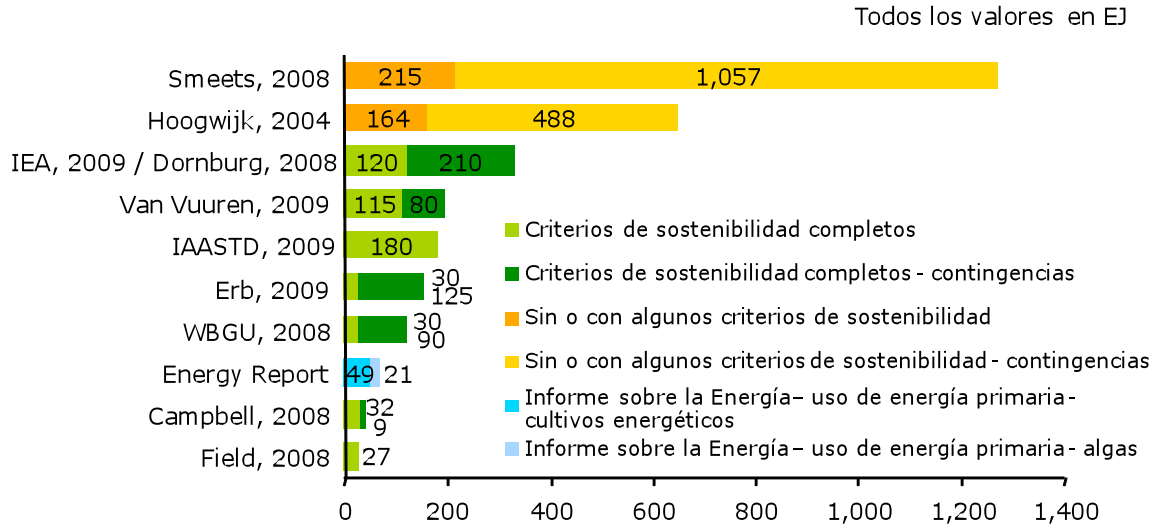
Comparamos las tierras utilizadas para cultivos energéticos, el uso de bioenergía primaria de los cultivos energéticos y las algas en el Escenario Energético con los valores sobre potenciales de la literatura existente. En nuestra comparación hicimos una diferenciación entre los estudios que aplican pocos criterios o ningún criterio de sostenibilidad y los que aplican un conjunto de criterios de sostenibilidad en el mismo rango que el Escenario Energético. [59]




Gráfica 5 – 19 Comparación del uso global del suelo en el Escenario Energético con los potenciales de áreas para bioenergía obtenidos de la literatura. "Contingencias" indica que el autor proporcionó el potencial en un rango en lugar de un número definitivo.

La Gráfica 5-19 muestra que las tierras utilizadas para los cultivos bioenergéticos en el Escenario de la energía se encuentran en el extremo inferior del rango de potenciales encontrados en la literatura. Es importante tener en cuenta que el uso de suelo dado a los cultivos energéticos en el Escenario Energético es la cantidad máxima que se utiliza durante el período de 2005–2050.

[59] Los estudios etiquetados "Sin o con algunos criterios de sostenibilidad" generalmente tienen en cuenta los criterios de seguridad alimentaria y la biodiversidad. Los estudios etiquetados "criterios de sostenibilidad completos" generalmente añaden criterios sobre el agua, la protección del suelo, la degradación de la tierra, la deforestación y los bosques de las reservas de carbono. Esto lleva a una gama similar de tipos de criterios como la del Informe sobre la Energía Renovable. Sin embargo, el método y el grado de aplicación de estos criterios y los supuestos realizados durante el análisis varían considerablemente, lo cual lleva a la diferencia en los resultados entre los estudios. En el Cuadro 5-5, se da un ejemplo del efecto sobre el resultado de los análisis de diferentes supuestos sobre la seguridad alimentaria en el Escenario.




Gráfica 5 – 20 Comparación de uso global de energía primaria en cultivos energéticos en el Escenario Energético con sus potenciales obtenidos de la literatura. "Contingencias" indica que el autor proporcionó el potencial con un rango, por ejemplo, debido a la incertidumbre de los rendimientos futuros. Dado que [IEA, 2009] y [Dornburg, 2008] dan los mismos números y parcialmente tiene los mismos autores, han sido agrupados en un sólo estudio.

La Gráfica 5 - 20 demuestra que el uso de energía primaria para los cultivos energéticos en el Escenario Energético se encuentra en el extremo inferior del rango de los potenciales encontrados en la literatura. Es importante tener en cuenta que el uso de bioenergía primaria para cultivos energéticos en el Escenario Energético (Gráfica 5 - 20), es la cantidad máxima utilizada durante el período de 2005 – 2050. El uso máximo ocurre en 2035 y es más bajo en todos los otros años.

## 5.9 Sostenibilidad de la bioenergía: Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

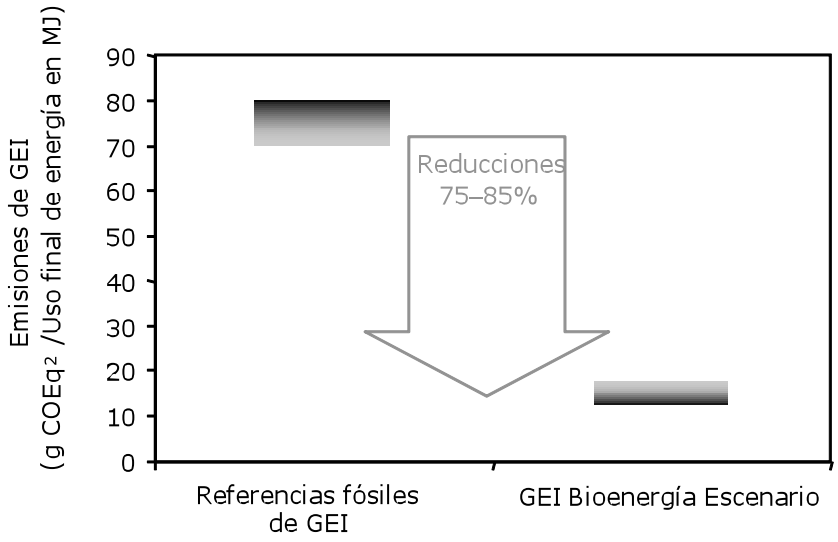
El marco de sostenibilidad de la bioenergía presentado en la Sección 5.2 incorpora el hecho de que el uso de bioenergía debe lograr altas reducciones de emisiones de GEI en comparación con las alternativas fósiles. Por lo tanto, hemos realizado, en el Escenario, un análisis de ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con el uso de la bioenergía.

Hemos incluido en el ciclo de vida de la bioenergía las emisiones de GEI de seis diferentes contribuyentes:

- Emisiones resultantes del cambio de uso de suelo a cultivos energéticos.
- Los factores de emisión para estas conversiones fueron obtenidos de [IPCC, 2006]
- Emisiones resultantes de la producción y aplicación de fertilizantes de nitrógeno para los cultivos energéticos y de algas [IFA, 2009; IPCC, 2006; Ecofys, 2008]

- Emisiones resultantes de los insumos energéticos necesarios en los cultivos energéticos, la silvicultura y la recolección de residuos agrícolas [JEC, 2008]
- Emisiones resultantes del transporte de biomasa al sitio de procesamiento [JEC, 2007]
- Emisiones resultantes de la conversión de los bioenergéticos [Ecofys, 2008b]
- Emisiones resultantes del transporte de los portadores de bioenergía a los sitios de uso final [JEC, 2007]

La mayoría de estos contribuyentes incluye las emisiones asociadas con el uso de energía. A medida que el Escenario Energético aumenta drásticamente la participación de tecnologías de energía renovable de bajas o nulas emisiones de GEI, hemos hecho dos cálculos independientes: en uno los factores de emisión de los insumos energéticos fueron obtenidos de las referencias para combustibles fósiles del IPCC [IPCC, 2006b] y en el otro cálceo, estos factores fueron tomados de los datos contenidos en el Escenario Energético. Por lo tanto, presentamos los resultados en forma de un rango.




Gráfica 5 – 21 Emisiones de GEI en el Escenario Energético contra referencias de combustibles fósiles para 2050.[60]

[60] Para efectos de consistencia, las referencias fósiles se basan en los valores actuales de emisiones de primer nivel del IPCC utilizados en todo el Escenario. Esto significa que no incluyen las emisiones del ciclo de vida asociadas a la producción de combustibles fósiles, tales como las emisiones de perforación y transporte. Además, no se corrigen a la luz del eventual desarrollo futuro de factores de emisión más altos para combustibles fósiles, debido a la creciente dificultad para su producción en, por ejemplo, arenas bituminosas.

La Gráfica 5 – 21 muestra los resultados del análisis de ciclo de vida. Para 2050, hemos calculado que las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la bioenergía son entre 12–18 $gCO_2eq/MJ$ del uso final de la energía. Los valores de las referencias de combustibles fósiles correspondientes son de entre 70–80 $gCO_2eq/MJ$ [60]. Esto significa que incluso para el cálculo más conservador, (con referencias de combustibles fósiles para insumos de energía) las reducciones promedio de gases de efecto invernadero son de ~ 75%. Cuando se utilizan los valores correspondientes del Escenario Energético, las reducciones promedio de GEI son de ~ 85%.

# 6 Inversiones y ahorros

## 6.1 Introducción

El Escenario Energético Ecofys examina la viabilidad de un futuro de energía totalmente renovable tomando un enfoque tanto "bottom-up" como físico para el sistema energético. El Escenario no necesariamente presenta la manera más rentable de alcanzar este objetivo. Sin embargo, es inteligente para estimar las inversiones asociadas y los ahorros de este sistema energético en comparación con un sistema energético "business-as-usual".

Las siguientes secciones:

- Describen los enfoques y los supuestos utilizados para derivar las inversiones y los ahorros resultantes del Escenario Energético.

- Indican la funcionalidad y limitaciones de los cálculos subyacentes.

El enfoque genérico para todos los sectores, así como la información básica y parámetros utilizados en todos los sectores o en la mayoría de ellos, se presenta en la Sección 6.2
Después de la Sección 6.2, se presentan los métodos específicos, supuestos y resultados en secciones separadas para cada uno de los sectores:

- Industria
- Edificios
- Infraestructura del transporte
- Tecnologías de vehículos para el transporte
- Electricidad
- Redes eléctricas
- Combustibles y calor de fuentes renovables
- Investigación y desarrollo (I&D)

Las consideraciones para la incertidumbre de parámetros claves y la distribución de las inversiones y los ingresos forman la conclusión.

## 6.2 General

Las dos **cuestiones clave** que el modelo de costos del Escenario Energético trata de responder son:

I. ¿Cuáles serán los costos netos del Escenario Energético?

II. ¿Cuáles serán las inversiones iníciales?

Para responder a estas dos preguntas, los cálculos de costo por sector diferencian entre los gastos de capital y los gastos operativos, los cuales incluyen ahorros debido a bajos o nulos costos por combustibles.

Los costos y ahorros hasta 2050 se calculan y contabilizan totalmente en el año, el en cual han sido producidos, lo cual significa una inversión no nivelada, esto a veces se practica para informar sobre la estrategia a largo plazo.[61] Por lo tanto, los resultados mostrados, presentan necesidades de inversión "reales", o "flujo de efectivo" durante cualquier período en el tiempo. Este enfoque es más apropiado para la visión global y macroeconómica del Escenario Energético y para poder responder a las dos cuestiones clave. A fin de evaluar la rentabilidad de las inversiones, un método de costo nivelado tendría que ser incorporado.

A pesar de que los gastos de capital y gastos operativos relacionados con la energía han sido cuantificados de la mejor forma posible, los ahorros e inversiones indirectos no se han tomado cuenta. Por lo tanto, todos los beneficios externos no son calculados, tales como la reducción de la degradación del ambiente, los costos asegurados y no asegurados de disminución de daños por cambio climático, la reducción en los costos de adaptación, la reducción en los costos de salud. [Stern 2006] estimó los costos del cambio climático en un escenario "business-as-usual" de entre 5 – 20% del PIB anual, dependiendo del alcance de los costos sociales a tomarse en consideración, en comparación con el 1% del PIB necesario para mantener las emisiones mundiales entre 500 y 550 ppm $CO_2$-eq.[62]

Todos los costos y ahorros calculados son adicionales al caso de referencia antes mencionado. Esto significa que por lo general las inversiones serían mucho más altas que los gastos de capital; de todas formas, la mayor parte de las inversiones tendría que hacerse en el escenario de referencia. Al centrarse en las diferencias económicas entre el Escenario Energético y el escenario "business-as-usual", los resultados para el ahorro y la inversión ponen de relieve el impacto financiero neto del Escenario.

Todos los valores de los costos están dados en euros$_{2005}$

[61] La *US Energy Information Administration* define a los costos de nivelación como una representación "del valor presente del costo total de la construcción y operación de una planta de generación durante su vida financiera, convertido en pagos anuales iguales y amortizados durante la generación anual esperada de un ciclo de servicio supuesto". Gracias al enfoque del "flujo de efectivo" del Escenario, las inversiones iníciales totales (gastos de capital) sólo se comparan con los ahorros en los costos de combustibles (gastos operativos) del mismo año. Un enfoque de costo nivelado, el cual es más común en las inversiones privadas, extendería los gastos de capital durante la duración total e incluiría también los ahorros posteriores al 2050, conduciendo a una mayor rentabilidad de las inversiones en energías renovables frente a las inversiones en centrales eléctricas convencionales.

[62] [Stern, 2006], Summary of Conclusions

Gráfica 6 – 1 Enfoque genérico para los cálculos de los costos.

En **general**, el **enfoque** para cada sector utiliza el mismo conjunto de datos de actividad de sectores específicos como el Escenario Energético para calcular:

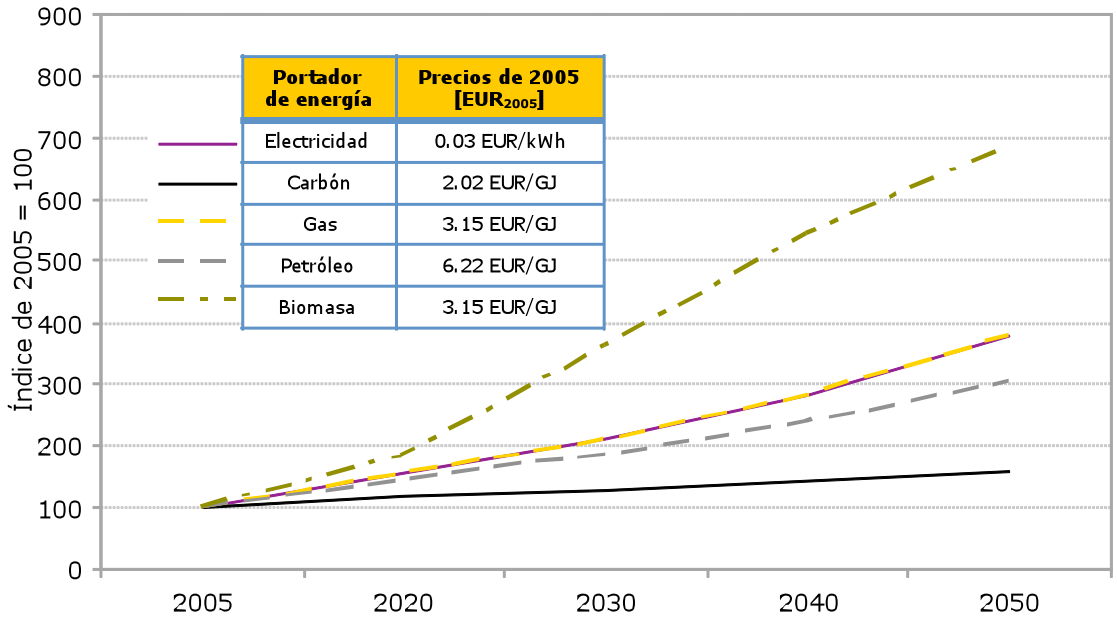
- Requerimientos adicionales de capacidad por periodo (por ejemplo, capacidad de producción en toneladas / año o capacidad de generación en MW) para los cálculos de los gastos de capital; y

- actividad más eficiente o alimentada por energías renovables por período (por ejemplo, toneladas producidas o MWh generado) para los cálculos de gastos operativos.

Los datos de capacidad, se multiplican entonces por los costos unitarios por capacidad (por ejemplo, euros/tonelada/año o euros/MW) o similar, para calcular los costos de gastos de capital de cada período. Los datos de actividad se multiplican por los costos unitarios por actividad (por ejemplo, euros/GJ para el ahorro de combustible), o similar, para calcular los costos de los gastos operativos por período.

Para todos los sectores excepto las redes eléctricas, se aplica un conjunto básico de **precios de la energía** para calcular los gastos de combustible y los ahorros. Estos precios de la energía se derivan de un precio global establecido para 2010 y proyectado con tasas de crecimiento anual del 2% en promedio, con un rango de 1 a 4% según el combustible, el sector y el cliente [EIA, 2009]. Sin embargo, para el mercado de biomasa proyectado en el Escenario, hemos aplicado, a los precios de las diferentes fuentes de biomasa, una lógica movida por la demanda, con un límite máximo de 5% de aumento anual de los precios. Esto conduce a un aumento de precio relativamente mayor para la bioenergía lo cual se consideró un supuesto adecuado, habida cuenta de los escasos datos históricos y la falta de certeza sobre la evolución futura de este mercado.

Los resultados de algunos precios clave de la energía, incluyendo los precios promedio de la biomasa, se muestran en la Gráfica 6 – 2. Un análisis de sensibilidad sobre los precios de la energía se presenta en la Sección 6.10.




Gráfica 6 – 2 Desarrollo indexado de los precios de la energía. Un promedio (ponderado) se muestra para el índice de la biomasa, el cual conlleva una gran incertidumbre.

Los **tiempos de vida y relaciones de los progresos** de los sectores y las tecnologías fueron usados en varios sectores.

La Tabla 6 – 1 muestra para cuales sectores se utilizaron los años de tiempos de vida y relaciones de los progresos en los cálculos. Las relaciones de los progresos indican el potencial de aprendizaje para un determinado proceso de producción o tecnología. El potencial de aprendizaje se expresa como una reducción de los costos en relación con la producción acumulada. Por ejemplo, una relación de progreso de 0.8 significa que los costos se reducirán en un 20% cada vez que la producción acumulativa se duplique. Por lo tanto, las tecnologías emergentes con menos producción acumulativa tienen generalmente reducciones de costos más fuertes en comparación con viejas tecnologías con mayor producción acumulativa y la misma relación de progreso.

Tabla 6 – 1 Años de tiempo de vida y relaciones de los progresos utilizados por sector.

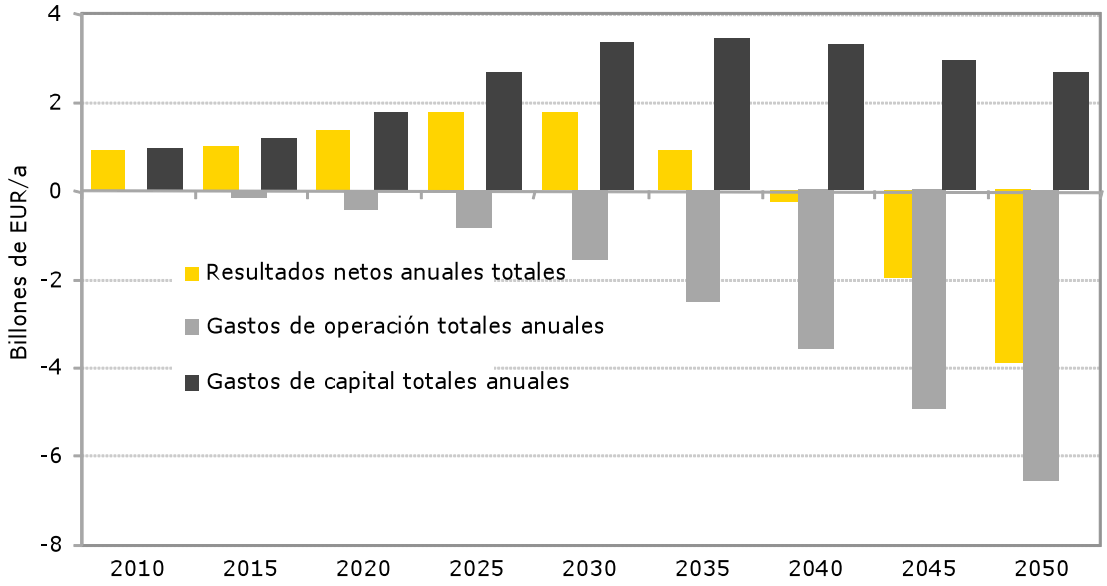
| Sector | ¿Años de tiempo de vida utilizados? | ¿Relaciones de progresos utilizadas? |
|---|---|---|
| Industria | X | Implícito |
| Edificios | X | X |
| Transporte – infraestructura | X | - |
| Transporte – Tecnología de vehículos | X | X |
| Electricidad | X | X |
| Redes eléctricas | X | - |
| Calor y combustibles renovables | X | X |
| Investigación y desarrollo | - | - |

## Principales conclusiones

Los resultados generales sobre las inversiones y los ahorros en el Escenario Energético mostrados en la Gráfica de 6 – 3 identifican dos conclusiones expresadas en los resultados de los sectores específicos:

- Los gastos de capital anuales son positivos (= inversiones) y cerca de 1 billón de Euros al año iníciales mayores que los gastos operativos negativos (= ahorros). Los gastos de capital aumentan hasta 2035 a cerca de 3.5 billones de Euros al año, pero el crecimiento de los ahorros en gastos operativos es mucho mayor.

- Los resultados netos se trasladan de los costos a los ahorros para el 2040. Como máximo, los costos netos están por debajo de los 2 billones de Euros al año, pero se trasladan a los ahorros netos por cerca de 4 billones de Euros al año para el 2050, con los ahorros en gastos operativos alcanzando más de 6.5 billones de Euros al año.

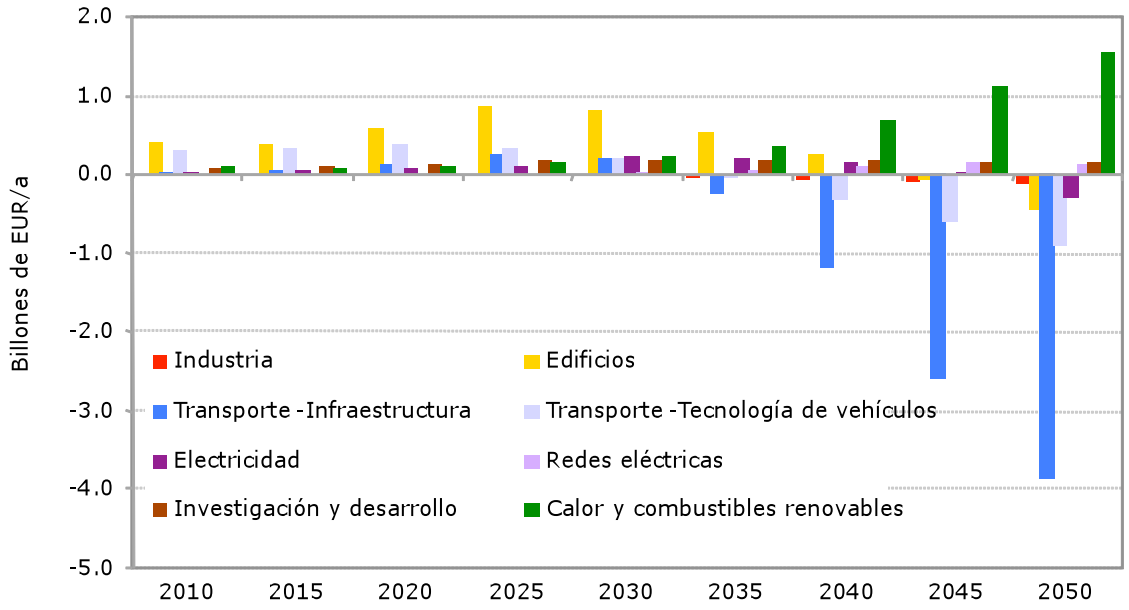



Gráfica 6 – 3 Resultados de los costos anuales globales para el Escenario Energético.

Si se comparan los costos netos para todos los sectores como se muestra en la Gráfica 6-4, está claro que las inversiones en edificios dominarán los costos totales hasta 2030. En el 2040, los costos netos totales se convierten en ahorros netos encabezados por los ahorros en el sector del transporte (infraestructura y tecnología de vehículos). Estos ahorros compensan los costos cada vez mayores del calor y los combustibles renovables, principalmente de la biomasa, en los últimos años. Sin embargo, es importante anotar que estos costos traen consigo incertidumbre y los desarrollos de los precios se han estimado conservadoramente (= fuerte aumento). Potencialmente, esto puede llevar a una sobreestimación considerable de los costos para el sector de los combustibles y el calor renovable.

En general, las inversiones iníciales de gastos de capital son superiores a los ahorros en gastos operativos en la primera mitad del período de tiempo modelado. Por lo tanto, casi todos los sectores incurren en costos anuales netos hasta 2030. Los ahorros crecientes continuos en el consumo de combustibles debido a mayores

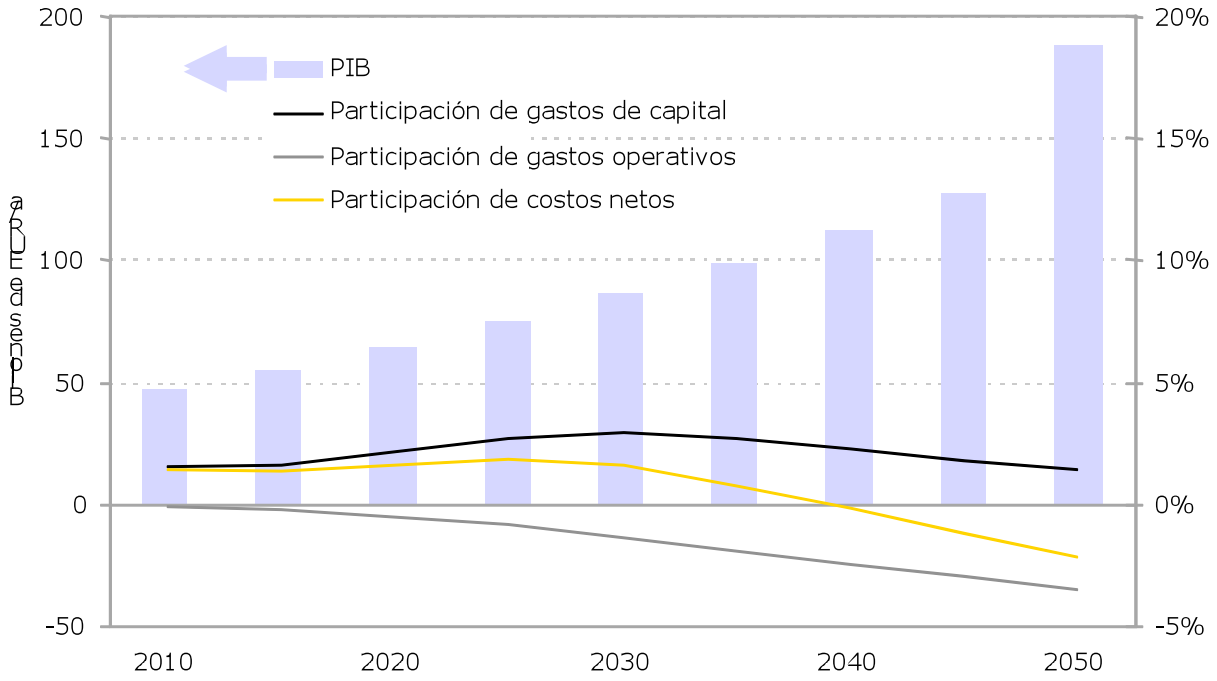
eficiencias y aumentos en los precios de los combustibles, conducen a ahorros anuales netos después del 2040, principalmente motivados por los ahorros en el sector transporte.[63]




Gráfica 6 – 4 Resultados de costos netos por sector.

Una comparación entre el PIB, los gastos de capital, los gastos operativos y los costos netos para el Escenario Energético se muestra en la Gráfica 6 – 5. Teniendo en cuenta las proyecciones de crecimiento del PIB mundial, los costos netos alcanzan su pico en el 2025 en términos relativos, manteniéndose por debajo del 2% del PIB. Los ahorros en gastos operativos se elevarán continuamente, para llegar a 3.5% del PIB mundial en el 2050, llevando a ahorros netos de alrededor del 2%.

[63] El transporte está dividido en "infraestructura" y "tecnologías de vehículos". La parte de infraestructura incluye todas las inversiones y ahorro por cambios en la actividad de transporte (cambio modal). Los costos adicionales para contar con más trenes, autobuses, líneas ferroviarias y electricidad de suministro son sobre compensados por los menores costos en automóviles, camionetas, la construcción de caminos y mantenimiento, así como los ahorros asociados en combustibles para el transporte. Mayores detalles son proporcionados en la Sección 6.5.




Gráfica 6 – 5 Comparación de resultados de costos con el PIB mundial.

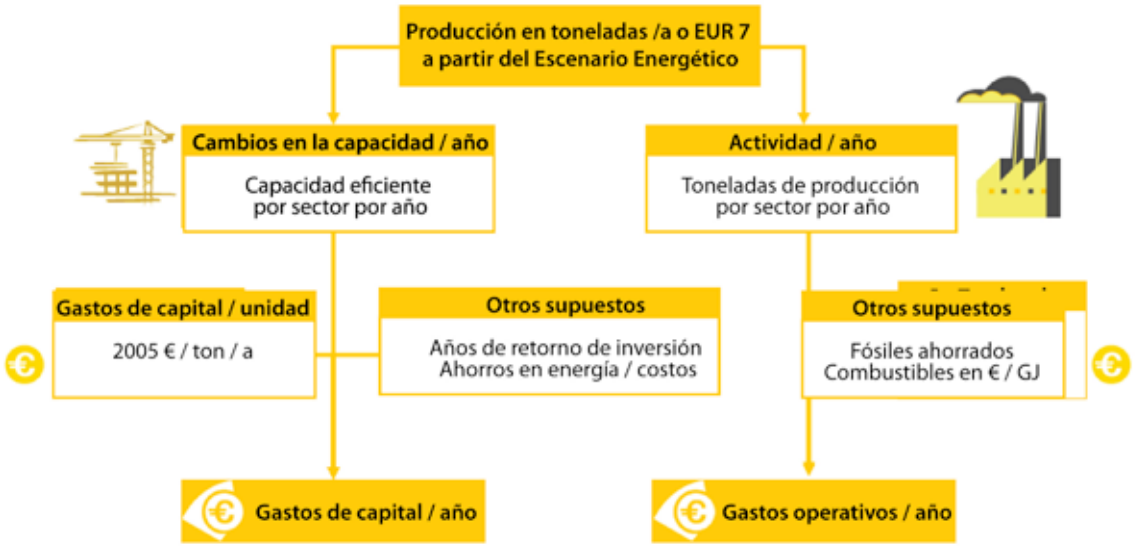
## 6.3 Industria

El sector industrial está dividido en los siguientes siete subsectores (véase también la Tabla 3 – 1):

- Hierro y acero
- Cemento
- Aluminio
- Papel
- Químico
- Alimentos
- Otros

Para los primeros cuatro sectores (sectores "A"), los costos de gastos de capital se derivan de los años de retorno de inversión específicos por las mejoras en eficiencia energética requeridas determinadas por el Escenario. Estas mejoras de eficiencia se supone son medidas de mejora aplicadas regularmente[64] con años de retorno de inversiones definitivos y fijos, tal y como se muestra en la Tabla 6 – 2, suponiendo que los avances tecnológicos y los aumentos en los costos marginales de las mejoras se balancean en el promedio, para todas las regiones y la escala de tiempo total.

[64] Sin incluir captura y secuestro de carbono.




Gráfica 6 - 6 Enfoque para la industria.

Estas medidas de (alta) eficiencia energética no han sido llevadas a cabo todavía. Esto puede ser debido a:

- Las empresas demandan periodos de retorno de la inversión más cortos.
- Una falta de información sobre estas medidas y sus beneficios.
- Otras razones que dificultan la aplicación de medidas rentables de ahorro de energía.

Los años de recuperación de la inversión para las medidas necesarias de eficiencia energética adicional, se estiman con todas las implicaciones del escenario en mente. Esto significa que las mismas medidas pueden tener períodos de retorno de inversión más largos en la línea de base. En tanto que el Escenario contiene desarrollos importantes en tecnologías de eficiencia energética en todos los sectores y regiones de la línea de base. Debido a las economías de escala y alcance, los costos para medidas de eficiencia energética en el sector industrial son más bajos en el Escenario Energético que en la línea de base. Partes de los costos son "recuperados" por el incremento de la demanda (y los precios) de más productos y procesos de producción eficientes.

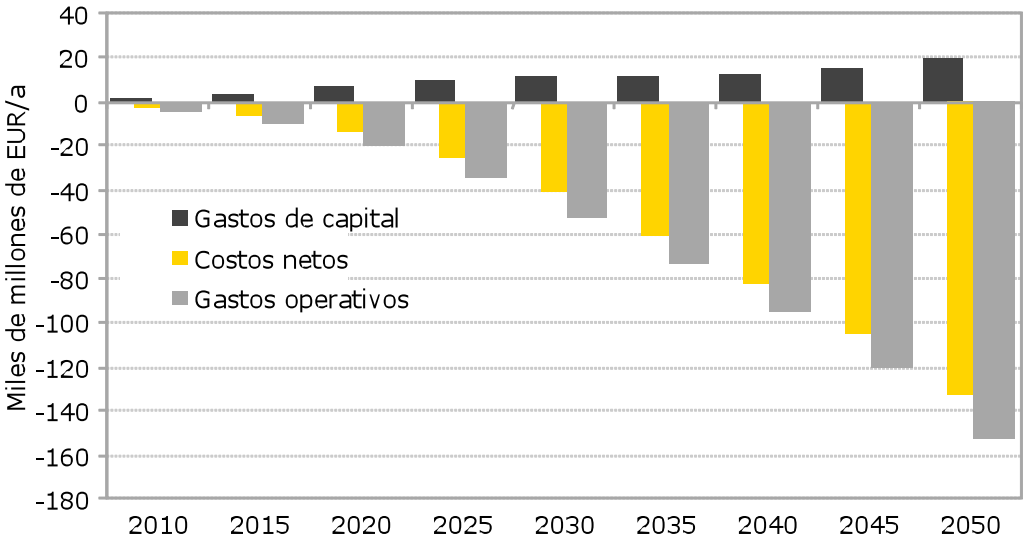
Tabla 6 – 2 Años de retorno de inversión por sub-sectores industriales

| Sector | Años de retorno de inversión |
|---|---|
| Acero | 4 |
| Cemento | 3.5 |
| Aluminio | 4 |
| Papel | 5.5 |

Los años de recuperación de la inversión se multiplican por los costos de los combustibles para calcular la inversión por unidad de producción anual. Los costos de los gastos de capital son calculados en función de los datos de capacidad, los cuales son derivados del Escenario, incluyendo los costos para reemplazos de equipos o sistemas que llegan al fin de su vida útil.

Los costos de los gastos operativos se derivan de una participación del 2% en relación con los gastos de capital, contabilizando mayores costos de operación para equipo de eficiencia energética. Así como los ahorros en los costos de combustibles, derivados del conjunto básico de los precios de la energía y las mejoras de la eficiencia, incluyendo el cambio de combustibles fósiles hacia la electricidad para varios procesos.

Los resultados de los cuatro sectores "A" (acero, aluminio, cemento y papel), fueron extrapolados a la totalidad del sector industrial haciendo uso de su tamaño relativo en términos de energía.




Gráfica 6 – 7 Resultados de la industria (todos los sectores).

## Principales conclusiones

Las inversiones en el sector industrial alcanzarán un pico de 20 mil millones de euros al año en 2050, lo cual se muestra en la Gráfica 6-7. Se trata de una inversión pico menor si se compara con otros sectores. Dado que las tasas de recuperación de la inversión se estiman serán de menos de cinco años, los ahorros en combustibles excederán a las inversiones después del primer período. Los gastos anuales de capital crecerán lenta pero constantemente hasta 2050. No obstante, las mejoras continuas en la eficiencia energética agregan ahorro de combustible con el tiempo. Por lo tanto, los ahorros siguen aumentando hasta 2050, cuando estos ahorros netos aumentan a 134 mil millones de euros al año.

## 6.4 Edificios

Gráfica 6 – 8 Enfoque para edificios.

Los cálculos de los costos para el sector Edificios se diferencian entre edificios residenciales y edificios comerciales. Se asume que los edificios comerciales tienen 2.5 veces la superficie de pisos construidos de los edificios residenciales, creando economías de escala cuando se aplican las medidas de eficiencia energética. Estas medidas y sus respectivos costos por metro cuadrado de superficie se definen en la Tabla 6 – 3 para ambas categorías. Las inversiones para cada medida están basadas en los precios actuales y las relaciones de progreso esperadas hasta el 2050. Estas relaciones de progreso permiten una reducción de costos específicos en el tiempo.

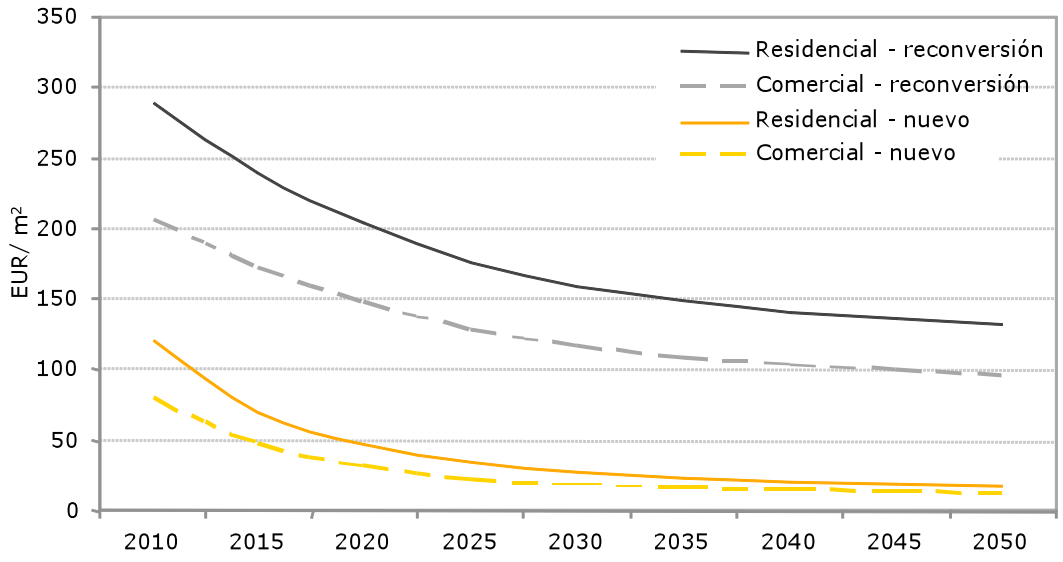
Tabla 6 - 1 Inversiones y relaciones de progreso por medida y sector (en EUR/m2 de área de piso construido).

| Sector | Proceso | Tecnología | Relación de progreso | Inversiones en 2010 |
|---|---|---|---|---|
| Residencial | Reconversión | Solar térmica | 0.8 | 20 |
| | | Bombas de calor | 0.75 | 100 |
| | | Aislamiento | 0.9 | 109 |
| | | Ventilación con recuperación de calor | 0.9 | 60 |
| | Nuevos | Pasivo (cero emisiones) | 0.8 | 100 |
| | | Solar térmica | 0.8 | 20 |
| Comercial | Reconversión | Solar térmica | 0.8 | 13 |
| | | Bombas de calor | 0.75 | 67 |
| | | Aislamiento | 0.9 | 86 |
| | | Ventilación con | 0.9 | 40 |

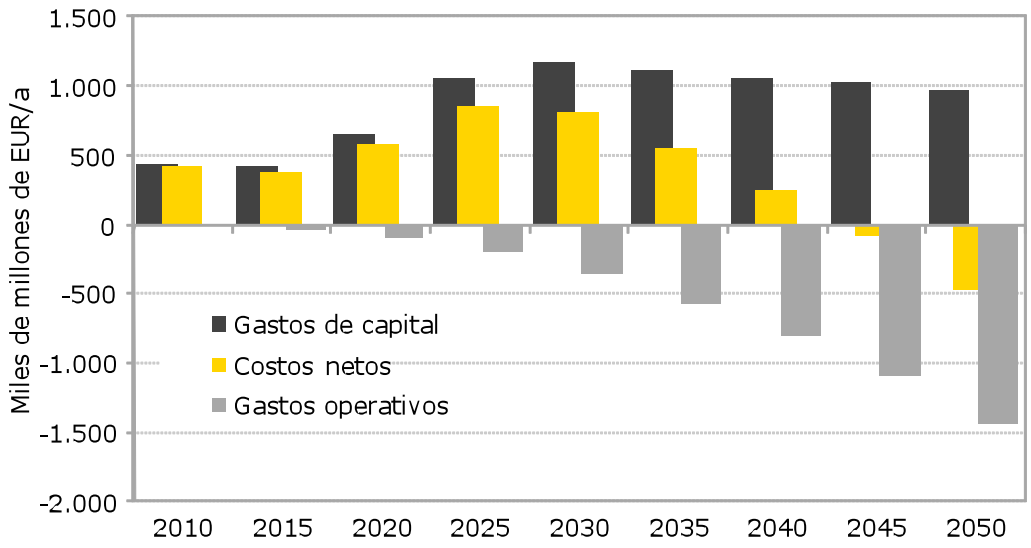
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | recuperación de calor | | |
| | Nuevos | Pasivo (cero emisiones) | 0.8 | 67 |
| | | Solar térmica | 0.8 | 13 |

Con base en la evolución de la superficie con medidas de reconversión o recién construida en el Escenario, los costos de los gastos de capital se calculan por período, incluidos los gastos para reemplazos por fin de vida útil de equipos o sistemas en nuevos edificios o en edificios con medidas de reconversión de eficiencia energética. La vida útil de los nuevos edificios, así como los edificios con medidas de reconversión, está estimada en 25 años.

Los costos de los gastos operativos se calculan considerando las mejoras de eficiencia energética, los ahorros en energía por metro cuadrado relacionados a partir del Escenario Energético, y los precios de la energía para uso final de la electricidad y el calor.




Gráfica 6 – 9 Desarrollo de costos unitarios para edificios.

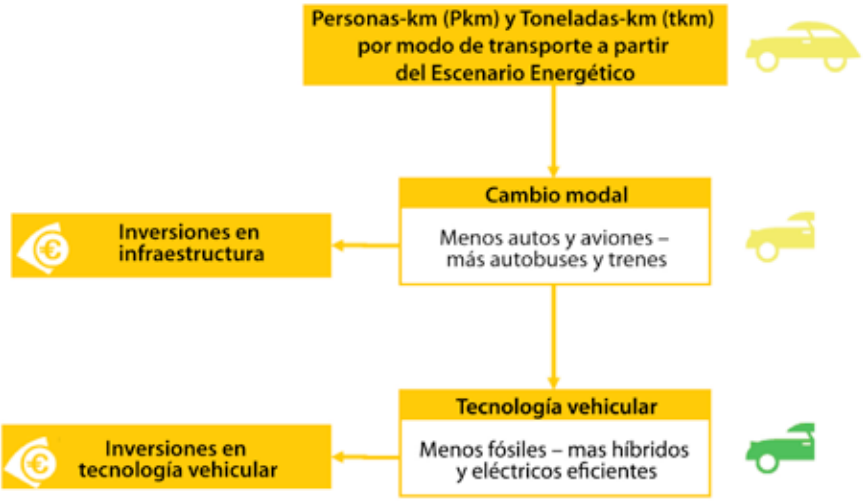



Gráfica 6 - 10 Resultados para edificios.

## Principales conclusiones

Como se muestra en la Gráfica 6-10, los costos anuales de los gastos de capital en los edificios alcanzan su pico de casi 1.2 billones de euros al año a nivel mundial en el 2030. Los costos netos tienen su pico para el año 2025 con ~ 850 mil millones de euros al año, mientras que el incremento de los ahorros de energía es superior a las inversiones, debido también a la disminución de los costos unitarios. La tendencia de aumento de los ahorros anuales frente a la ligera disminución de las inversiones continúa, conduciendo a ahorros anuales netos en 2045 y a un máximo de más de 450 mil millones de euros ahorrados en el año 2050.

## 6.5 Transporte




Gráfica 6 - 11 Enfoque para el sector Transporte.

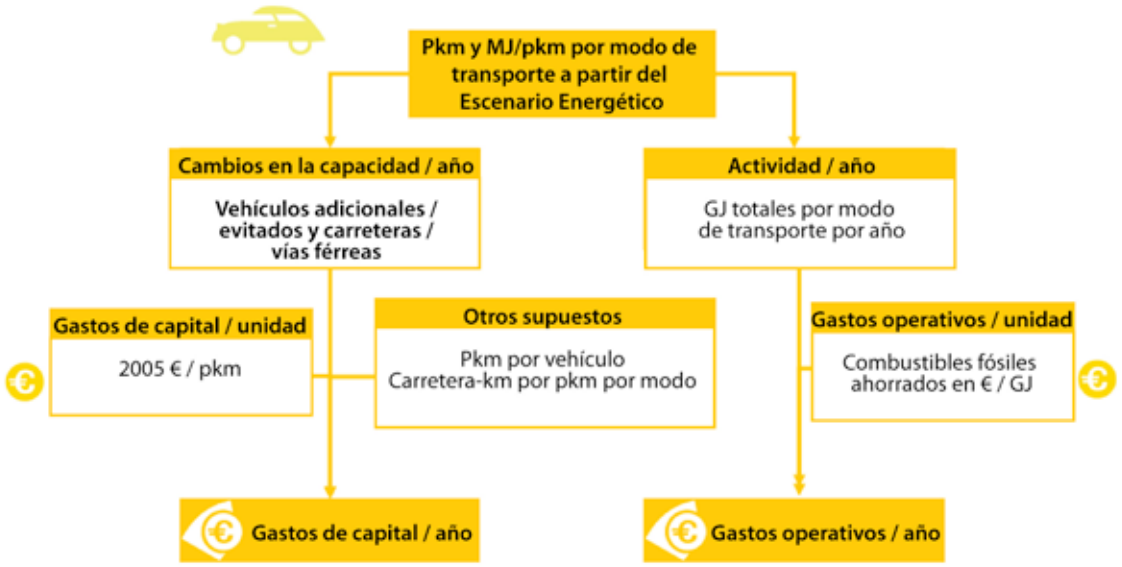
Los costos del sector Transporte se calculan al diferenciar entre dos aspectos de los cambios en el sistema de transporte:

- Inversiones y ahorros relacionados con un cambio de pasajeros y volúmenes de carga entre los modos de transporte (**infraestructura de transporte**), e

- Inversiones y ahorros relacionados con un cambio entre los combustibles y las mejoras tecnológicas en la eficiencia (**tecnología de transporte y vehicular**).

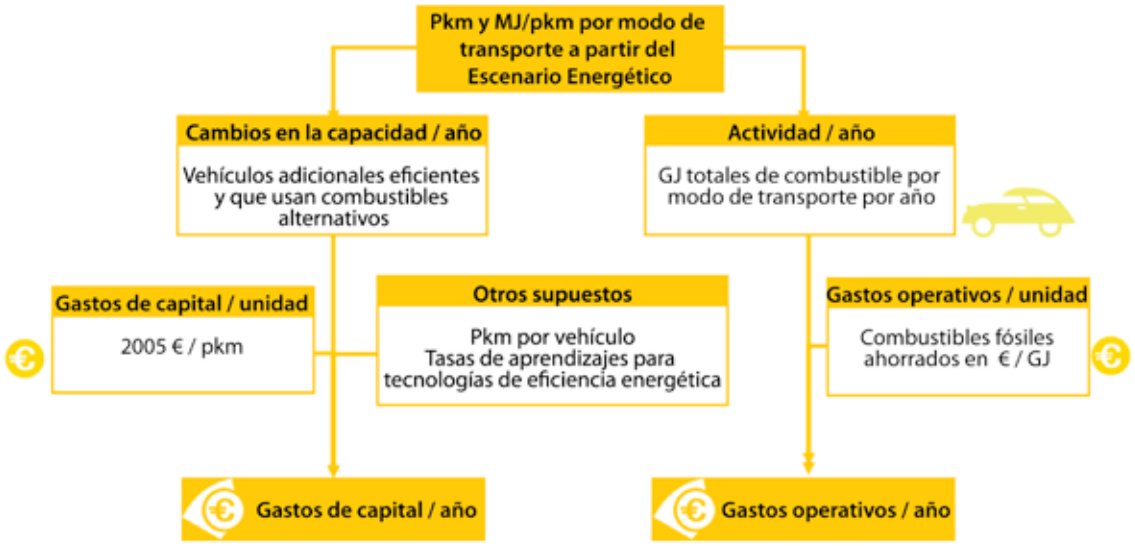
Las inversiones y los ahorros se calculan para la infraestructura en primera instancia y luego para la tecnología vehicular. Por lo tanto, los costos por cambio de combustible se basan en la distribución modal determinada por el Escenario. Esto asegura que la contabilidad de los gastos o ahorros no se duplique. Debe señalarse, sin embargo, que los resultados por cambios en la infraestructura o de combustible cambiarían si el orden de los cálculos se invierte.

En términos de la infraestructura y con base en los datos sobre actividad para la línea de base así como en el Escenario Energético, se calculan las capacidades requeridas por tipo de transporte (en número de vehículos), así como en términos de los kilómetros requeridos para carreteras y vías férreas (debido al transporte motor y los pasajeros de ferrocarril, respectivamente). Las inversiones en gastos de capital pueden ser calculadas para ambos escenarios, junto con los precios unitarios para los vehículos estándar por modo de transporte. La diferencia de gastos de capital entre estos escenarios son, entonces, los gastos de capital para infraestructura.




Gráfica 6 - 12 Enfoque para el transporte - infraestructura.

Los costos de los gastos operativos por la infraestructura consisten en los ahorros de combustible debido a la elección de modos de transporte más eficientes. Estos ahorros en combustibles son calculados utilizando la información sobre actividad por tipo de transporte para la línea base así como para el Escenario Energético, los cuales son entonces multiplicados por las respectivas eficiencias de combustible para cada tipo de transporte y los precios de los combustibles.

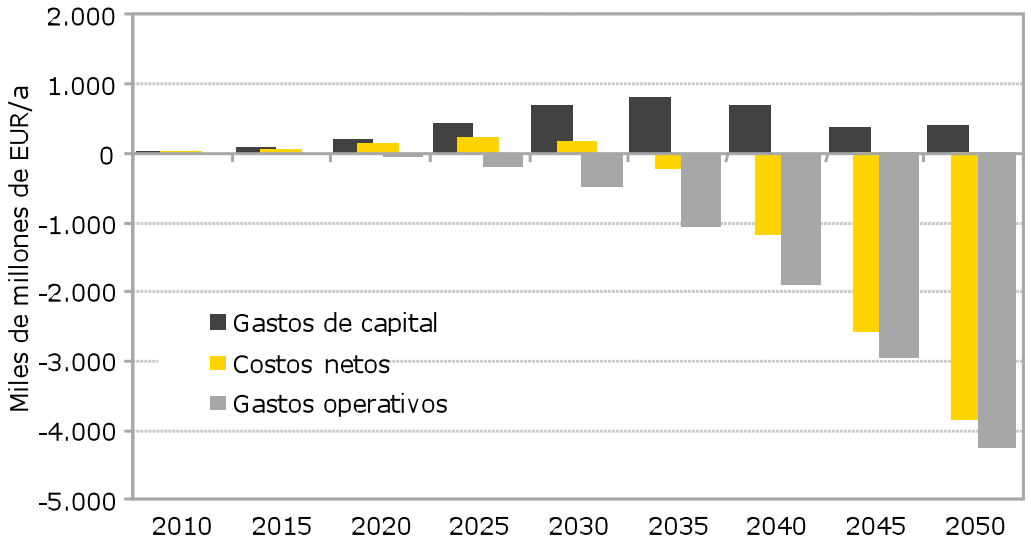



Gráfica 6 - 13 Enfoque para el transporte - tecnología vehicular.

Las inversiones de gastos de capital para la **tecnología vehicular** se calculan con base en las capacidades adicionales para los vehículos más eficientes y/o que funcionan con combustibles alternativos (por ejemplo, automóviles y autobuses híbridos). Las respectivas capacidades se derivan de los datos de actividad de "cambio modal" del Escenario Energético, para evitar la doble contabilidad. Los números de capacidad se

multiplican por los costos adicionales de los vehículos. Estos se derivan mediante el uso de los costos adicionales actuales (por ejemplo, automóvil híbrido vs automóvil estándar) y las relaciones de progreso para permitir una reducción de estos costos adicionales. Los resultados dan los gastos de capital adicionales anuales por tipo de transporte.

Los costos de los gastos operativos para la tecnología vehicular están basados en las mejoras anuales en la eficiencia así como en los datos de actividad anuales por modo de transporte. Las mejoras de eficiencia incluyen un reemplazo de combustibles fósiles por electricidad. Aunque la electricidad es generalmente más cara que los combustibles fósiles,[65] las mejoras de eficiencia llevan a ahorros netos en gastos operativos.

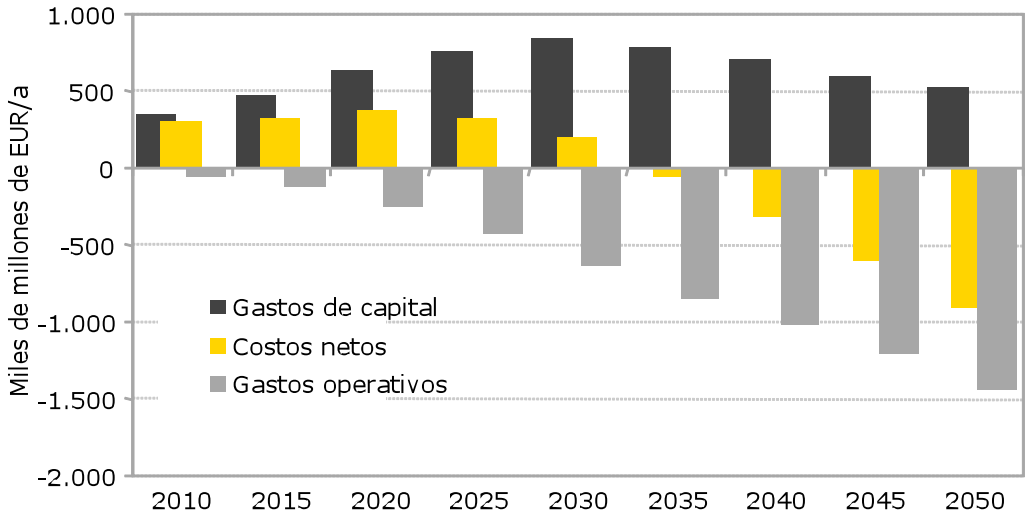



Gráfica 6 - 14 Resultados para el transporte - infraestructura.

**Principales conclusiones**

Los resultados para la infraestructura de transporte mostrados en la Gráfica 6-14, presentan gastos de capital que se incrementan para alcanzar un pico de ~ 800 mil millones de euros en el año 2035. Al mismo tiempo, los ahorros en combustible aumentan durante todo el período y alcanzan su punto más alto de cerca de 4.3 billones de euros en el año 2050, conduciendo a ahorros netos de 3.9 billones de euros ese mismo año. Debido a la combinación del pico en los gastos de capital en 2035 y los ahorros incrementales constantes, se alcanza un pico de costos netos en ~ 230 mil millones de euros anuales en 2025.

[65] Esto se refiere a los costos reales de producción. Los precios para el consumidor final pueden variar debido a los subsidios o los impuestos a la generación, la infraestructura y el consumo.



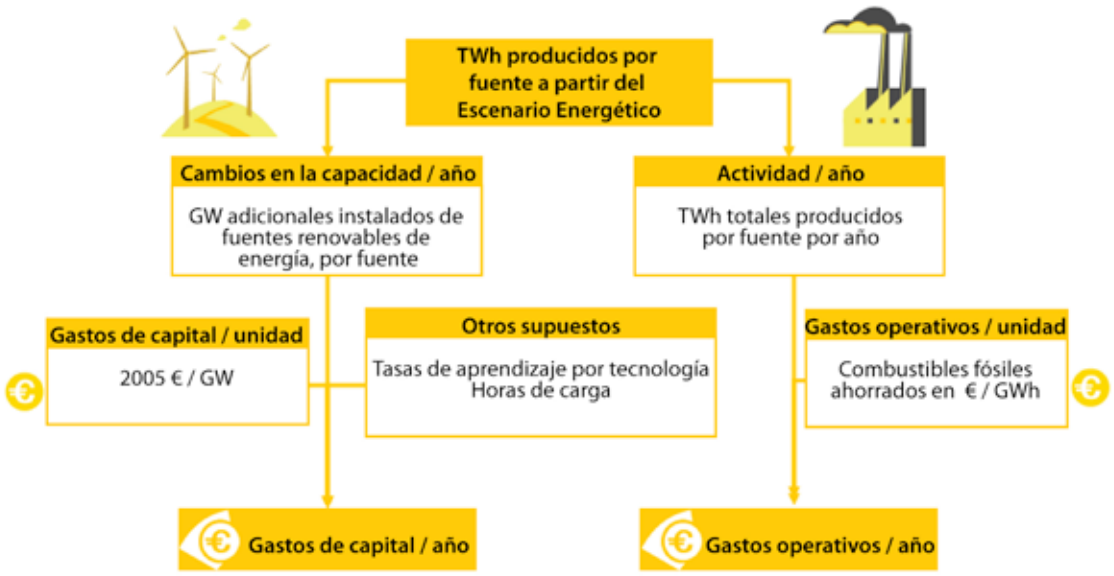

Gráfica 6 - 15 Resultados para el transporte - tecnología vehicular

**Principales conclusiones**

Como la Gráfica 6-15 muestra, las inversiones para tecnología vehicular alcanzan un pico de 835 mil millones de euros anuales en 2030. En cuanto a los otros sectores, los ahorros por mejoras en la eficiencia energética crecen más que las inversiones, lo que lleva a un ahorro anual de combustible de ~ 1.4 billones de euros para el año 2050. Mientras que los costos netos alcanzan un pico de 370 mil millones de euros en el año 2020, los ahorros netos aumentan a más de 900 mil millones de euros en el año 2050.

El ahorro de combustibles en el sector de tecnología vehicular para el transporte no considera las mejoras de línea base en la eficiencia energética de los vehículos. Con base en las modestas mejoras en eficiencia de combustibles del transporte carretero en los últimos 30 años, no sería absurdo suponer que los posibles ahorros de combustible por avances técnicos podrían haber sido compensados por la demanda de una mayor potencia en los motores, el aumento de peso y más equipamiento eléctrico.

## 6.6 Electricidad




Gráfica 6 – 16 Enfoque para Electricidad.

Los costos de los gastos de capital para electricidad se calculan a partir de la capacidad adicional y los costos unitarios. La capacidad adicional (en MW) por fuente se calcula con base en los datos de la actividad por tipo de fuente de energía renovable. Los costos unitarios de capacidad para las diferentes fuentes son tomados de la literatura, en su mayoría [Ecofys, 2009a], así como aportaciones de expertos. Solamente las inversiones de gastos de capital para fuentes de de electricidad movidas por la demanda han sido compensadas contra las inversiones de gastos de capital de las plantas convencionales que habrían sido construidas o reemplazadas en el escenario de referencia. Todas las inversiones de fuentes de electricidad movidas por la oferta han sido tratadas como totalmente adicionales, por ejemplo, la eólica y los sistemas fotovoltaicos. Por lo tanto representan una estimación alta.

Los costos calculados para los gastos de capital por fuente de energía renovables se muestran en la Tabla 6 – 4.

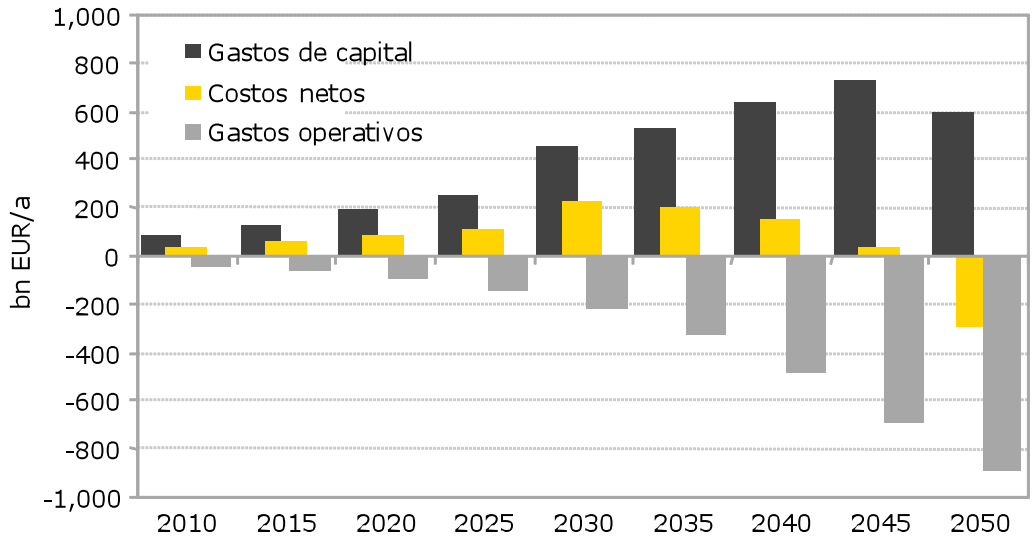
Tabla 6 – 4 Costos de capacidad para electricidad a partir de fuentes de energía renovables (en miles de EUR/MW).

| Fuente | Horas de carga | Relación de progreso | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eólica en tierra | 2000 | 0.85 | 1,200 | 1,000 | 800 | 800 | 700 |
| Eólica mar adentro | 3500 | 0.9 | 3,000 | 2,100 | 1,800 | 1,700 | 1,500 |
| Mareomotriz | 2500 | 0.9 | 3,600 | 3,100 | 2,800 | 2,500 | 2,300 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fotovoltaica | 1000 | 0.8 | 3,300 | 2,100 | 1,400 | 1,000 | 700 |
| Concentrador de solares | 4000 | 0.9 | 4,400 | 3,800 | 3,300 | 2,900 | 2,500 |
| Geotérmica | 7000 | 0.8 | 3,500 | 3,100 | 2,700 | 2,300 | 2,000 |
| Hidroeléctrica | 5000 | 1 | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 | 2,500 |

Los costos unitarios por capacidad hasta el año 2050 se derivan de la utilización de las inversiones actuales por MW como una base, así como por la aplicación de relaciones de progreso para periodos futuros.

Los costos de los gastos operativos son calculados utilizando la electricidad generada (en GWh) por fuentes renovables y los costos de combustibles fósiles para la mezcla de electricidad actual. Los costos operativos para electricidad proveniente de fuentes de energía renovable son estimados para ser balanceados con los ahorros en costos operativos para la electricidad convencional. Por lo tanto, los costos de los gastos operativos son los ahorros en los costos de combustible.



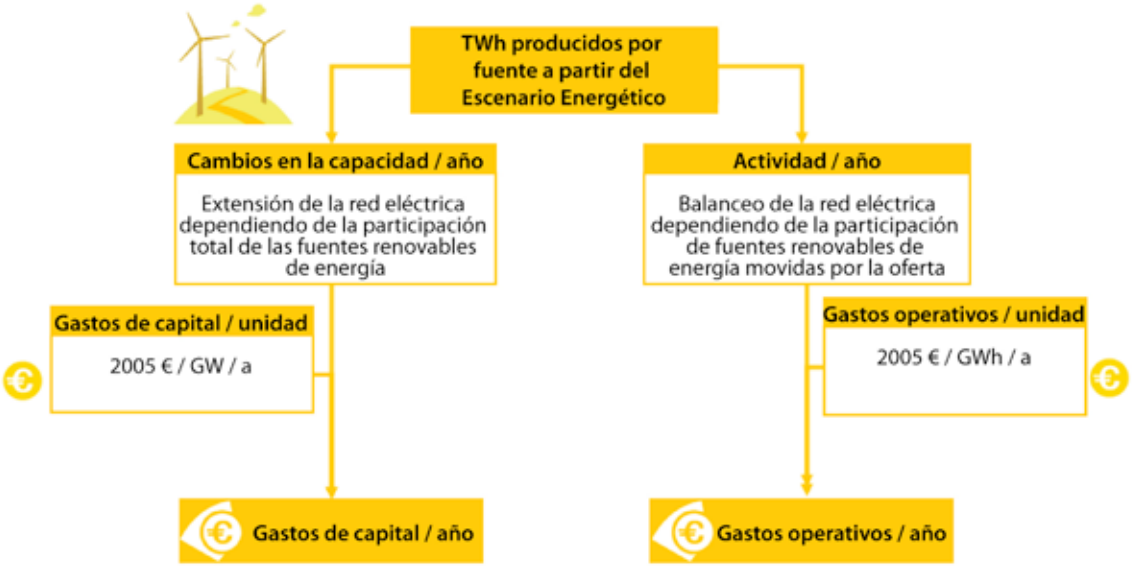

Gráfica 6 - 17 Resultados para electricidad.

## Principales conclusiones

Los costos de los gastos de capital siguen el crecimiento de las energías renovables en el Escenario y alcanzan su punto más alto de ~ 730 mil millones de euros en 2045. Apenas para el año 2050, los ahorros en combustibles (gastos operativos) empiezan a compensar los costos de inversión, y los costos netos se convierten en ahorros por ~ 300 mil millones de euros (veáse la Gráfica 6-17). Cabe destacar una vez más que presentamos cálculos de “flujo de efectivo” en este documento, los cuales conducen a ahorros netos sólo en los

últimos años del período. Considerando una base de costos nivelados,[61] las fuentes renovables de electricidad se vuelven más baratas que las fuentes convencionales mucho antes del 2050.

## 6.7 Redes eléctricas



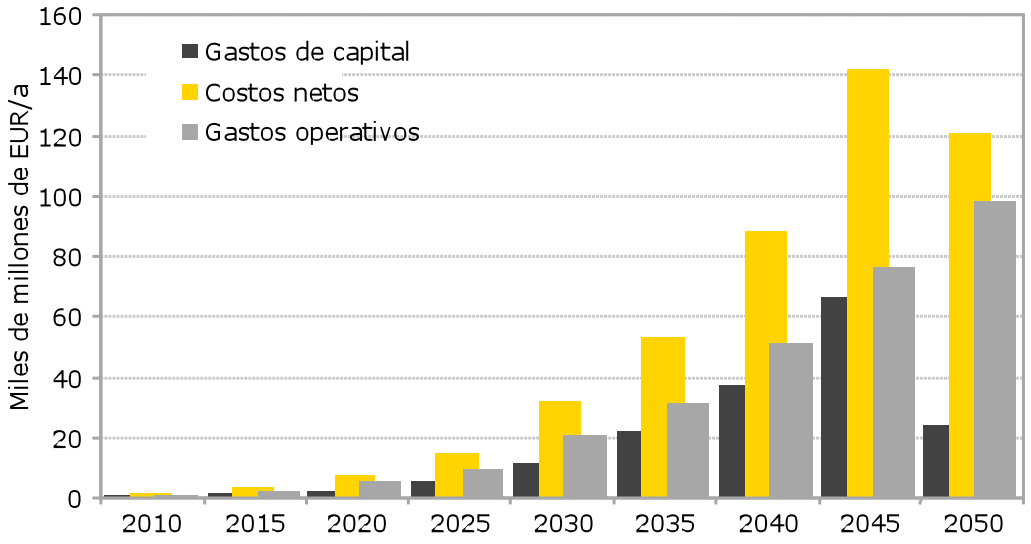

Gráfica 6 - 18 Enfoque para redes eléctricas.

En general, cabe señalar que existen muy pocos estudios sobre inversiones y ahorros para sistemas eléctricos a gran escala con una participación de fuentes de energía renovable superior al 30% [DCEN 2008, GreenNet EU-27, 2005, DCEN 2009]. Lo anterior dificulta el proporcionar buenas estimaciones de los costos y ahorros asociados. A continuación intentamos cuantificar los impactos económicos potenciales como resultado de las actualizaciones del sistema eléctrico supuesto en el Escenario Energético.

Los costos para redes eléctricas consisten en costos para la extensión y reforzamiento de la red (gastos de capital) y balanceo de la red (gastos operativos). Los requerimientos para la capacidad de extensión y reforzamiento de la red eléctrica se calculan a partir de los datos de producción de electricidad con fuentes de energía renovable del Escenario. La capacidad de la red eléctrica en un momento dado está relacionada con la generación adicional de energía renovable al año del período siguiente. Los costos de los gastos de capital se calculan multiplicando los datos de capacidad con los costos unitarios de la extensión y reforzamiento de la red. Los costos unitarios son extrapolados de [GreenNet EU-27, 2005] Estos valores de la literatura dependen de la participación de las fuentes de energía renovable en la generación total de electricidad, lo que indica que la mayor participación de las energías renovables lleva a mayores costos unitarios.

Los costos derivados del balanceo de la red eléctrica son calculados con base en la generación anual de electricidad a partir de fuentes movidas por la oferta (eólica en tierra, eólica mar adentro y fotovoltaica y sus respectivos costos unitarios). Los costos unitarios también se basan en [GreenNet EU-27, 2005] Dependen de la participación de la electricidad renovable con fuentes movidas por la oferta, conduciendo a mayores costos unitarios por balanceo en la medida que esta participación aumenta.

Con base en el enfoque mencionado anteriormente, tanto los gastos de capital como los costos operativos para redes eléctricas son positivos, contrariamente a otros sectores donde los ahorros compensan las inversiones.




Gráfica 6 - 19 Resultados para redes eléctricas.

**Principales conclusiones**

Como se muestra en la Gráfica 6-19, los costos por balanceo de las redes eléctricas se elevan a casi 100 mil millones de euros al año globalmente en 2050. Estos costos siempre son superiores a los costos de los gastos de capital (extensiones en la red eléctrica), los cuales alcanzan su punto más alto en ~ 70 mil millones de euros. Ambos costos conducen a costos netos máximos de aproximadamente 140 mil millones de euros.

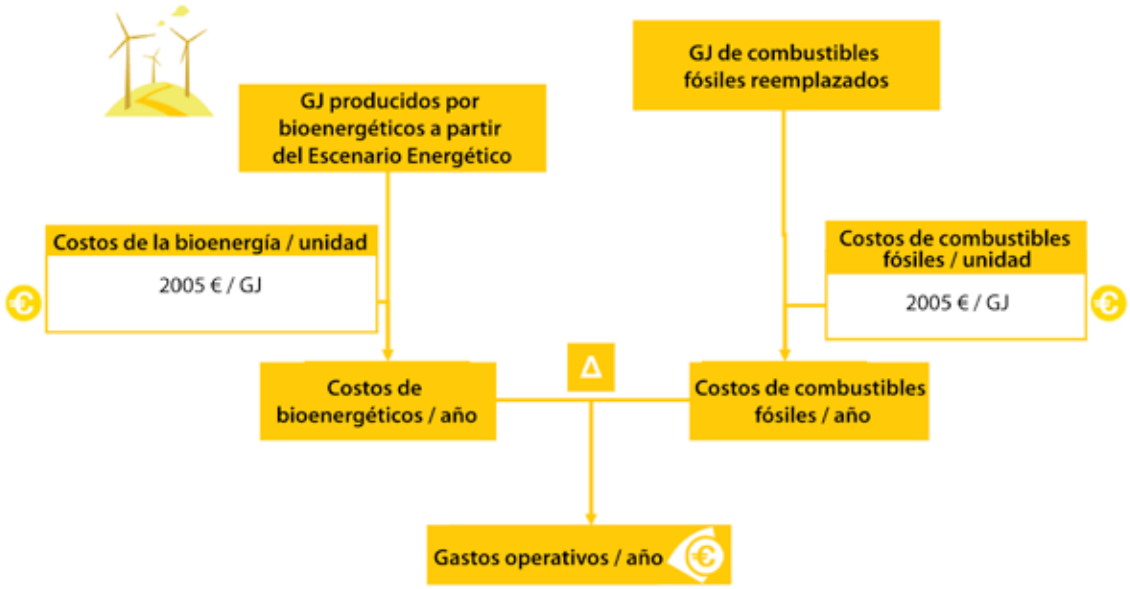
Dado que los costos tanto de los gastos de capital como de los gastos operativos aumentan constantemente hasta 2045, del mismo modo aumentan los costos netos. Debido a una fuerte disminución de los costos de gastos de capital en el año 2050, los costos netos también disminuyen a 120 mil millones de euros al año en 2050. Esta fuerte disminución es el resultado del supuesto de que la mayor parte de la extensión y reforzamiento de la red tendrán lugar para el año 2045, dado a la participación de las fuentes de energía renovables en la mezcla eléctrica próximas a ser el 100% de la oferta.

## 6.8 Calor y combustibles renovables

Los costos netos del calor y combustibles renovables fueron calculados de:

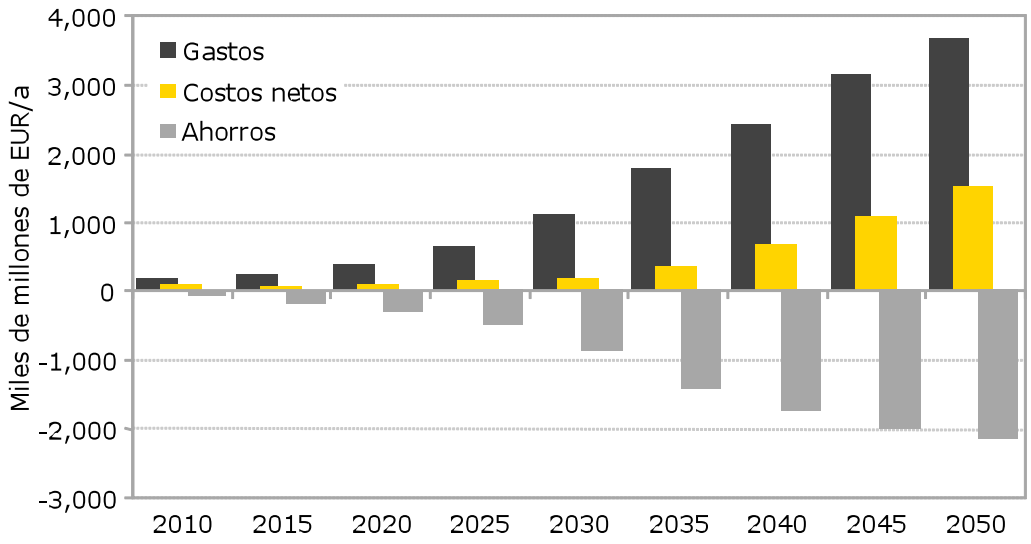
- Los costos del calor geotérmico y por concentradores solares, así como los costos por biomasa convertida en combustible,

- Los ahorros en términos de combustibles convencionales para calor no usados.




Gráfica 6 - 20 Enfoque para la bioenergía.

Los costos para el calor renovable son tomados de fuentes de la literatura. Los costos de los gastos operativos para los combustibles se basan la oferta anual de bioenergía utilizada en el Escenario Energético, así como en los precios de la bioenergía y los combustibles convencionales por tipo de combustible. Los precios de los biocombustibles se calculan, tomando como punto de partida, al utilizar los precios promedio actuales por combustible y al usar una función de crecimiento que se relaciona con las mejoras tecnológicas como consecuencia del aprendizaje, así como rendimientos menores, marginales y promedio de los cultivos, dado el incremento en el uso del suelo menos fértil. Los costos de la bioenergía no incluyen los costos de los gastos de capital para las plantas tales como bio-refinerías, dado que pueden estar balanceados por los menores costos para las plantas y refinerías convencionales. Los precios de los combustibles convencionales reemplazados para calefacción y consumo de combustibles se toman del conjunto principal de los precios que se utilizan a lo largo de los cálculos de los costos.




Gráfica 6 - 21 Resultados para calor y combustibles renovables.

**Principales conclusiones**

La Gráfica 6 – 21 muestra los gastos en ascenso continuo para calor y combustible renovable llevando a un aumento de los costos netos de 1.5 billones de euros al año en 2050, a pesar del aumento en los ahorros. Esto es debido principalmente al hecho de que los precios de la bioenergía son modelados para aumentar con la demanda, incrementando los costos de rendimiento marginal los cuales superan las economías de escala de un mercado creciente. En relación con el cambio fundamental a uso de bioenergía entre 2010 y 2050, estos supuestos tienen incertidumbres altas y por lo tanto, se construyeron desde un punto de vista conservador (= altos aumentos en los costos). Se puede esperar que una visión más optimista con mayores economías de escala y menores incrementos en los precios cambie los resultados considerablemente.

## 6.9 Investigación y desarrollo

Los costos de la investigación y desarrollo (I&D) incluyen solamente los costos de gastos de capital. Estos costos se calculan a partir de las inversiones en gastos de capital por sectores e intensidades de I&D sectoriales específicas. Las inversiones en I&D para un determinado período de 5 años se basa en las inversiones de gastos de capital para ese sector en el período siguiente.

Las intensidades específicas de I&D por sector se supone son aproximadamente de 7% en promedio, dependiendo del sector. De acuerdo con el desarrollo tecnológico necesario para el Escenario Energético, asumimos mayores participaciones para

- industria
- transporte (tecnología vehicular) y
- sectores de redes eléctricas,

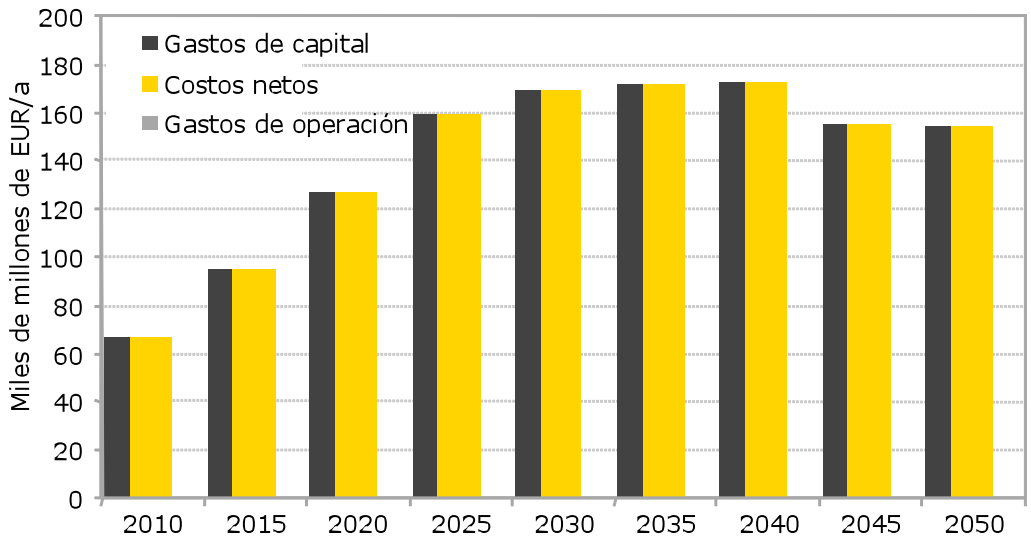
y menores participaciones para

- edificios,
- infraestructura (Infraestructura para el transporte).
- electricidad
- calor y combustibles renovables

Gráfica 6 – 22 Enfoque para investigación y desarrollo.

## Principales conclusiones

La Gráfica 6 – 22 muestra que las inversiones en I&D se elevan a ~ 170 mil millones de euros en 2040 y disminuyen un poco después. Alcanzan los 155 mil millones de euros en el año 2050. Hasta el año 2025, el gasto en I&D en gran medida se dirige a sectores de la demanda de energía, especialmente el sector del transporte. Aunque este sector sigue siendo el destinatario principal, el destino de los recursos para I&D cambia parcialmente a los sectores de oferta de energía después de 2030, sobre todo la electricidad y los combustibles renovables.




Gráfica 6 – 23 Resultados para la investigación y desarrollo. Análisis de sensibilidad sobre precios de la energía.

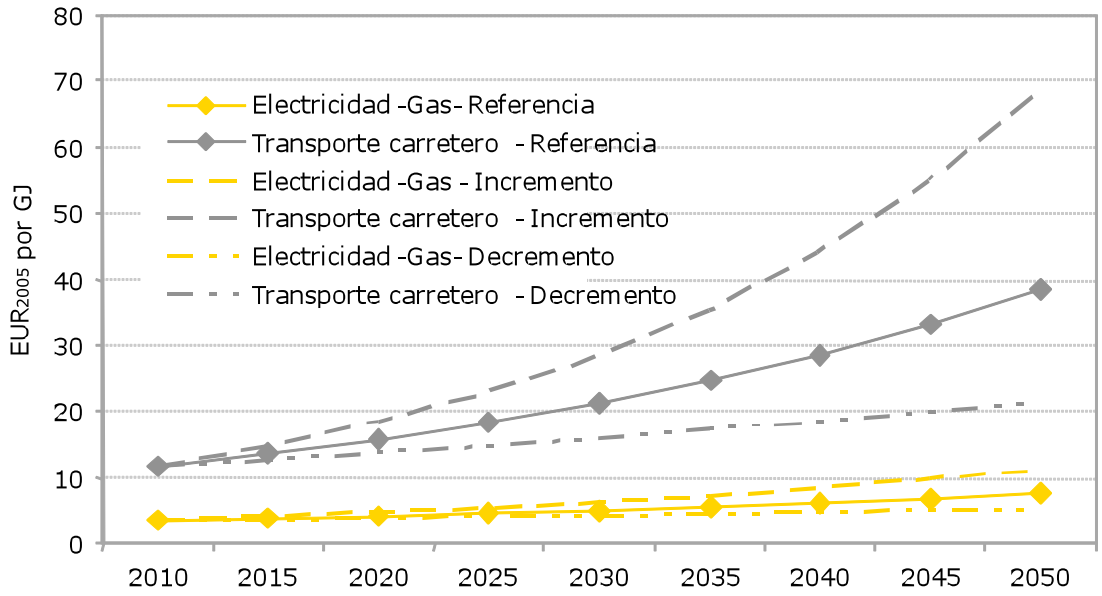
## 6.10 Análisis de la sensibilidad de los precios de la energía

La mayoría de los enfoques por sector descritos anteriormente calculan los costos de gastos operativos con base en los precios de los combustibles fósiles. En muchos casos, los costos de los gastos operativos consisten en sólo los gastos de los combustibles fósiles evitados. Por lo tanto, el conjunto de los precios de los combustibles fósiles para 2010-2050 es de vital importancia para los resultados generales.

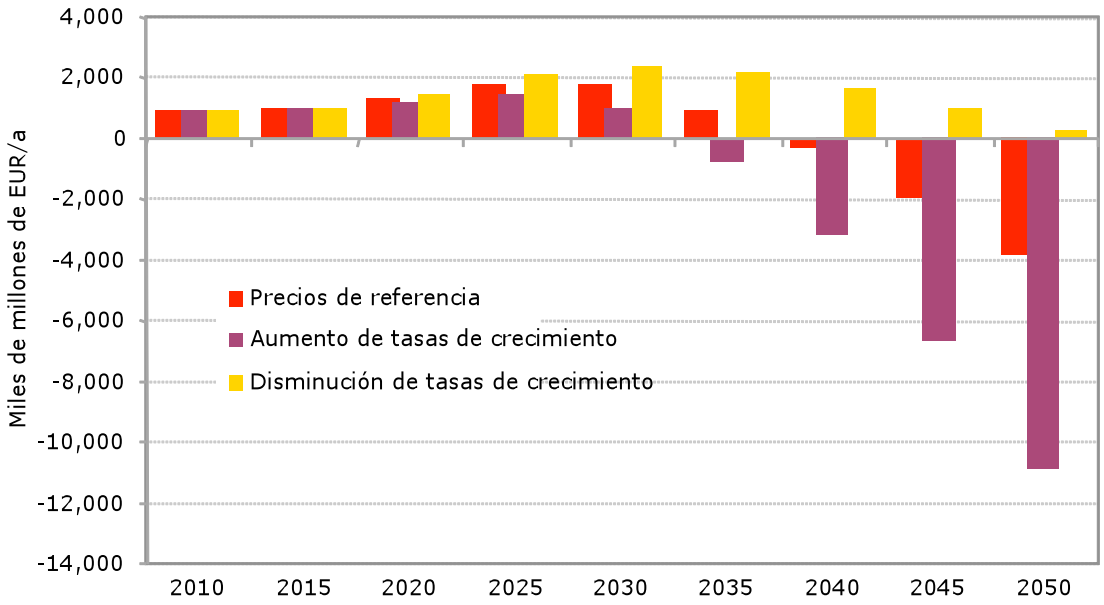
Las prospectivas de precio asumidas en el presente documento fueron examinadas contra otros estudios y se constató que son comparables. También se realizó un análisis de sensibilidad sobre los aumentos de precio supuestos. Las tasas de crecimiento para los diversos sectores y combustibles fueron variadas, entre + 50% y -50% para el presente análisis de sensibilidad. Los precios resultantes pueden verse en la Gráfica 6-24.

Los resultados del análisis de sensibilidad sobre los costos generales del Escenario se muestran en la Gráfica 6-25.[66] Un aumento en el crecimiento de los precios de los combustibles fósiles desde el 2% promedio anual en el caso de referencia a ~ 3%, lleva sólo a pequeños cambios hasta el año 2025, pero también triplica los ahorros para el año 2050. Por el contrario, una disminución de la tasa de crecimiento anual a un promedio de ~1.3% crea un escenario donde las inversiones superan los ahorros hasta 2050.

[66] Las columnas en rolo de los precios-caso de referencia en la Gráfica 6 – 25 son idénticos a las columnas en color amarillo con los resultados anuales netos en la Gráfica 6 – 3.




Gráfica 6 - 24 Rangos de precios de la energía utilizados para el análisis de sensibilidad.




Gráfica 6 - 25 Resultados netos para diferentes escenarios de precios de la energía.

## 6.11 Conclusiones

**Sensibilidad de los resultados**

Para una correcta comprensión de los resultados de los cálculos de costos, deben considerarse las incertidumbres inherentes en algunos parámetros.

Como se ha señalado anteriormente, los cálculos de costos para algunos sectores incluyen las relaciones de progreso. Estas relaciones de progreso se han calculado utilizando valores de la literatura, la experiencia de Ecofys sobre potenciales técnicos y el desarrollo de las respectivas tecnologías, así como todas las condiciones relacionadas con el Escenario Energético (por ejemplo, amplia aplicación, las tendencias del mercado hacia los productos más eficientes, las sinergias de otros sectores). Sin embargo, no puede omitirse que las relaciones de progreso para ciertas tecnologías y enfoques podrían estancarse en determinados puntos en el tiempo o para cantidades mayores de productos agregados. La suspensión respectiva de las reducciones de precios daría lugar a mayores costos de gastos de capital para la mayoría de los sectores. Este efecto podría ser compensado por las inversiones y el desarrollo de otras tecnologías, por ejemplo, si los precios para los módulos fotovoltaicos no se pueden reducir más, mayores inversiones en turbinas eólicas pueden acelerar las reducciones de precios para la energía eólica incluso antes de lo esperado. En cualquier caso, los desarrollos futuros de las relaciones de progreso y las reacciones del mercado respectivas son difíciles de estimar.

Incertidumbres similares se aplican a los precios de los combustibles fósiles y la bioenergía. En un mercado internacional, estos precios dependen de un delicado equilibrio entre la oferta y la demanda. Los ciclos económicos, así como las nuevas rutas de producción, pueden influir sobre los precios de mercado mundial considerablemente, aunque su influencia puede ser relativamente baja en relación con los volúmenes de comercio globales. Por lo tanto, incluso un pequeño cambio de bajos niveles de capacidad excedente a una cantidad relativamente pequeña de demanda sin cubrir, pueden conducir a grandes aumentos en los precios.

Debe señalarse también que los ahorros calculados para los costos de combustible utilizan los precios de la energía estimados dentro de una línea base, es decir, la mayor dependencia y demanda por combustibles fósiles. En este Escenario Energético, donde los combustibles fósiles son reemplazados por las energías renovables, estos precios podrían disminuir considerablemente. Sin embargo y dado que los costos calculados se entienden como los costos en comparación con una línea base, es conveniente utilizar los precios de los combustibles fósiles de línea base para calcular estos costos.

### Conclusión

La mayoría de los cálculos de costo asumen que las políticas y medidas más eficaces van a facilitar los cambios necesarios en los mercados respectivos. Esto puede incluir la aplicación de planes de investigación, subsidios, impuestos adicionales y otros esquemas de incentivos basados en el mercado. Aunque el Escenario Energético no hace una diferenciación entre ciertos grupos de inversionistas y de beneficiarios, la experiencia sugiere la necesidad de financiamiento público en las primeras etapas de una tecnología, para que los instrumentos basados en el mercado dirijan los flujos de inversión en las etapas posteriores. La elección e implementación de políticas y la distribución resultante de los costos y beneficios son, sin embargo, específicas para condiciones sectoriales y nacionales, lo cual está fuera del alcance del Escenario Energético.

Los costos y beneficios económicos percibidos, tanto para los inversionistas como el público en general son también una función del clima de inversiones económicas en nuevas tecnologías e infraestructura. En muchos

países, no hay condiciones económicas o políticas equitativas entre los sistemas de energía renovables y no renovables. El retorno de inversión requerido para inversiones en una oferta de energía sostenible no está asegurado, por ende las inversiones en tecnologías insostenibles continúan.

Un ejemplo clave son los subsidios globales a los combustibles fósiles. Según las evaluaciones recientes de la IEA y la OCDE [OCDE, 2010], los subsidios ascienden a unos 700 mil millones de dólares por año, que representan entre ~ 20-50% de las necesidades de gastos de capital para nuevas tecnologías en cada año entre hoy y el 2025. Por lo tanto, es importante crear una igualdad de condiciones. Un cambio de estos subsidios a tecnologías energéticas sostenibles podría ayudar aun más a movilizar los gastos de capital requeridos para hacer la transición al sistema energético planteado en este Escenario, al tiempo que evitaría consecuencias sociales negativas por la eliminación de los subsidios a la energía.

# 7 Consideraciones de política

## 7.1 La necesidad de contar con políticas

El Escenario Energético presenta un cambio radical de nuestro sistema actual de uso de la energía. Plantea el más rápido y posible despliegue de opciones de energía sostenible y eficiencia energética. Evidentemente el contexto político actual no sería capaz de cumplir este Escenario. Por lo cual se debe establecer un entorno económico y de política pública adaptado a permitir la conversión energética.

Esto requerirá de un análisis detallado de los posibles instrumentos y las mejores prácticas actuales a nivel regional. En esta Sección, ofrecemos una breve descripción e ideas, pero esto no puede sustituir a un análisis exhaustivo de las políticas requeridas para hacer el Escenario Energético una realidad.

## 7.2 Objetivos de política

Las condiciones básicas que permiten al Escenario Energético ser actualizado se presentan en las Tabla 7-1 y Tabla 7-2 y pueden resumirse de la siguiente forma:

Los **organismos públicos** a todos los niveles tienen dos funciones claves:

Creación del marco correcto para permitir la transición energética, por ejemplo, normas obligatorias de desempeño en todos los sectores de la demanda, crear condiciones equitativas para todas las fuentes de energía y ofrecer incentivos para el despliegue de tecnologías de energía renovable.

Inversión en gran infraestructura, especialmente en el transporte público y redes eléctricas, proyectos de I&D en sus primeras etapas, para garantizar la innovación continua, tanto en la oferta como en la demanda.

Los **actores privados**, tanto los consumidores como las empresas, también tienen participar activamente al:

- Operar bajo una perspectiva de largo plazo, lo que resulta en la adopción de las mejores prácticas en eficiencia energética.

- Canalizar inversiones hacia las opciones energéticas más eficientes y renovables.

Aunque una discusión de política pública exhaustiva está más allá del alcance de este informe, a continuación presentamos los requisitos mínimos pedidos por el Escenario Energético al entorno de políticas con el fin de convertirlo en realidad.

Para cada sector o subsector clave, se presenta el objetivo principal. Para cada objetivo, se indican algunos posibles ejemplos de diseño de política pública y obstáculos potenciales.

Tabla 7 - 1 Panorama general de las necesidades críticas de política pública.

| | Demanda | | | Oferta |
|---|---|---|---|---|
| | Edificios | Transporte | Industria | |
| Establecimiento de **marcos regulatorios** consistentes y ambiciosos | • Incentivos para el logro de **niveles de desempeño** de las mejores tecnologías disponibles[67]<br>o En 5-10 años[68] para todos los edificios nuevos.<br>o En 20-30 años[68] para los edificios existentes (reconversión).<br>• Incrementar dinámicamente las normas de eficiencia energética para todos los productos consumidores de energía, con base en las mejores tecnologías disponibles. | • **Normas de desempeño** sobre eficiencia en el uso de combustibles para todos los modos de transporte.<br>• Incentivo para cambiar a trenes, especialmente para carga. | • Incentivos para el logro de niveles de desempeño de las mejores tecnologías disponibles.[67]<br>o Ahora para todas las nuevas plantas.<br>o En 10 – 20 años para todas las existentes.<br>• Tasas óptimas de reciclaje.<br>• Incentivos para estimular la I&D industrial.<br>• Investigación y despliegue de nuevos materiales renovables de alta duración. | • Esquemas de apoyo completos, fiables y flexibles para incentivar el despliegue de tecnologías de energía renovable.<br>• Obligaciones de conexión para operadores de la red eléctrica.<br>• Optimización de los procesos de planeación.<br>• Incentivos para estimular las inversiones en infraestructura de redes eléctricas. |
| **Inversión pública** | • Apoyos para las inversiones en reconversiones de edificios. | • **Inversiones** en trasporte público, por ejemplo, infraestructura para trenes eléctricos. | • I&D de nuevos procesos de producción.<br>• Infraestructura de reciclaje. | • I&D en estabilidad dinámica de redes eléctricas, así como en redes inteligentes. |

[67] Mejores tecnologías disponibles en el contexto del sector Edificios se entiende como edificios de muy bajo consumo de energía o consumo cero de energía, en relación con la norma de "casa pasiva" desarrollada en Alemania.

[68] Es preciso tomar en cuenta que todas las escalas de tiempo en esta tabla se refieren al contexto mundial. Se espera que algunas regiones, en particular las regiones industrializadas, se muevan mucho más rápidamente.

Tabla 7 - 2 Panorama general de las necesidades críticas de política pública.

| | Demanda | | | Oferta |
|---|---|---|---|---|
| | **Edificios** | **Transporte** | **Industria** | |
| Permitir el liderazgo **privado** | • Incorporar los más **altos niveles de desempeño** en los proyectos de edificios. | • Impulsar el desarrollo y despliegue de medios de transporte **con el más alto rendimiento.**<br>• Incentivos fiscales u otros incentivos financieros para **dirigir las inversiones del sector privado hacia vehículos híbridos y eléctricos.** | • Incorporar los más **altos niveles de desempeño** en todas las plantas nuevas.<br>• Mejorar el desempeño de las plantas existentes bajo una **visión de largo plazo.** | • Impulsar el **desarrollo y despliegue** de fuentes de electricidad renovables. |
| **Dirigir los flujos de las inversiones** | • Políticas públicas diseñadas para crear **aprovechamiento de inversiones privadas** a través de la cadena de valor de innovación para Investigación> Desarrollo > Demostración > Despliegue.<br>• Énfasis en asociaciones público-privadas para demostrar, desplegar y disminuir los costos de las soluciones energéticas sostenibles.<br>• Dirigir las inversiones privadas a las soluciones sostenibles al ofrecer a **los bancos préstamos de bajos intereses de fondos públicos.**<br>• Incremento en el destino de capital para **inversiones semilla** en negocios asociados con tecnologías de energías limpias.<br>• Incrementar los flujos de fondos a tecnologías limpias en sus primeras etapas, a través de **fondos públicos de apoyo** que reduzcan los riesgos de rechazo a la tecnología limpia en los mercados de capital. | | | |

### 7.2.1 Demanda

Una gama de políticas asociadas con la demanda serían necesarias para garantizar la adopción de medidas de eficiencia de energía ambiciosas y una mayor electrificación.

A continuación se detallan algunos de los objetivos políticos y posibles medidas:

En el sector de **edificios**, los objetivos de política incluyen aumentar la eficiencia térmica del edificio en sí, así como reducir la demanda de energía de los aparatos eléctricos y la iluminación.

Tabla 7 - 1 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: reconversiones.

| EDIFICIOS | EFICIENCIA TÉRMICA – IECONVERSIONES |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Reconversión de todos los edificios residenciales para o antes del 2050, es decir, con tasas de reconversión de 2-3% por año.<br>• Reconversiones que resulten en la reducción del consumo de calor en un 80% en promedio o más y que sirva para cubrir la demanda restante a través de sistemas solares térmicos y bombas de calor. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Iniciativas de apoyo de financiamiento público.<br>• Asociaciones con las empresas energéticas para financiar medidas a través de una cuota de las reducciones en la factura eléctrica. | • Es necesario el apoyo a la inversión inicial en virtud de los largos tiempos de recuperación de la inversión y los considerables costos iniciales.<br>• Problemas relacionados con la propiedad del inmueble.[69] |

Los niveles de conversión son actualmente entre 0.5-1% en la mayoría de las regiones, por lo que los niveles requeridos presentados en el Escenario representan un aumento considerable.

[69] Los problemas relacionados con la propiedad de inmueble se refieren a la situación donde quien toma las decisiones para las inversiones no es la misma persona que podría beneficiarse con la misma. Esto puede crear barreras para realizar inversiones rentables. Un ejemplo clásico son las medidas de eficiencia energética en los edificios no son propiedad de sus ocupantes: la inversión debe hacerse por parte del propietario, pero las reducciones en la factura eléctrica son beneficiosas para el inquilino.

Tabla 7 - 2 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: edificios nuevos.

| EDIFICIOS | EFICIENCIA TÉRMICA – EDIFICIOS NUEVOS |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Transitar progresivamente hacia una norma de uso casi cero de la energía para el año 2030. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Normas de edificios ambiciosas para nuevos inmuebles.<br>• "Predicar con el ejemplo": Adoptar esta norma para todos los edificios públicos. | • Inversiones iniciales.<br>• Problemas por la propiedad del inmuebles.<br>• Requerimientos de capacitación. |

Tabla 7 - 3 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector de Edificios: aparatos y sistemas de iluminación.

| EDIFICIOS | APARATOS ELÉCTRICOS Y SISTEMAS DE ILUMINACIÓN |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Transitar agresivamente a las tecnologías más eficientes. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Incrementar dinámicamente las normas de eficiencia energética con base en las mejores tecnologías disponibles para todos los equipos consumidores de energía, incluyendo los sistemas de iluminación. | • Racionalidad limitada.[70]<br>• Efectos de rebote en el uso de electricidad de ciertos aparatos eléctricos. |

En el sector Transporte, de pasajeros y de carga, existen cuatro factores a ser considerados por las políticas en este sector:

- Actividad
- Estructura (cambio modal)
- Intensidad
- Combustible

[70] La racionalidad limitada es la comprensión de los procesos de toma de decisiones, la cual reconoce que los individuos u organizaciones no siempre pueden tomar las decisiones más racionales, sino que sus decisiones son altamente dependientes de la información a la cual tienen acceso. En este contexto, queremos reconocer que uno de los obstáculos a la implementación de aparatos eléctricos eficientes en los hogares es la falta de información o la simple falta de consideración.

Tabla 7 - 4 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Transporte: cambio modal

| TRANSPORTE | ACTIVIDAD Y ESTRUCTURA (INCLUYENDO CAMBIO MODAL) |
|---|---|
| **OBJETIVO DE LA POLÍTICA** | |
| • Mover a los grandes volúmenes de pasajeros actuales y futuros a los modos más eficientes de transporte, tales como los medios no motorizados, el ferrocarril y los modos de transporte carretero compartidos. Actualmente, estos pasajeros viajan de manera individual vía aérea o por carretera.<br>• Transitar hacia las alternativas para proporcionar servicios, a través de la planeación regional, tales como la videoconferencia para viajes de negocios y menores viajes de traslado del hogar al trabajo. | |
| **EJEMPLOS** | **BARRERAS Y AMENAZAS** |
| • Políticas que generen un transporte público de alta calidad a precios competitivos.<br>• Desincentivar el uso del automóvil e incentivar el uso de otros modos, por ejemplo, cargos por congestión, esquemas de renta de bicicletas públicas.<br>• Ordenación sostenible del territorio urbano para poder tener sistemas locales y / o de bajo consumo de energía.<br>• Sistemas férreos de alta velocidad entre grandes centros urbanos para suplir los viajes aéreos de corta y media distancia. | • Grandes inversiones para actualizar los sistemasde transporte público.<br>• Percepción pública. |

Tabla 7 - 5 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Transporte: electrificación.

| TRANSPORTE | INTENSIDAD Y COMBUSTIBLES (INCLUYENDO ELECTRIFICACIÓN) |
|---|---|
| **OBJETIVO DE POLÍTICA** | |
| • 100% de los vehículos serán eléctricos o híbridos antes del 2050.<br>• 100% de los vehículos de carga para cortas distancias serán eléctricos antes de 2050.<br>• 100% del transporte ferroviario será eléctrico para el 2050.<br>• Introducción de biocombustibles sostenibles (se muestra también en el siguiente apartado) | |
| **EJEMPLOS** | **BARRERAS Y AMENAZAS** |
| • Catalizar el establecimiento de redes de carga eléctrica de vehículos<br>• Normas de desempeño para vehículos | • Grandes inversiones para electrificar sistemas ferroviarios, lo cual es difícil en regiones de baja densidad.<br>• Inversiones en redes de carga eléctrica de vehículos. |

En el sector **Industrial**, muchas políticas diversas pueden visualizarse para lograr la eficiencia tanto de la energía como de los materiales.

Tabla 7 - 6 Sugerencias de políticas del lado de la demanda para el sector Industrial.

| INDUSTRIA | EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE MATERIALES |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Minimizar el uso de energía y los materiales en la producción industrial.<br>• Re-utilización a nivel de consumidor final.<br>• Tasas óptimas de reciclaje. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Normas de desempeño más estrictas para las instalaciones actuales y nuevas.<br>• Esquemas de reuso, por ejemplo, para botellas de vidrio.<br>• Reciclaje moderno para infraestructura y gestión.<br>• Nuevos materiales. | • Inversiones requeridas para actualizar las instalaciones existentes.<br>• Inversiones requeridas para incrementar el reciclaje.<br>• I&D requeridas para mejorar la eficiencia de los materiales. |

## 7.2.2 Oferta (con la excepción de la bioenergía)

Algunos esfuerzos ya están en marcha en diversas partes del mundo para estimular el crecimiento de las energías renovables y la carrera radica en construir la experiencia técnica y capitalizar los beneficios económicos y sociales.

Tabla 7 - 7 Sugerencias de política del lado de la oferta: calor y electricidad renovables.

| ELECTRICIDAD | CALOR Y ELECTRICIDAD RENOVABLES |
|---|---|
| OBJETIVO DE POLÍTICA | |
| • Rápido y continuo despliegue de fuentes de energía renovables para usos eléctricos y térmicos. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Sistemas de tarifas tipo “feed-in” para proporcionar señales de precios de largo plazo.<br>• Racionalización de los procesos de planeación.<br>• Apoyo en I&D. | • Integración a la red. |

Como se refiere anteriormente, el requerimiento clave para el sector eléctrico en este Escenario Energético es la disponibilidad de las redes eléctricas para una nueva etapa en la mezcla de electricidad diversificada.

Tabla 7 - 8 Sugerencias del lado de la oferta: redes eléctricas.

| ELECTRICIDAD | DISPONIBILIDAD DE SISTEMAS ELÉCTRICOS |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Asegurar que los sistemas eléctricos sean capaces de manejar grandes participaciones de fuentes de electricidad movidas por la oferta. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Incrementar la capacidad de transmisión.<br>• Desarrollo de métodos de almacenamiento de energía.<br>• I&D en la gestión de sistemas eléctricos inteligentes. | • Redefinición de la gestión de sistemas eléctricos necesarios.<br>• Grandes inversiones requeridas para infraestructura de redes eléctricas. |

La oferta de energía en el sector rural de los países en desarrollo actualmente depende, en gran medida, de biomasa sólida bajo un uso ineficiente y altos niveles de contaminación. En el Escenario Energético, el supuesto es lograr una transición completa a un uso limpio y eficiente de las energías renovables. Para llevar a cabo tal transición, **son necesarios incentivos de mercado adecuados, no sólo desalentar el uso de la energía insostenible, sino también impulsar a los diversos usos de la energía renovable**. Los fondos del Banco Mundial, los fondos de financiamiento oficial para el desarrollo (ODA, por sus siglas en inglés) y otras formas de financiamiento público pueden desempeñar un papel de apoyo en esta transición y ya no deben utilizarse para expandir el uso de sistemas energéticos basados en fósiles.

Tabla 7 - 9 Sugerencias de política del lado de la oferta: transición energética para los sectores rurales.

| ELECTRICIDAD | TRANSICIÓN ENERGÉTICA PARA LOS SECTORES RURALES |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Crear el entorno de mercado adecuado para unatrasición a energía limpia, confiable y accesible para los sectores rurales en los países en desarrollo. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y ACTORES |
| • Uso directo de calentamiento solar.<br>• Uso eficiente de recursos de biomasa. | • Requerimientos de inversiones.<br>• Subsidios establecidos para los combustibles fósiles. |

### 7.2.3 Bioenergía

La Sección 5 del presente reporte demuestra que la bioenergía puede cubrir la demanda necesaria mientras sea sostenible y logre importantes reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero. El logro de este objetivo requiere de un marco de política sólido para garantizar que la oferta de bioenergía se esté desarrollando conforme a los criterios de sostenibilidad sugeridos en la Sección 5.2. Esta Sección proporciona información general, sugerencias de política y ejemplos para

alcanzar este objetivo; no es una visión general de todas las políticas necesarias. Se categoriza alrededor de los cuatro temas de la bioenergía sostenible (véase Sección 5.2):

- Uso de suelo y seguridad alimentaria
- Insumos agrícolas y de procesamiento
- Residuos y desperdicios
- Talas complementarias

### Uso de suelo y seguridad alimentaria

Es vital para proporcionar servicios humanos tales como alimentos, alimentos para animales, fibra, un espacio para vivir y energía de forma sostenible, garantizando que las funciones de los ecosistemas naturales son conservadas. Esto significa hacer acuerdos internacionales sobre el ordenamiento del uso de suelo y la política agrícola necesarios para alcanzar este objetivo. Estos acuerdos deben ser de carácter global para ser aplicados a todos los sectores, incluyendo el sector alimentario y el sector químico, así como el sector de la bioenergía. El uso de suelo para el desarrollo humano también tiene que ser planificado cuidadosamente para reducir al mínimo la expansión a aquellas áreas que son más adecuadas para la agricultura. Si solamente se regulara el sector de la bioenergía y otros sectores fuesen descuidados, los efectos de filtración ocurrirían del sector de la bioenergía a los otros sectores no regulados.

En caso de que tales acuerdos se aplicaran e hicieran efectivos globalmente, habría una necesidad limitada por sistemas individuales de certificación de la sostenibilidad. Sin embargo, los sistemas de certificación pueden ser desarrollados para el sector de la bioenergía y ser aplicados de manera complementaria al desarrollo de políticas. Esto además garantiza la sostenibilidad y mejora la experiencia y el diálogo sobre el tema. La Tabla 7-12 proporciona más sugerencias para políticas necesarias, así como ejemplos.

Tabla 7 - 10 Sugerencias de política para la bioenergía: uso de suelo.

| BIOENERGÍA | USO DE SUELO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| Gestión de todos los nuevos usos de suelo para que no existan desplazamientos de funciones importantes de la tierra: protección de la biodiversidad y ecosistemas, sumideros de carbono, desarrollo humano, el suministro de alimento para ganado, alimentos y fibra.<br>• Desarrollar un marco tal y su certificación correspondiente para biomasa y bioenergía como un sector pionero en ello. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Acuerdo internacional sobre gestión del uso de suelo.<br>• Programa internacional de I&D para agricultura sostenible.<br>• Esquemas de certificación de biomasa y bioenergía sostenible, complementarios al desarrollo de políticas.<br>• Para el ejemplo de integración de caña de azúcar y ganado, véase el Cuadro 5-2. | • Los diferentes intereses nacionales (económicos) pueden detener el acuerdo internacional.<br>• La necesidad de un sistema integral de seguimiento de la cadena de la bioenergía. |

### Insumos agrícolas y de procesamiento

Se deben desarrollar políticas que proporcionen incentivos para reducir al mínimo los insumos agrícolas y maximizar la recuperación de estos insumos. La Tabla 7-13 contiene más sugerencias de políticas y ejemplos de este tipo. Además, las políticas incentivadoras del despliegue de tecnologías de energía renovable deben permitir a la industria de fertilizantes de nitrógeno cambiar a la energía y a fuentes de materia prima sostenibles, como se describe en la Sección 5-4.

Tabla 7 - 11 Sugerencias de políticas y ejemplos para la bioenergía: insumos agrícolas y de procesamiento.

| BIOENERGÍA | INSUMOS AGRÍCOLAS Y DE PROCESAMIENTO |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Cerrar los ciclos de los fertilizantes agrícolas.<br>• Cerrar los circuitos del agua en las plantas de procesamiento. | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Incentivos para minimizar los insumos agrícolas a partir de la agricultura de precisión.<br>• Un marco de política para la recolección de fertilizantes a partir de residuos y desperdicios. | • Falta de atractivo económico a los bajos precios de los fertilizantes agrícolas.<br>• Lenta difusión del conocimiento agrícola necesario para la agricultura de precisión. |

## Residuos y desperdicios

Dado que los residuos y desperdicios son un producto derivado de otros procesos, su máxima utilización sostenible para fines energéticos es un objetivo importante. Cualquier esfuerzo de política debería tener en cuenta cuales subproductos ya tienen otro uso, asegurando que el uso de los residuos y desperdicios para fines energéticos no cause efectos indeseables de desplazamiento. Otro aspecto importante es mejorar la infraestructura para la recolección de residuos y desperdicios, de tal forma que todos los residuos y desperdicios generados pueden utilizarse de forma eficiente y rentable. Esto se resume en la Tabla 7-14.

Tabla 7 - 12 Sugerencias de política y ejemplos para la bioenergía: Residuos y desperdicios.

| BIOENERGÍA | RESIDUOS Y DESPERDICIOS |
|---|---|
| OBJETIVO DE LA POLÍTICA | |
| • Hacer disponible el potencial de sostenibilidad para el sector energético de los residuos y desperdicios, a fin de asegurar el uso completo de este potencial.[6] | |
| EJEMPLOS | BARRERAS Y AMENAZAS |
| • Esquemas que incentiven el uso de residuos y desperdicios para fines bioenergéticos. | • Dificultades para definir e identificar que los materiales de residuos y desperdicios no tengan ningún uso alternativo.<br>• Falta de atractivo económico de la recolección de residuos y desperdicios debido a la falta de infraestructura. |

## Talas complementarias

Nueva biomasa se está creando continuamente en los bosques. Una parte de este crecimiento puede ser cosechada de manera sostenible y utilizada para fines energéticos.

El Escenario Energético incluye a la biomasa de leña a partir de la explotación sostenible del crecimiento de bosque adicional y una parte de la biomasa que previamente fue utilizada como biomasa tradicional. Este potencial excluye la madera de los bosques sin perturbar y las especies no comerciales, a fin de garantizar la conservación de bosques y de la biodiversidad.

Las políticas en materia de talas complementarias por lo tanto, deben estar dirigidas a identificar ubicaciones y las cantidades de crecimiento de bosques para ser cosechadas en forma sostenible y asegurar la protección del resto del bosque. Este enfoque de las políticas puede complementarse con sistemas de certificación de recursos forestales adecuadamente gestionados. Esto se resume en la Tabla 7-15.

Tabla 7 - 13 Sugerencias de política y ejemplos para la bioenergía: talas complementarias.

| **BIOENERGÍA** | **TALAS COMPLEMENTARIAS** |
|---|---|
| **OBJETIVO DE LA POLÍTICA** | |
| • Identificación de ubicaciones y cantidades de crecimiento de bosques que pueden ser cosechados en forma sostenible, asegurándose de que los otros bosques permanecen intactos. | |
| **EJEMPLOS** | **BARRERAS Y AMENAZAS** |
| • Un marco de política para el manejo sostenible de los recursos forestales.<br>• Esquemas de certificación para recursos forestales manejados adecuadamente. | • Dificultad para desarrollar evaluaciones sobre bosques y cosechas controladas especialmente en ubicaciones remotas. |

## 7.3 Recomendaciones

A pesar de que las políticas son necesarias para abordar todos los sectores del sistema energético, algunas necesidades de política son más apremiantes que otras, dado que representan **factores promotores**: no hacerles frente tendrá repercusiones para las probabilidades de éxito en uno o varios otros sectores.

Los dos **factores promotores clave** en el presente Escenario Energético son:

- Fuertes medidas de eficiencia de energía acoplada con la electrificación para la demanda restante.

- La preparación de nuestras redes eléctricas para hacer frente a la creciente demanda de electricidad renovable, movida por la oferta.

Además, un conjunto de política y reglas de mercado deben aplicarse, lo que asegura la salvaguarda de la sostenibilidad del uso de la biomasa para energéticos.

Los requisitos de política restantes no pueden ser priorizados fácilmente. Deben abordarse para permitir la ejecución del Escenario y que la clasificación de objetivos dependa fuertemente del contexto local.

Existen, sin embargo, algunas políticas que:

- tienen un tiempo de retraso largo antes de su plena implementación,
- tienen efectos en las décadas siguientes,
- dependen solamente de las tecnologías maduras, o
- tienen periodos de retorno de la inversión muy cortos.

Y por lo tanto, se puede considerar merecen una atención inmediata. Las políticas para edificios, las cuales abordan tanto las reconversiones, los edificios nuevos y las inversiones en infraestructura de las redes eléctricas podrían considerarse también como candidatas para políticas críticas.

Se ha sugerido que la fijación de precios al carbono podría generar resultados en todos los frentes, dado que es un instrumento único que podría utilizarse para conducir las políticas de todos los sectores.[71] No existe tal solución milagrosa. [72] En la práctica, una combinación de políticas siempre se requiere para incentivar efectivamente a la diversidad de sectores y tecnologías. Se requieren nuevos métodos para integrar el riesgo y el costo real de nuestros recursos energéticos, a fin de asegurar el re direccionamiento hacia soluciones de energía sostenible.

El beneficio del Escenario Energético es que podría constituir la base para establecer un conjunto claro de indicadores sobre las repercusiones de las políticas en cada sector, por ejemplo:

- ¿Cuál es la cantidad promedio de energía usada en la economía para producir una tonelada de acero?

- ¿Qué tal lejos hemos llegado en términos de la adopción del 100% de los automóviles eléctricos o híbridos?

- ¿Cuál es la participación de tráfico de pasajeros efectuado a través de los ferrocarriles en lugar de por carreteras?

- ¿Cuántas de nuestras casas han sido reconvertidas a normas de desempeño energético mínimo? y ¿estamos todavía permitiendo la construcción de casas sin criterios de bajo o nulo consumo de energía?

---

[71] Es preciso anotar que se trata de un Escenario Energético, centrado primordialmente en el establecimiento de un sistema energético sostenible, y en una segunda instancia considera la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Mientras que muchas políticas encaminadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero también pueden tener un efecto en el sistema energético, a menudo no lo hacen y por lo tanto, se perdería el objetivo con respecto a este Escenario.

[72] Por ejemplo, para los sectores con baja elasticidad de precios, un precio de carbono no sería necesariamente el instrumento más efectivo, dependiendo del sector y las circunstancias locales.

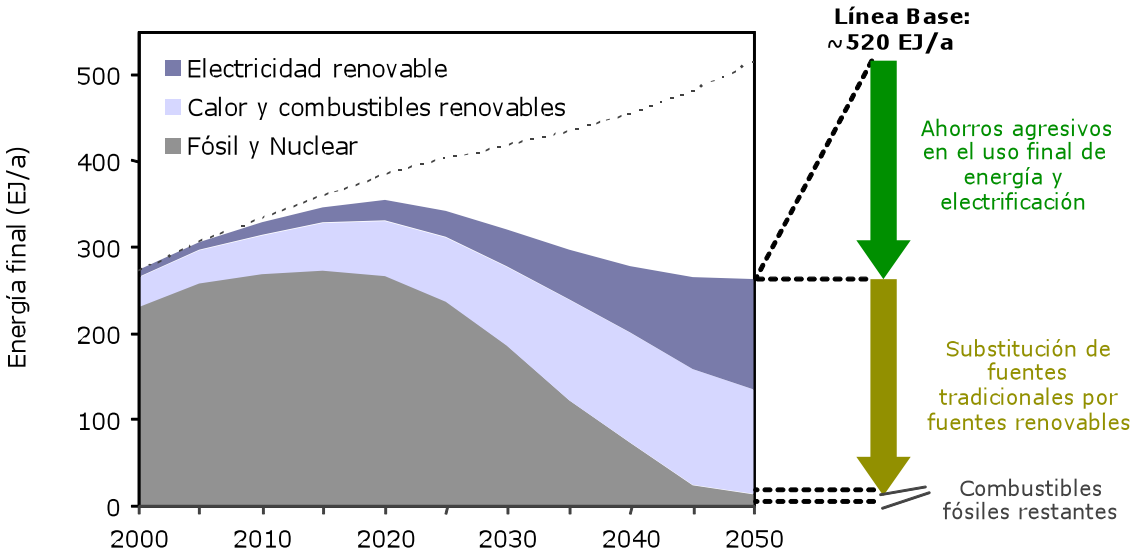
- ¿Cuál es la participación de la electricidad renovable en nuestra economía local?
- ¿Cuánta de nuestra bioenergía es obtenida de manera sostenible?

Pueden pronosticarse muchos diseños de políticas diferentes a niveles diferentes de la sociedad: en el vecindario, en la ciudad, a nivel regional, nacional o internacional. En última instancia, no importa cuál política sea usada. El desafío es encontrar un conjunto de instrumentos que cubra las necesidades en todos los sectores de manera amplia y coordinada. Esto es particularmente importante en caso de que las políticas y medidas se implementen a un nivel regional o local.

# 8 Conclusiones

Un sistema energético global totalmente renovable es posible a nivel mundial: podemos alcanzar una oferta de energía procedente de fuentes sostenibles de 95% para el año 2050.

Existen inversiones iníciales que se requieren para hacer esta transición en las próximas décadas (1-2% del PIB mundial), pero estas inversiones se convertirán en un flujo de caja positivo después de 2035, llevando a un resultado positivo anual de 2% del PIB en el año 2050.[73]




Gráfica 8 - 1 Evolución de la oferta de energía en el Escenario Energético, mostrando los desarrollos clave.

Los retos clave para lograr esta transición dependen de los siguientes factores:

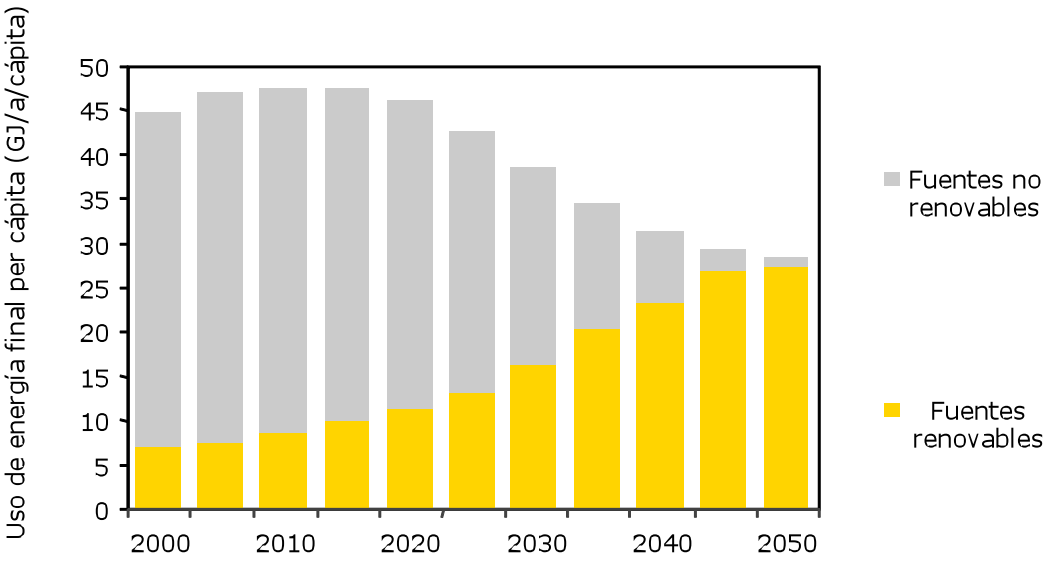
- La **electrificación ambiciosa** de todos los sectores de la demanda, a fin de canalizar la demanda hacia el uso de electricidad para la cual existen una multitud de opciones de energías renovables.

- La oferta de **combustibles renovables**, particularmente para el transporte, en tanto que las opciones de combustibles están limitadas a la biomasa o el hidrógeno, en cuyo caso debe existir la infraestructura adecuada.

- Un **despliegue rápido de las tecnologías necesarias**, con suficiente rapidez para que resulte en la existencia de un sistema energético totalmente sostenible para el año 2050.

[73] Las reducciones de las emisiones de $CO_2$ durante el periodo 2010-2050 y posteriormente, representan un valor económico adicional significativo.

- Podemos suministrar **suficiente biomasa sostenible** para cubrir nuestras necesidades, pero necesitamos:
    - Un uso de suelo adecuadamente manejado.
    - Medidas de eficiencia energética desplegadas a su máxima expresión




Gráfica 8 - 2 Evolución per cápita de la demanda de energía de fuentes renovables y no renovables.

# Appendix A A Gráficas clave

Tabla A - 1 Oferta de energía global por fuente y por año (EJ/a).

| Fuente | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Electricidad total (EJ/a)** | **45.7** | **60.0** | **71.9** | **85.7** | **103.5** | **127.4** |
| Eólica: en tierra | 0.2 | 1.4 | 6.7 | 14.3 | 22.0 | 25.3 |
| Eólica: mar adentro | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 1.3 | 3.4 | 6.7 |
| Mareomotriz | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.9 |
| Solar fotovoltaica | 0.0 | 0.1 | 0.7 | 6.5 | 16.9 | 37.0 |
| Concentradores solares: electricidad | 0.0 | 0.1 | 0.6 | 3.9 | 13.7 | 21.6 |
| Hidroeléctrica | 7.9 | 11.3 | 13.4 | 14.4 | 14.8 | 14.9 |
| Geotérmica | 0.1 | 0.3 | 0.7 | 1.7 | 3.4 | 4.9 |
| Biomasa | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 16.2 |
| Carbón | 18.2 | 21.5 | 14.8 | 10.0 | 5.4 | 0.0 |
| Gas | 8.6 | 14.0 | 25.6 | 28.3 | 20.1 | 0.0 |
| Petróleo | 4.2 | 3.1 | 2.5 | 1.4 | 0.5 | 0.0 |
| Nuclear | 6.5 | 8.2 | 6.5 | 3.8 | 1.2 | 0.0 |
| **Combustibles y calor para la industria (EJ/a)** | **63.7** | **79.1** | **82.3** | **74.6** | **63.0** | **59.0** |
| Concentradores solares: calor | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 2.6 | 8.8 |
| Geotérmica | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 1.6 | 2.9 |
| Biomasa | 1.0 | 6.1 | 16.9 | 31.3 | 40.7 | 34.8 |
| Combustibles fósiles | 62.7 | 72.9 | 65.0 | 42.2 | 18.0 | 12.5 |
| **Combustibles y calor para Edificios (EJ/a)** | **77.7** | **86.0** | **87.4** | **67.8** | **47.4** | **24.1** |
| Solar térmica | 0.0 | 0.7 | 3.3 | 11.9 | 16.0 | 12.6 |
| Geotérmica | 0.2 | 0.5 | 1.5 | 4.1 | 10.5 | 8.4 |
| Biomasa | 33.4 | 33.2 | 29.2 | 14.2 | 10.2 | 3.1 |
| Combustibles fósiles | 44.1 | 51.6 | 53.5 | 37.6 | 10.6 | 0.0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Combustibles para el Transporte (EJ/a)** | **86.2** | **102.6** | **111.6** | **91.3** | **62.3** | **50.8** |
| Biomasa | 0.7 | 4.8 | 12.9 | 29.7 | 45.7 | 50.8 |
| Combustibles fósiles | 85.5 | 97.8 | 98.8 | 61.7 | 16.6 | 0.0 |
| **Gran total (EJ/a)** | **273.4** | **327.6** | **353.3** | **319.4** | **276.2** | **261.4** |

Tabla A - 2 Oferta global de energía por fuente y por año (EJ/a) - Porcentajes.

| Fuente | 2000 | 2010 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Electricidad total (EJ/a)** | **45.7** | **60.0** | **71.9** | **85.7** | **103.5** | **127.4** |
| Eólica: en tierra | 1% | 2% | 9% | 17% | 21% | 20% |
| Eólica: mar adentro | 0% | 0% | 1% | 1% | 3% | 5% |
| Mareomotriz | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Solar fotovoltaica | 0% | 0% | 1% | 8% | 16% | 29% |
| Concentradores solares: electricidad | 0% | 0% | 1% | 5% | 13% | 17% |
| Hidroeléctrica | 17% | 19% | 19% | 17% | 14% | 12% |
| Geotérmica | 0% | 1% | 1% | 2% | 3% | 4% |
| Biomasa | 0% | 0% | 0% | 0% | 2% | 13% |
| Carbón | 40% | 36% | 21% | 12% | 5% | 0% |
| Gas | 19% | 23% | 36% | 33% | 19% | 0% |
| Petróleo | 9% | 5% | 3% | 2% | 0% | 0% |
| Nuclear | 14% | 14% | 9% | 4% | 1% | 0% |
| **Combustibles y calor para la industria (EJ/a)** | **63.7** | **79.1** | **82.3** | **74.6** | **63.0** | **59.0** |
| Concentradores solares: calor | 0% | 0% | 0% | 1% | 4% | 15% |
| Geotérmica | 0% | 0% | 0% | 1% | 3% | 5% |
| Biomasa | 1% | 8% | 21% | 42% | 65% | 59% |
| Combustibles fósiles | 98% | 92% | 79% | 57% | 29% | 21% |
| **Combustibles y calor para Edificios (EJ/a)** | **77.7** | **86.0** | **87.4** | **67.8** | **47.4** | **24.1** |
| Solar térmica | 0% | 1% | 4% | 17% | 34% | 52% |
| Geotérmica | 0% | 1% | 2% | 6% | 22% | 35% |
| Biomasa | 43% | 39% | 33% | 21% | 22% | 13% |
| Combustibles fósiles | 57% | 60% | 61% | 56% | 22% | 0% |
| **Combustibles para el Transporte (EJ/a)** | **86.2** | **102.6** | **111.6** | **91.3** | **62.3** | **50.8** |
| Biomasa | 1% | 5% | 12% | 32% | 73% | 100% |
| Combustibles fósiles | 99% | 95% | 88% | 68% | 27% | 0% |
| **Gran total (EJ/a)** | **273.4** | **327.6** | **353.3** | **319.4** | **276.2** | **261.4** |

## B 1 Evolución de la actividad industrial

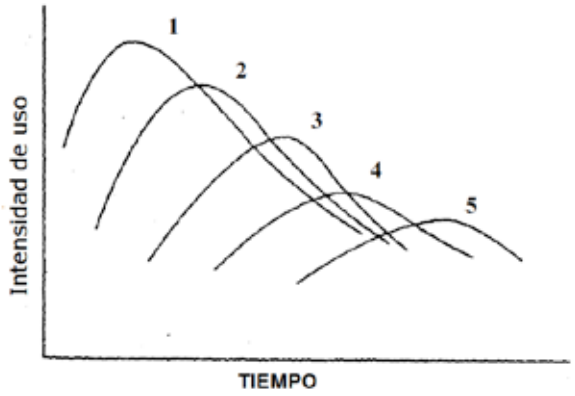
La evolución futura del consumo per cápita de la producción industrial se piensa está estrechamente relacionada con el PIB per cápita. Esta relación puede ser representada por las curvas de "intensidad de uso" en las cuales el consumo de materiales por unidad de PIB se expresa en función del PIB per cápita. El supuesto de la intensidad de uso postula un aumento en el consumo de materiales por unidad de PIB con aumento del PIB per cápita en un principio, seguido por una disminución una vez que una economía se ha desarrollado suficientemente. Se ha observado empíricamente el comportamiento de la curva de intensidad de uso para algunos sectores[74] [Neelis, 2006; Groenenberg, 2002; Schenk, 2006].

Como resultado de los avances tecnológicos, se puede esperar que las economías de más retrasado desarrollo tengan un punto máximo más bajo de producción/consumo industrial (de [Schenk, 2006; Bernardini, 1993]). La Gráfica B-1 presenta una forma estilizada de curvas de intensidad de uso con estos dos elementos:

- La creciente intensidad de uso llegando a un punto máximo, seguida de una disminución una vez que una economía se ha desarrollado (es decir, muchos materiales se utilizan para construir la infraestructura básica de una economía en desarrollo).

- Una menor intensidad de materiales entre más tarde se desarrolle una economía (es decir, lleva menos materiales desarrollar ahora una economía que hace 100 años).

El cómo estos dos elementos se traducen en consumo per cápita, no es sencillo. De conformidad con [Neelis, 2006] suponemos una saturación del consumo per cápita a largo plazo.




Gráfica B - 1 Curvas estilizadas de intensidad de uso (de [Bernardini, 1993]).

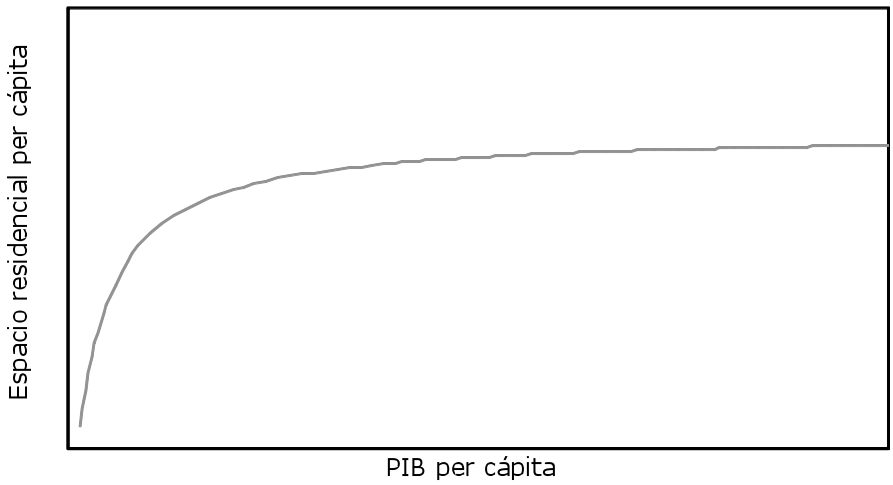
Aunque cabe señalar que los problemas del comercio, la sustitución de materiales y muchos elementos de los cambios societales significan que estas relaciones son difíciles de observar empíricamente, aun así las hemos utilizado para hacer suposiciones más certeras sobre los niveles

[74] Es preciso tomar en cuenta que nos interesa la producción en este Escenario, porque está relacionada con el uso de energía, mientras que las curvas de intensidad de uso, por lo general les interesa el consumo. Una vez que nos situamos en el plano mundial, la diferencia entre ambas es insignificante.

de producción industrial en el futuro, más allá de la simple extrapolación de las tendencias históricas.

## B 2 Evolución de la actividad en Edificios

La evolución futura del espacio residencial en el Escenario Energético se calcula multiplicando el número de la población futura con una estimación sobre la superficie de piso construidos en el futuro per cápita. La evolución del área de piso construido per cápita parece estar estrechamente relacionada con el PIB per cápita.




Gráfica B - 2 Relaciones estilizadas entre el área de piso construido y el PIB per cápita. [IEA, 2004]

Aunque los números confiables para determinar el espacio absoluto de pisos construidos no están disponibles para todas las regiones del mundo, las respectivas tasas de crecimiento aproximado de espacio construido per cápita pueden vincularse a esa relación. Esto significa que, para las regiones en desarrollo situadas a la izquierda de la curva, se estima una tasa de crecimiento de espacio construido residencial per cápita más grande, pero para las regiones desarrolladas, el espacio residencial construido per cápita crece muy lentamente, o incluso no crece.

# Appendix C Anexo C Supuestos sobre la bioenergía

El Escenario Energético utiliza estos puntos de entrada principales para realizar la modelización de la bioenergía:

- Los residuos sostenibles y desperdicios potenciales que se describe en la Sección 5.6. Para los residuos potenciales, se utilizaron estimaciones sobre la fracción recuperable de los residuos. Estas estimaciones se especifican en el Anexo A3.
- La hectárea potencial para cultivos energéticos sostenibles tal y como se describe en la Sección 5.3.
- El potencial de talas complementarias sostenibles, tal y como se describe en la Sección 5.5.
- El potencial de las algas sostenibles, tal y como se describe en la Sección 5.7.

Para calcular la demanda que se puede cubrir con base en el apartado anterior, el Escenario Energético utiliza dos fuentes de datos adicionales:

- Los rendimientos de los cultivos energéticos en las circunstancias previstas. Una visión general de estos rendimientos figura en el Anexo A.4.
- Las eficiencias de las tecnologías de conversión utilizadas para satisfacer la demanda. En el Anexo A.5 se presenta una visión general de estas eficiencias.

## C 1 Fracciones recuperables

Hemos llevado a cabo un estudio de la literatura existente para obtener los potenciales de los residuos, utilizados en el Escenario. En algunos casos, estos potenciales se encontraron directamente en la literatura, sin embargo, en la mayoría de estos casos, estos potenciales se calcularon utilizando nuestros propios análisis. En estos casos, referimos a las fracciones recuperables de la literatura, siempre que fue posible. Las estimaciones de expertos de Ecofys fueron utilizadas en el caso que no se contaba con valores a partir de la literatura. Posteriormente, hemos adaptado algunos de los valores de fracciones recuperables obtenidos, para adaptarlos a los principios del Escenario y los desarrollos futuros.

En la práctica, esto significa que los siguientes obstáculos para la disponibilidad de residuos fueron adaptados regularmente:

- Viabilidad económica: en la medida en que la infraestructura (agrícola) mejora y el valor de los residuos para propósitos energéticos se incrementa en el plazo de Escenario, las barreras económicas para la recolección de residuos disminuyen.

- Reciclaje de fertilizantes: los residuos agrícolas primarios, en muchos casos, quedan en la tierra para reciclar los fertilizantes contenidos en ellos. Esta práctica puede ser adaptada, de acuerdo con el marco del Escenario para el reciclaje de fertilizantes después de que, por ejemplo, la energía se ha extraído de los residuos, al devolver a la tierra los productos de la biodigestión de los residuos. Esto significa que estos residuos pueden ser usados para suministrar energía así como fertilizantes reciclados.

La Tabla C-1 muestra una perspectiva general de las fracciones recuperables adaptadas y las no adaptadas, incluyendo el razonamiento y las fuentes para determinar los valores.

Tabla C - 1 Fracciones recuperables de residuos utilizadas en el Escenario Energético.

| Cosecha | Región | Original | Razonamiento | Referencia | En el Escenario | Razonamiento para la modificación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Cereales | OCDE | 25% | 15-25% arado nuevamente por razones de sostenibilidad, uso para corrales de animales (entre 30-50%), 10% de las pérdidas, usos económicamente factible/otros usos 25-40 % | Fischer 2007, Ericsson 2005 | 35% | Factibilidad económica mejorada |
| | No OCDE | 30% | 15-25% arado nuevamente por razones de sostenibilidad, uso para corrales de animales (estimado 20%), 10% de las pérdidas, usos económicamente factible/otros usos (principalmente electrificación rural) 50-60 % | Fischer 2007, Lewandowski 2005, Ericsson 2005 | 40% | Factibilidad económica mejorada |
| | China | 21% | 2% papel, 28% forraje, 54% energía rural, 16% reciclado y recolección | Zeng 2007 | 30% | Factibilidad económica mejorada |
| Arroz (como una categoría de los cereales) | Todas | 21% | Basado en cereales de China: 2% papel, 28% forraje, 54% energía rural, 16% reciclado y recolección | Zeng 2007 | 30% | Factibilidad económica mejorada |
| Colza | OCDE | 25% | Igual a cereales | Fischer 2007, Ericsson 2005 | 35% | Factibilidad económica mejorada |
| | No OCDE | 30% | Igual a cereales | Fischer 2007, Lewandowski 2005, Ericsson 2005 | 40% | Factibilidad económica mejorada |
| | China | 21% | Igual a cereales | Zeng 2007 | 30% | Factibilidad |

| Cosecha | Región | Original | Razonamiento | Referencia | En el Escenario | Razonamiento para la modificación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | económica mejorada |
| Soya | OCDE | 25% | Igual a cereales | Fischer 2007, Ericsson 2005 | 35% | Factibilidad económica mejorada |
| | No OCDE | 30% | Igual a cereales | Fischer 2007, Lewandowski 2005, Ericsson 2005 | 40% | Factibilidad económica mejorada |
| | China | 21% | Igual a cereales | Zeng 2007 | 30% | Factibilidad económica mejorada |
| Yuca | Todas | 25% | Similar a cereales, pero en lugar de uso en corrales, se usa para alimentar a los animales y como fertilizante | Fischer 2007, Ecofys expertise | 50% | Factibilidad económica mejorada; reciclaje de fertilizantes |
| Remolacha | OCDE | 25% | Igual a la Yuca | Fischer 2007, Ecofys expertise | 50% | Factibilidad económica mejorada debido a mejores tecnologías de recolección; reciclaje de fertilizantes |
| | No OCDE | 25% | Igual a la Yuca | Fischer 2007, Ecofys expertise | 50% | Factibilidad económica mejorada debido a mejores tecnologías de recolección; reciclaje de fertilizantes |
| Cáscaras de café | Todas | 25% | Estimado | | 75% | Alta viabilidad económica potencial porque es un residuo secundario y debido a mejoras en la infraestructura; cantidad limitada de usos en competencia |
| Aceite de palma - racimos de cáscaras de frutas | Todas | 25% | Estimado, incluye la devolución al campo y la incineración sin recuperación de energía | Dehue, 2006 | 70% | Alta viabilidad económica potencial porque es un residuo secundario. Dehue, 2006 indica que su uso como energético es más atractivo que |

| Cosecha | Región | Original | Razonamiento | Referencia | En el Escenario | Razonamiento para la modificación |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | otros usos. |
| Aceite de palma – efluentes del molino | Todas | 100% | Estimado, basado en el hecho de que es un desperdicio recolectado en las instalaciones de procesamiento de agua | | 100% | Estimado, basado en el hecho de que es un desperdicio recolectado en las instalaciones de procesamiento de agua |
| Bagazo de caña de azúcar | OCDE | 25% | Usado mayormente para autoabastecimiento de plantas de procesamiento, pero menos en las regiones que no forman parte de la OCDE | Maceido 2004, Damen 2001 | 19% | El Escenario asume un uso máximo en autoabastecimiento de plantas de procesamiento |
| | No OCDE | 19% | Uso máximo para autoabastecimiento de plantas de procesamiento | Maceido 2004, Damen 2001 | 19% | El Escenario asume un uso máximo en autoabastecimiento de plantas de procesamiento |
| Papas | OCDE | 25% | Estimado: residuo secundario cuyo principal uso en para alimentación de animales | | 50% | Residuo secundario altamente disponible. Asumimos que el uso para alimentar a animales es de 40%, las pérdidas de 10% y el 50% restante está disponible |
| | No OCDE | 25% | Estimado: residuo secundario cuyo principal uso en para alimentación de animales | | 55% | Residuo secundario altamente disponible. Asumimos que el uso para alimentar a animales es de 20%, las pérdidas (por falta de infraestructura) de 25% y el 55% restante está disponible |
| Grasa animal | Todas | 45% | Estimado basado en información europea sobre usos en competencia | Caparella 2009 | 45% | |

# C 2 Rendimientos de los cultivos energéticos

Tabla C - 2 Rendimientos de los cultivos energéticos usados en el Escenario Energético.

| Tipo de cultivo | Rango de rendimientos en todas las regiones (GJ/ha) | Comentarios |
|---|---|---|
| Aceites + grasas | 25–35 (~0.5–1 tonelada de aceite/ha) | • Equivale a ~22-31 GJ/ha de combustible para el transporte.<br>• El número incluye SOLO los rendimientos de aceite primario; los residuos agrícolas y de procesamiento se incluyen en otra sección.<br>• Cultivos representativos: Colza, soya y aceite de palma. |
| Azúcar+ remolacha | 62 – 121 (~4–7 tonelada de remolacha de azúcar /ha) | • Equivale a ~49-95 GJ/ha de combustibles para el transporte.<br>• El número incluye SOLO los rendimientos de azúcar primaria; los residuos agrícolas y de procesamiento se incluyen en otra sección.<br>• Cultivos representativos: caña de azúcar y maíz.<br>• Los más altos rendimientos en Sudamérica se deben a la adaptación para la caña de azúcar. |
| Cultivos (Ligno)celulósicos | 160 – 230 (~8–12 tonelada de materia seca/ha) | • Equivale a ~61-88 GJ/ha de combustibles para el transporte.<br>• El número incluye SOLO los rendimientos primarios; los residuos agrícolas y de procesamiento se incluyen en otra sección. |

Todos los rendimientos en la Tabla C-2 son:

- Adaptados para[75]:
  - Idoneidad del potencial sostenible de la tierra para el cultivo de un tipo dado.
  - Cultivo de temporal (sin irrigación[38]).
- Dado en rendimiento primario del producto principal. Otras fuentes de biomasa originarias de la misma hectárea (por ejemplo, el bagazo de caña de azúcar, los racimos de fruta vacía y el aceite de palma) se incluyen en los residuos obtenidos durante el procesamiento de la biomasa. Estos se cuantifican en la tabla de eficiencias de conversión en la Tabla C-3.

[75] La Sección 5.4. describe la metodología para adaptar los rendimientos a la disponibilidad de suelo apto para la agricultura de temporal.

## C 3 Eficiencias de tecnologías de conversión

Las eficiencias de las tecnologías de conversión de la bioenergía utilizadas en el Escenario Energético se basan en las mejores prácticas actuales. La Tabla C-3 proporciona los valores utilizados y, si es necesario, comentarios adicionales sobre el origen y la aplicación de estos valores de eficiencia.

Todas las eficiencias en la Tabla C-3 son por tipo de biomasa primaria al portador de la demanda. Todos los insumos agrícolas o de procesamiento que se requiera además del tipo de biomasa primaria se incluye en los comentarios (por ejemplo, procesamiento de calor y electricidad, calor utilizado para la producción de fertilizantes). Todos los residuos del procesamiento resultantes de la conversión también se incluyen en los comentarios (por ejemplo, los residuos tales como el bagazo de caña de azúcar, los racimos de fruta vacía de aceite de palma). Lo siguiente debe señalarse al interpretar los datos, por ejemplo, la eficiencia de conversión de (ligno) celulosa mediante la fermentación parece baja, pero la Gráfica ya incluye todos los insumos de calor y electricidad de procesamiento.

Tabla C - 3 Eficiencias de conversión de tecnología de bioenergía.

| Tecnología | Tipo de biomasa | Eficiencia de conversión | Comentarios |
|---|---|---|---|
| Aceite/ grasa a combustible | Aceite de cultivos | 88% | • La eficiencia es el producto del combustible comparado con el insumo de aceite.<br>• Los insumo adicionales por MJ de combustibles son: 0.14 MJ de calor, 0.01 MJ de electricidad.<br>• Los productos adicionales por MJ de combustible son: ~1.5 MJ de residuos por MJ de combustible. |
| | Aceite de algas | 80% | • La eficiencia es el producto del combustible comparado con el insumo e incluye los insumos de calor de proceso y electricidad.<br>• Los residuos de las algas se reciclan en la etapa del cultivo. |
| Fermentación | Remolacha o azúcar | 80% | • La eficiencia es el producto del combustible comparado con el insumo de caña de azúcar/remolacha.<br>• Los insumos adicionales por MJ de combustible son insumos adicionales por MJ de combustible: 0.25 MJ de calor, <0.01 MJ de electricidad.<br>• Los productos adicionales por MJ de combustible son: ~1.4 MJ de residuos por MJ de combustible. |
| | (Ligno)celulosa | 39% | • La eficiencia es el producto del combustible comparado con el insumo de (ligno) celulosa e incluye los insumos de procesamiento de calor y electricidad.<br>• Los productos adicionales por MJ de combustibles |

| Tecnología | Tipo de biomasa | Eficiencia de conversión | Comentarios |
|---|---|---|---|
| | | | son:~1.0 MJ de residuos por MJ de combustible. |
| Combustión[76] | Calor directo industrial | 100% | • Las eficiencias de conversión se incluyen efectivamente en los números de demanda de la industria.<br>• Son válidas para combustibles a partir de madera para papel y combustible para kiln de cemento. |
| | Desechos sólidos municipales | 78% (calor de baja temperatura) | • Se asumen bajas eficiencias en tanto que no es un combustible óptimo, tiene un proceso óptimo de combustión, así como requiere lavado del gas producido. |
| | | 73% (calor de alta temperatura) | |
| | | 30% (Electricidad) | |
| | Otros combustibles a base de biomasa | 95% (calor de baja temperatura) | • Basada en las mejores prácticas actuales |
| | | 90% (calor de alta temperatura) | |
| | | 40% (Electricidad) | |
| Biodigestión + actualización a gas de calidad para redes de distribución | Todos los residuos húmedos | 52% | • Basada en el 67% de eficiencia en la biodigestión<br>• Reducida por pérdidas en el lavado y compresión del gas<br>• El portador de uso final es biogás lavado, el cual es equivalente al gas natural |
| Bio digestió | Todos los residuos | 60% (calor de baja | • Basada en el 67% de eficiencia en la biodigestión<br>• La eficiencia de combustión hacia el portador de uso final |

[76] La combustión entendida en el presente documento puede ser combustión directa eficiente, pero también puede incluir procesos basados en la gasificación dependiendo de una situación dada.

| Tecnología | Tipo de biomasa | Eficiencia de conversión | Comentarios |
|---|---|---|---|
| n + combustión | húmedos | temperatura) | es equivalente a la combustión de "otros combustibles a base de biomasa". Excepción: 45% de eficiencia eléctrica porque se puede usar una turbina de gas. |
| | | 57% (calor de alta temperatura) | |
| | | 23% (Electricidad) | |
| Production de carbón vegetal | Toda la biomasa de madera | 40% | • Basada en las mejores prácticas actuales |

# Appendix D Anexo D Análisis de sensibilidad sobre la bioenergía

El escenario de energía utiliza 250Mha de tierra para los cultivos bioenergéticos. Una parte de estos cultivos está destinada para el combustible de transporte. Por lo tanto, es acertado conocer comprender la relación entre los supuestos de demanda en el transporte y la tierra necesaria para el cultivo de la bioenergía.

Aunque un análisis completo de escenarios múltiples estuvo más allá del alcance de este trabajo, se hicieron algunos cálculos básicos, con base en la participación relativa de los diversos sectores de la demanda, en el volumen total de los cultivos energéticos.

Estos cálculos se presentan, junto con el análisis de la demanda de alimentos y evolución de los rendimientos, en la Tabla D-1.

Tabla D - 1 Análisis básico de sensibilidad sobre cultivos bioenergéticos.

| Métrica | Ejemplo de cambio | Cultivos bioenergéticos | | Reducción en la demanda (EJ/a) | Área equivalente en caso de tratarse de cultivos bioenergéticos |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Disponibles | Utilizados | | |
| Escenario Energético (2050) | | 673 Mha | 250 Mha | | |
| Oferta: incremento anual de rendimientos | 0.4%–1.5% (en lugar de 1%) | 300–1,080 Mha | n/d | | |
| Demanda: Consumo de la producción animal | 25%–75% en lugar de 50% de consumo de carne en la OCDE | 350–1,270 Mha | n/d | | |
| Balance de la oferta y demanda de alimentos | La oferta es 90%–110% de la demanda en 2005, en lugar de ser igual | 500–800 Mha | n/d | | |
| Transporte total de carga | 10% de reducción | n/d | ± 0 Mha* | 1.6 | ~7 Mha |
| | 30% de reducción | n/d | ± 0 Mha* | 4.9 | ~21 Mha |
| Electrificación del transporte de carga | 50% en lugar de 30% de electrificación | n/d | ± 0 Mha* | 4.6 | ~20 Mha |

| Métrica | Ejemplo de cambio | Cultivos bioenergéticos | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Disponibles | Utilizados | | |
| Viajes de pasajero por avión | 10% de reducción | n/d | - 4 Mha | 1.4 | ~6 Mha |
| | 30% de reducción | n/d | - 11 Mha | 4.2 | ~19 Mha |

* para el 2050 todo el combustible para el transporte en el Escenario es suministrado por las cadenas de la bioenergía diferentes a los cultivos

# Appendix E Anexo E Perspectiva sobre la silvicultura

El diagrama de la Gráfica -E-1 es una visión general del flujo de productos forestales a través del sistema global. Además, indica cuales potenciales de residuos sostenibles, residuos y talas complementarias se incluyeron en el suministro de biomasa del Escenario Energético y en qué condiciones. En total, cuatro categorías se incluyen:

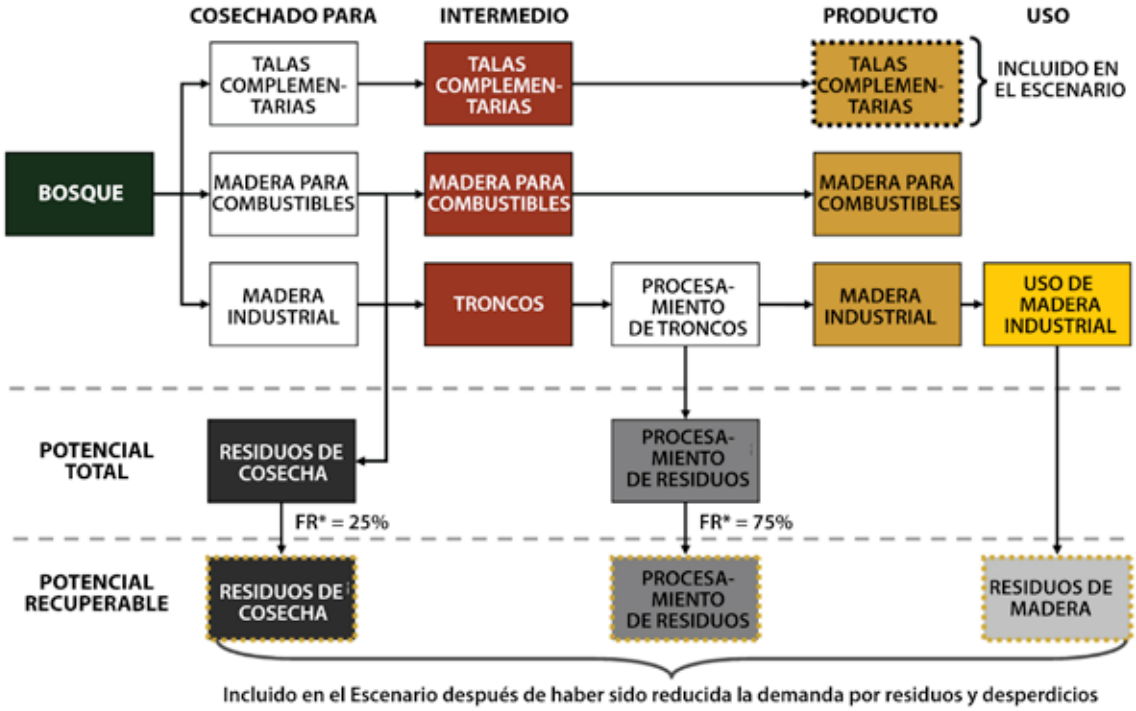
- Talas complementarias: la biomasa que puede ser cosechada de forma sostenible a partir del crecimiento adicional de bosque o de biomasa utilizada anteriormente para usos tradicionales. Consulte también la Sección 5.5.

- Recolección de residuos: residuos que estén disponibles en la recolección de leña y madera industrial. Se considera que el 25% de estos residuos es recuperable. Consulte también la Sección 5.6.

- Residuos de procesamiento: residuos que estén disponibles en la transformación de la madera industrial, por ejemplo, el aserrín. Se considera que el 75% de estos residuos es recuperable. Consulte también la Sección 5.6.

- Residuos de madera: residuos disponibles después de su uso, por ejemplo, residuos de madera en la demolición de edificios. Consulte también la Sección 5.6.

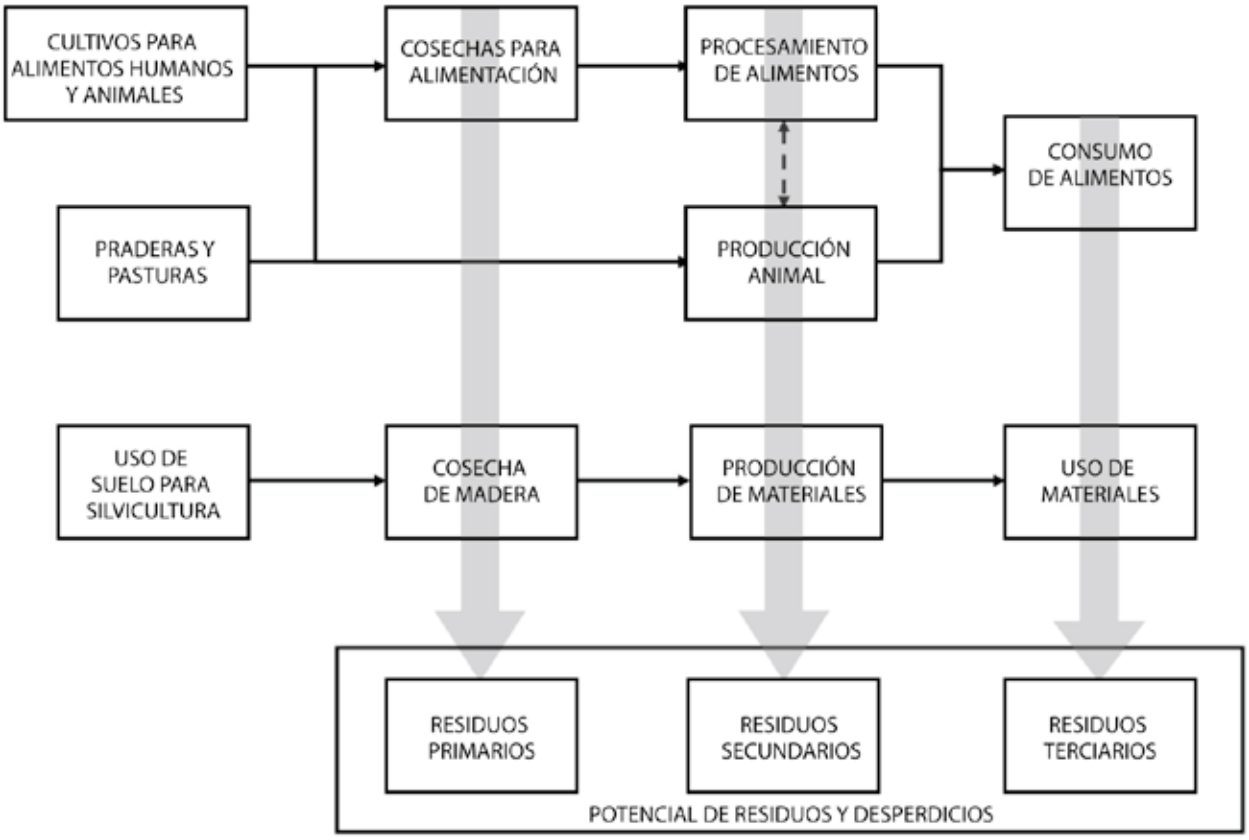
Para las siguientes tres categorías, la demanda en competencia de otros sectores tales como la industria de paneles de madera ha sido tomada en consideración.




Gráfica E - 1 Esquema para mostrar la panorámica general del flujo de productos forestales en diferentes categorías de bioenergéticos en el Escenario (FR= fracción recuperable).

# Appendix F Anexo F Perspectiva de categorización de residuos y desperdicios

La Gráfica F-1 es un resumen de los flujos de residuos y desechos en el Escenario Energético. Ilustra la diferenciación entre residuos primarios, secundarios y terciarios, así como desperdicios en la Sección 5.6.




Gráfica F - 1 Esquema que muestra la panorámica general del flujo de residuos y desperdicios en el Escenario, diferenciando entre residuos y desperdicios primarios, secundarios y terciarios.

# Appendix G Anexo G Referencias

## G 1 Referencias – Introducción / enfoque

**Reportes y publicaciones**


[Climate Solutions] "Climate Solutions" report, Climate Risk for WWF, with kind permission by WWF

[IPCC, 2000] Technical Support Unit IPCC-WG3, IPCC SRES emission scenarios, v1.1, Cambridge University Press

[Greenpeace, 2010] Greenpeace and EREC, energy [r]evolution, version 3, 2010

[Shell, 2008] "Shell scenarios to 2050", Shell International bv, (2008), Energy scenarios: Scramble and Blueprints

[van Vuuren, 2007] Van Vuuren et al., (2007), Climatic Change, **81** 2, pp 119-159, "Stabilizing greenhouse gas concentrations at low levels: an assessment of reduction strategies and costs"

[WEO, 2009] International Energy Agency, (2009), World Energy Outlook


## G 2 Referencias – Demanda

**Fuentes de información**


[IEA, 2008] International Energy Agency, World Energy Balances, OECD and nonOECD databases, 2008 Edition


**Reportes y publicaciones**


[Bernardini, 1993] Bernardini and Galli, (1993), "Dematerialization: long-term trends in the intensity of use of materials and energy", Futures

[CCC, 2009] UK Committee on Climate Change, (2009), "Meeting the UK aviation target – options for reducing emissions to 2050"

[DE Gov, 2006] German $CO_2$ buildings report by the Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development, "CO2 Gebäudereport", www.bmvbs.de

[DE Gov, 2007] National Energy Efficiency Plan by the German Federal Ministry of Economy and Technology[77]

[Groenenberg, 2002] H Groenenberg, PhD thesis, (2002), "Development and Convergence" , Utrecht University

[IEA, 2004] International Energy Agency, (2004), "30 years of energy use – Oil Crises & Climate Challenges", Fig. 5-5

[IEA, 2007] International Energy Agency, (2007), "Tracking Industrial Energy Efficiency and $CO_2$ Emissions"

[IEA, 2007b] International Energy Agency, (2007), "Energy use in the new millennium – Trends in IEA countries"


[77] http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/nationaler-enerieeffizienzplan,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf

[IMO, 2009] International Maritime Organization, Marine environment protection committee, (2009), "Prevention of air pollution from ships – second GHG study"

[Kim, 2002] Kim & Worrell, Energy Policy **30**, (2002), p. 827

[Neelis, 2006] M Neelis and M Patel, (2006), Report NWS-E-2006-180, "Long-term production, energy consumption and $CO_2$ emission scenarios for the worldwide iron and steel industry", Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation, Utrecht University

[Martin, 2000] N. Martin, E. Worrell, M. Ruth, L. Price, R.N. Elliott, A.M. Shipley, J. Thorne, (2000), "Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies," Lawrence Berkeley National Laboratory/American Council for an Energy-Efficient Economy, Berkeley, CA/Washington, DC (LBNL-46990).

[Schenk, 2006] N Schenk, International Institute for Applied Systems Analysis, (2006), Interim report IR-06-014, "Long-term Energy Scenarios for the Industry Sector: Use of Physical Indicators"

[WBCSD, 2004] IEA/SMP. Model Documentation and Reference Case Projection for WBCSD's Sustainable Mobility Project (SMP) (2004)

[Worrell, 2008] E Worrell et al., (2008), Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-62806 ,"World Best Practice Energy Intensity Values for Selected Industrial Sectors"

[UN, 2007] United Nations, (2007), World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database

## G 3 Referencias – Oferta (excl. bioenergía)

**Fuentes de información**

[IEA, 2008] International Energy Agency, World Energy Balances, OECD and nonOECD databases, 2008 Edition

**Reportes y publicaciones**

[Bertani, 2005] Bertani, Geothermics **34,** (2005), p. 651

[Bertani, 2007] Bertani, EGC 2007- 30 May-1 June Unterhaching, Germany

[Blok, 1984] K. Blok, A Renewable Energy System for the Netherlands, Proc. 5th International Solar Forum, DGS Sonnenenergie Verlags, München, 1984.

[DLR, 2005] DLR (German Aerospace Centre) (2005) Concentrating Solar Power for the Mediterrenean Region, MED-CSP, Commissioned by the Federal Ministry for the Environment, Nature

[ECF, 2010] ECF, Roadmap 2050 – A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe, European Climate Foundation, The Hague, 2010.

[Ecofys, 2010] Ecofys study for the Irish grid operator, Eirgrid, titled: "All Island TSO Facilitation of renewables studies", available at

http://www.eirgrid.com/media/Faciltiation%20of%20Renwables%20WP3%20Final%20Report.pdf

[EOEA, 2010] EU-OEA (European Ocean Energy Association0, (2010), "European Ocean Energy Roadmap"

[EPIA, 2008] EPIA report, (2008), "Solar Generation V"

[EPIA, 2009] EPIA report, (2009), "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013"

[Forseo, 2008] "The Investor's Guide to Geothermal Energy", (2008), http://www.forseo.eu/english/publications.html

[Gagnon, 1997] Gagnon and van de Vate, (1997), Energy Policy, **25** 1, pp. 7-13

[GWEC, 2007] Global Wind Energy Council - GWEC (2007), "Global Wind Report 2007"

[Hofman, 2002] Hofman et al., (2002), "The potential of solar electricity to reduce $CO_2$ emissions", Report no. PH4/14 for the Executive Committee of the IEA Greenhouse Gas R&D Programme

[Hoogwijk, 2008] Hoogwijk, M. and Graus, W. (2008), "Global potential of renewable energy sources: a literature assessment, Ecofys Netherlands"

[IPCC, 2006] Intergovernmental Panel on Climate Change, (2006), Task force on national greenhouse gas inventories – Guidelines, Volume 2; Energy

[Leutz, 2001] Leutz, R., T. Ackermann, A. Suzuki, A. Akisawa, T. Kashiwagi, (2001), "Technical offshore wind energy potentials around the globe", In: European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark.

[Lund, 2005] Lund et al, Geothermics **34**, (2005), 691–727

[OES-IA, 2010] International Energy Agency – Implementing Agreement on Ocean Energy Systems, (2010), 2009 Annual Report

[REN21, 2010] Renewables 2010 Global Status Report, REN21 (Renewable Energy Network for the 21st Century)

[Sørensen, 2004] B. Sørensen: Renewable Energy, Academic Press, 2004.

[WWF, 2006] Climate Solutions, WWF (2006)

[WWF, 2008] China Wind Power Report, ISBN: 978-82-90980-29-9, WWF China, Chinese Renewable Energy Industries Association, 2008

## G 4 Referencias – Bioenergía: General

**Fuentes de información**

[FAO, 1998] FAO 1998, Global Fibre Supply Model, Rome

[FAOSTAT, 2010a] FAO, FAOSTAT, Statistics on permanent pastures and meadows, 2010, http://faostat.fao.org

[FAOSTAT, 2010b] FAO, FAOSTAT, Statistics on primary crops and livestock equivalent, 2010, http://faostat.fao.org

[WDPA, 2009] World Database on Protected Areas, Statistics January 2009, http://www.unep-wcmc.org/wdpa/mdgs/WDPAPAstats_Jan09_download.xls

## Documentos científicos

[Campbell, 2008] Campbell et al., The global potential of bioenergy on abandoned agricultural lands, Environmental Sc Technol., 2008

[Erb, 2009] Karl-Heinz Erb: Universität Klagenfurt and PIK, Eating the Planet: Feeding and fuelling the world sustainably, fairly and humanely – a scoping study, 2009

[Field, 2008] Field et al., Biomass energy: the scale of the potential resource, 2008

[Pimentel, 2003] Pimentel, D. and Pimentel, M., Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment, American Journal of Clinical Nutrition, Vol. 78, No. 3, 2003

[Sparovek, 2007] Sparovek, G. et al, Sugarcane ethanol production in Brazil: an expansion model sensitive to socioeconomic and environmental concerns, Biofuel, Bioproducts & Biorefining, 2007

[Van Vuuren, 2009] Van Vuuren et al., Future bio-energy potential under various natural constraints, Energy Policy, 2009

## Reportes

[Blonk, 2008] Blonk, H. et al., Milieueffecten van Nederlandse consumptie van eiwitrijke producten (in Dutch; English equivalent: Environmental effects of Dutch consumption of protein-rich products), 2008

[Dedini, 2008] Dedini, Dedini launches ethanol mill that produces water (Press Release), 2008, available at http://uk.reuters.com/article/idUKN0234991420080702

[Dornburg, 2008] Dornburg, V. et al., Assessment of global biomass potentials and their links to food, water, biodiversity, energy demand and economy, Main Report, 2008

[Ecofys, 2008] Ecofys, Worldwide potential of aquatic biomass, 2008

[Ecofys, 2008b] Ecofys, Technical specification: greenhouse gas calculator for biofuels, v1.5, 2008

[EEA, 2006] EEA, How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?, 2006

[ExxonMobil, 2009] ExxonMobil, ExxonMobil Algae Biofuels Research and Development Program (Brochure), http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news_pub_algae_factsheet.pdf

[FAO, 2006] World agriculture: towards 2030/2050 - Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups, Global Perspective Studies Unit
Food and Agriculture Organization of the United Nations
Rome, June 2006

[FAO, 2009] FAO, Agricultural Outlook 2009 – 2018, 2009
[FAO, 2010] FAO, Global Forest Resources Assessment 2010, Country Reports
[Fischer, 2009] Fischer, G. et al. (IIASA), Biofuels and Food Security, 2009
[Greenpeace, 2010] Greenpeace and EREC, energy [r]evolution, version 3, 2010
[Hoogwijk, 2004] Hoogwijk, On the global and regional potential of renewable energy sources, 2004
[IAASTD, 2009] IAASTD, Agriculture at a Crossroads, Global Report, 2009
[IEA, 2009] IEA Bioenergy, Bioenergy – a Sustainable and Reliable Energy Source, 2009
[IFA, 2009] IFA, Fertilizers, climate change and enhancing Agricultural Productivity Sustainably, 2009
[IPCC, 2006] IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, 2006
[IPCC, 2006b] Intergovernmental Panel on Climate Change, (2006), Task force on national greenhouse gas inventories – Guidelines, Volume 2; Energy
[JEC, 2007] JEC, Well-to-Wheel study, Version 2C, Well-to-tank report Anexo 1, 2007
[JEC, 2008] JEC, Well-to-Wheel results, version 3.0, 2008
[Linn, 2006] Linn, J. and Salfer, J., Feed Efficiency, paper available through University of Minnesota Extension Service, http://www.cyfernet.extension.umn.edu/dairy/dairydays06/pdfs/LinnSalfer_FeedEfficiency.pdf
[OECD/IEA, 2009] OECD/IEA, Reference scenario from World Energy Outlook 2009, 2009
[PBL, 2009] PBL, Growing within Limits, 2009
[Shell, 2008] Shell, Shell Blueprints scenario from Shell energy scenarios to 2050, 2008
[Smeets, 2008] Smeets, Possibilities and limitations for sustainable bioenergy production systems, 2008
[UNEP, 2002] UNEP, Global Environmental Outlook, 2002
[WBGU, 1999] WBGU, Conversation and sustainable use of the biosphere, 1999
[WBGU, 2008] WBGU, World in Transition - Future Bioenergy and sustainable land use, 2008

## G 4.1 Referencias – Bioenergía: Residuos y desperdicios

**Aceite y grasa**

- Gunstone, F.D., Harwood, J.L., Dijkstra, A.J., 2007, The Lipid Handbook with CD-rom,Taylor & Francis Group, CRC Press, USA
- SEI 2003, A resource study on recovered vegetable oil and animal fats, Clearpower Ltd on behalf of Sustainable Energy Ireland, Ireland
- Caparella, T., European Renderers Shape Their Future, Render Magazine, August 2009

## Residuos forestales y de madera


- FAO 2005, Statistics on crop and forestry production available at http://faostat.fao.org/ , Food and Agriculture Organization of United Nations
- Smeets (2008), 'Possibilities and limitations for sustainable bioenergy production systems', Utrecht, The Netherlands


## Residuos agrícolas


- BTG 2004, 'BIO-ENERGY'S ROLE IN THE EU ENERGY MARKET A view of developments until 2020' Report to the European Commission, Enschede, Netherlands
- Cai 2004 'An assessment of biomass resources availability in Shanghai: 2005 analysis'
- Chungsangunsit, Gheewala and Patumsawad 2004,'Environmental Assessment of Electricity Production from Rice Husk: A Case Study in Thailand' Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia 14-16 January 2004
- Damen 2001, 'Future prospects for biofuel production in Brazil' Copernicus Institute Utrecht University
- Dehue B, 2006: Palm Oil and its By-Products as a Renewable Energy Source, Potential, Sustainability and Governance. Wageningen
- EEA (2006), 'How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?' European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark, p. 59 + Appendices.
- Ericsson, Karin, Nilsson Lars J., 2005 'Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource-focused approach', Environmental and Energy System Studies, Lund University, Gerdagatan 13SE-223 62 Lund, Sweden
- FAO 19xx, 'The potential of crop residues, particularly wheat straw, as livestock feed in Ethiopia' Lulseged Gebrehiwot and Jamal Mohammed, Institute of Agricultural Research, P.O. Cuadro 2003, Addis Ababa, Ethiopia
- FAO 2005, Statistics on crop and forestry production available at http://faostat.fao.org/ , Food and Agriculture Organization of United Nations
- FAO and IIASA (2002), 'Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st century: Methodology and Results', International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), United Nations Food Agricultural Organisation (FAO), Laxenburg, Austria; Rome, Italy, p. 119.
- Fischer, Hizsnyik, Prieler, van Velthuizen 2007 'Assessment of biomass potentials for biofuel feedstock production in Europe: Methodology and results' Work Package 2 - Biomass potentials for bio-fuels: sources, magnitudes, land use impacts REFUEL
- Gupta 2004, 'Residue burning in rice–wheat cropping system: Causes and implications' National Physical Laboratory, Dr. K.S. Krishnan Road, New Delhi 110 012, India
- JRC, EUCAR and CONCAWE (2004), 'Well-to wheel analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context', European Council for Automotive R&D (EUCAR), European association for environment, health and safety in oil refining and distribution (CONCAWE), the Institute for Environment and Sustainability of the EU Commission's Joint Research Centre (JRC/IES).
- Junmeng Cai, Ronghou Liu, Chunjian Deng, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 1997–2004
- Kim, Dale 2004, 'Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues',Department of Chemical Engineering & Materials Science, Room 2527 Engineering

Building, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1226, USA Biomass and Bioenergy 26 (2004) 361 – 375
- Lewandowski 2005, 'The potential biomass for energy production in the Czech Republic' Biomass and Bioenergy 30 (2006) 405–421
- Macedo, I.C., M.R.L.V. Leal and J.E.A.R. Da Silva (2004), 'Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil', Secretariat of the Environment of the State of São Paulo, Brazil, p. 32.
- R. Lal 2004, 'World crop residues production and implications of its use as a biofuel' Carbon Management and Sequestration Center, The Ohio State University, Columbus, OH 43210, United States Environment International 31 (2005) 575– 584
- S. Sokhansanj, S. Mani1, M. Stumborg, R. Samson and J. Fenton, 2006 'Production and distribution of cereal straw on the Canadian prairies' Canadian Biosystems Engineering/Le génie des biosystèmes au Canada 48: 3.39 - 3.46.
- Steunpunt voor duurzame landbouw 2003 'ENERGIEGEWASSEN IN DE VLAAMSE LANDBOUWSECTOR' Visi García Cidad, Erik Mathijs, Frank Nevens, Dirk Reheul, België
- Workshop: "Cereals straw and agricultural residues for bioenergy in New Member States and Candidate Countries" Novi Sad, Serbia, 2-3 October 2007
- WUR 2005, 'Gewasresten afvoeren: Utopie of optie', Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen UR
- Xianyang Zeng, Yitai Ma_, Lirong Ma, 2007 'Utilization of straw in biomass energy in China' Thermal Energy Research Institute, Tianjin University, Tianjin 300072, People's Republic of China , Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 976–987
- Yusoff 2004 'Renewable energy from palm oil - innovation on effective utilization of waste' Department of Civil and Environmental Engineering, University of Malaya, Malaysia

## Residuos y desperdicios húmedos

- Dehue B, 2006: Palm Oil and its By-Products as a Renewable Energy Source, Potential, Sustainability and Governance. Wageningen
- FAO 2005, Statistics on crop and forestry production available at http://faostat.fao.org/ , Food and Agriculture Organization of United Nations
- FAO and IIASA (2002), 'Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st century: Methodology and Results', International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), United Nations Food Agricultural Organisation (FAO), Laxenburg, Austria; Rome, Italy, p. 119.
- GRAIN 2001, Global Restrictions on biomass Availability for Import to the Netherlands, Novem projectnr. 356598/1010. UCE, UU-NW&S, RIVM, WU-PP, ECN, Ecofys
- Junmeng Cai, Ronghou Liu, Chunjian Deng, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008) 1997–2004
- Kim, Dale 2004, 'Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues', Department of Chemical Engineering & Materials Science, Room 2527 Engineering Building, Michigan State University, East Lansing, MI 48824-1226, USA Biomass and Bioenergy 26 (2004) 361 – 375
- Steunpunt voor duurzame landbouw 2003 'ENERGIEGEWASSEN IN DE VLAAMSE LANDBOUWSECTOR' Visi García Cidad, Erik Mathijs, Frank Nevens, Dirk Reheul, België

- Van Haandel, van Lier 2006 'Vinasse treatment for energy production and environmental protection at alcohol distillery plants' Proc. of DIVER 2006, Int. Conf. on Production and Uses of Ethanol. June 19-23 2006, Havana, Cuba. Invited Key Note
- WUR 2005, 'Gewasresten afvoeren: Utopie of optie', Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen UR


### Residuos secos


- EPA Office of Solid Waste, Municipal Solid Waste in the United States – 2007 Facts & Gráficas
- OECD, Environmental Data Compendium 2006-2008
- SenterNovem Uitvoering Afvalbeheer, Nederlands Afval in Cijfers 2000-2006
- Statline, CBS, statistical data on the Netherlands for 2000-2005


## G 5 Referencias – Inversiones y ahorros


[Airbus, 2008] Airbus aircraft, Range of 2008 list prices, 2008.

[B737.org, 2010] The Boeing 737 Technical site, Advanced blended winglets last visited on 2010-06-28

[DB, 2004] Deutsche Bahn, Unsere Schienenfahrzeuge im Fernverkehr, 2004.

[DBSchenker, 2010] DBSchenker, Güterwagen der Bahn, Catalogue of railroad freight cars of German railroad company Deutsche Bahn, last visited on 2010-06-28

[DCEN, 2008] Department of Communications, Energy and Natural Resources, All Island Grid Study, 2008.

[DCEN, 2009] Department of Communications, Energy and Natural Resources, All Island Renewable Grid Study – Updated to include demand side management, 2009.

[DLR, 2006] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Trans-Mediterranean Interconnection for Concentrating Solar Power – Final Report, 2006.

[ECB, 2010] European Central Bank, ECB deflator data and quarterly USD exchange rates, downloaded on 2010-03-05.

[SERPECEcofys, 2009a] SERPEC Ecofys, (Sectoral Emission Reduction Potentials and Economic Costs for Climate Change), (2009), Study for the European Commission by a consortium of institutes led by Ecofys2009.

[Ecofys, 2009b] Ecofys, Policy instrument design to reduce financing costs in renewable energy technology projects, 2009.

[EIA, 2009] Energy Information Administration, An Updated Annual Energy Outlook 2009 Reference Case, 2009.

[EIA, 2009] Energy Information Administration, An Updated Annual Energy Outlook 2009.

[ERF, 2009] European Union Road Federation, European Road Statistics 2009.

[ETH Zürich, 2009] ETH Zürich, Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung, Professur für Raumentwicklung, Vorlesung Raum- und Infrastrukturentwicklung, 2009, downloaded on 2009-11-02

[Hansa Treuhand, 2009]
Hansa Treuhand, Sky Cloud A380 Emirates, Sales information for closed capital fund, 2009.

[IEA, 2000] International Energy Agency, Experience Curves for Energy Technology Policy, 2000.

[IEA, 2005] International Energy Agency, Projected Costs of Generating Electricity - 2005 Update, 2005.

[IEA, 2007] International Energy Agency, Energy Technology Essentials - Biomass for Power Generation and CHP, 2007.

[IMO, 2009] International Maritime Organisation, International Shipping and World Trade - Facts and Gráficas 2009.

[Lufthansa, 2008] Lufthansa, Annual report 2008 – Our strengths in detail, 2009.

[OECD, 2010] IEA, OPEC, OECD, World Bank Joint Report, Analysis of the Scope of Energy Subsidies and Suggestions for the G-20 Initiative, Prepared for submission to the G-20 Summit Meeting Toronto (Canada), June 2010; http://www.oecd.org/dataoecd/55/5/45575666.pdf

[Railway Technical, 2010]
Railway Technical Web Pages, Railway Finance, last visited on 2010-06-28

[Stern, 2006] Stern, N., Stern Review on The Economics of Climate Change (pre-publication edition). Summary of Conclusions. 2006

# Appendix H Anexo H Glosario

| | |
|---|---|
| ACV | análisis de ciclo de vida |
| MTD | mejores tecnologías disponibles |
| PIB | Producto Interno Bruto |
| GEI | gases de efecto invernadero |
| GJ | giga joules |
| IEA | International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía) |
| OCDE | Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos |
| kWh | kilo watt hora |
| J | joules, unidad para expresar cantidades de energía |
| Mha | mega hectáreas (10,000 $km^2$) |
| MWh | mega watt hour |
| EJ | exa joules |
| MJ | mega joules |
| Passive house | "casa pasiva" se refiere a un riguroso y voluntario estándar para la eficiencia energética en la construcción de edificios, reduciendo la huella ecológica de los mismos. La casa pasiva, resulta en edificios de bajo consumo energético para la calefacción o el enfriamiento. |
| per cápita | por persona |
| pkm | persona-km (unidad de actividad en transporte de pasajeros) |
| PTW | Vehículos personales de dos y tres ruedas |
| PHEV | Vehículo eléctrico híbrido |
| BEV | Vehículo eléctrico de baterias |
| $m^2$ | metros cuadrados, unidad usada para expresar el área de pisos construida en el sector edificios, sea residencial o no residencial |
| tkm | tonelada-kilómetro (unidad de actividad utilizada para el transporte de carga) |
| GWh | giga watts hora, unidad para medir la cantidad de energía suministrada por fuentes de energía eléctrica |
| I&D | investigación y desarrollo |
| $CO_2$ | dióxido de carbono |
| $CO_2$-eq | dióxido de carbono equivalente |

# RED MUNDIAL DE WWF

**Oficinas de WWF**

Alemania
Armenia
Azerbaiyán
Australia
Austria
Bélgica
Belice
Bután
Bolivia
Brasil
Bulgaria
Camboya
Camerún
Canadá
Cabo Verde Central
República Centroafricana
Chile
China
Colombia
Costa Rica
R.D. del Congo
Dinamarca
Ecuador
Emiratos Árabes Unidos
Estados Unidos
España
Finlandia
Fiji
Filipinas
Francia
Gabón
Gambia
Georgia
Ghana
Grecia
Guatemala
Guyana
Honduras
Hong Kong
Hungría
India
Indonesia
Islas Salomón
Italia
Japón
Kenia
Laos
Madagascar
Malasia
Mauritania
México
Mongolia
Mozambique
Namibia
Nepal
Nueva Zelanda
Níger
Noruega
Países Bajos
Pakistán
Panamá
Papúa Nueva Guinea
Paraguay
Perú
Polonia
Reino Unido
Rumania
Rusia
Senegal
Singapur
Sudáfrica
Surinam
Suecia
Suiza
Tanzania
Tailandia
Túnez
Turquía
Uganda
Vietnam
Zambia
Zimbawe

**Asociados a WWF**

Fundación Vida Silvestre (Argentina)
Fundación Natura (Ecuador)
Pasaules Dabas Fonds (Latvia)
Nigerian Conservation Foundation (Nigeria)

**Otros**

Emirate Wildlife Society (EAU)
Hasta: octubre 2010

**Detalles de la publicación**

Edición en español coordinada por WWF-México.
Publicado en enero del 2011 por WWF - World Wide Fund For Nature (También conocido como World Wildlife Fund en Estados Unidos y Canadá), Gland, Suiza.

Cualquier reproducción total o parcial de esta publicación debe mencionar el título y la fuente propietaria de los derechos de autor.

© Textos y gráficos: WWF 2011
Todos los derechos reservados.

El material y las designaciones geográficas de este informe no suponen la expresión de opinión alguna por parte de WWF respecto al estado legal de ningún país, territorio o área o respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

# EL INFORME DE LA ENERGÍA RENOVABLE
## Energía renovable al 100% para el año 2050

FSC
REPORTE

## UN ESCENARIO

La extensiva electrificación del transporte; un mejor ahorro de energía; redes eléctricas inteligentes; energía sostenible para todos

## RETOS

Ahorrar energía & reducir la demanda; electrificación; equidad; implicaciones en el uso de suelo / agua /mar; las elecciones del estilo de vida - cambios de comportamiento & las conductas del público; inversiones; innovación e I&D; gobernanza

## BENEFICIOS

Detener la contaminación por combustibles fósiles; ahorrar dinero; atender el cambio climático; mejorar la salud; inexistencia de riesgos nucleares; nuevos empleos; innovación; proteger a la naturaleza.

## UNA VISION

Un mundo que funciona con el 100% energía renovable y sostenible a mediados de siglo

## SOLUCIONES

En todas nuestras manos - los responsables de las políticas, líderes corporativos, inversionistas, comunidades e individuos

WWF

**Por qué estamos aquí**
Para detener la degradación del ambiente natural del planeta y construir un futuro en el cual los humanos convivan en armonía con la naturaleza.

www.panda.org

© 1986 Logotipo del Panda de WWF-World Wide Fund for Nature (inicialmente World Wildlife Fund)
® WWF es una Marca Registrada. WWF Internacional, Avenue du Mont-Blanc, 1196 Gland, Switzerland
Tel. +41 22 364 9111 Fax +41 22 364 0332. Para mayor información: www.panda.org

© Wild Wonders of Europe / Inaki Relanzon / WWF