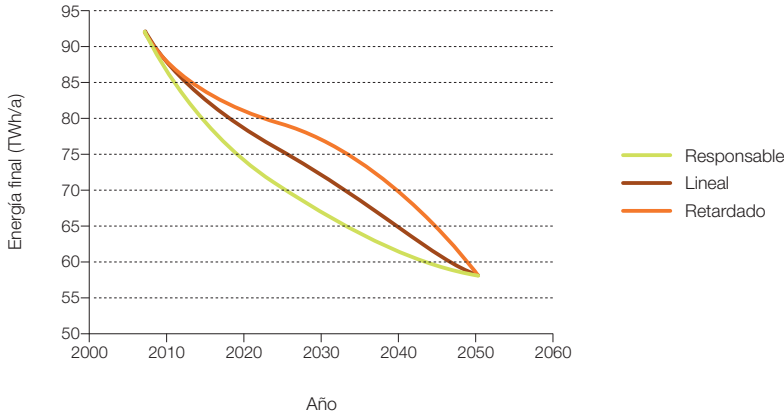


Figura 533. Escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 en el sector de usos no energéticos.



un 20% en el año 2050. En estas condiciones los escenarios BAU y de tecnología E3.0 resultantes son los indicados en la figura 532, mientras que la figura 533 recoge tres posibles escenarios de transición del contexto BAU al E3.0.

3.10 Escenarios demanda energética total

En este punto agrupamos todos los escenarios anteriormente desarrollados para obtener la visión global del conjunto del sector energético por lo que respecta a la evolución de su consumo de energía en los contextos BAU y E3.0.

En la figura 534 recogemos los valores acumulados de consumo de energía final, tanto en el año 2007, como para el año 2050 en los contextos BAU y E3.0. En esta misma figura presentamos el desglose por tipo de energía final, distinguiendo entre electricidad y combustibles, diferenciando dentro de los combustibles la parte de biomasa ya comprometida en el sector industria para el contexto

E3.0. El resto de demanda de combustibles, en un contexto E3.0 100% renovable deberá cubrirse con combustibles derivados de la biomasa o con hidrógeno generado con electricidad procedente de fuentes renovables. Más adelante retomaremos estas dos posibilidades para evaluar su viabilidad y sus implicaciones. En el contexto BAU los combustibles son fósiles.

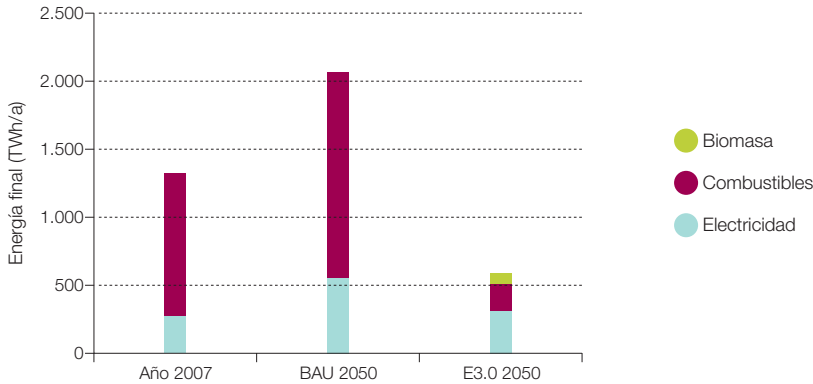
De estos resultados, lo primero que podemos concluir es el gran potencial de las medidas de eficiencia energética, proporcionado en el año 2050 un consumo que es un 45% del registrado en el año 2007, y un 28% del que nos proporcionaría un escenario BAU.

El contexto BAU⁸⁶⁵ nos conduciría en 2050 a un consumo del 157% del registrado en el año 2007, siendo el incremento en la demanda de combustibles de un 146% y en la electricidad de un 199%. Esta situación es totalmente insostenible la miremos por donde la miremos:

- Si nos centramos en la demanda de combustibles, para esas fechas probablemente

865 Conviene recordar aquí que en muchos sentidos el BAU desarrollado en este estudio es significativamente más eficiente que otros BAU a los que podría conducirnos la trayectoria actual, y por tanto hay que entender estos resultados como una evaluación conservadora de los problemas que nos podría acarrear permitir que los acontecimientos se desarrollen por una trayectoria BAU.

Figura 534. Consumo total de energía final y desglose por tipo de energía final. La biomasa indicada en el contexto E3.0 corresponde al uso ya comprometido para el sector industria. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles, y en el E3.0 son combustibles procedentes de la biomasa o bien hidrógeno de origen renovable.



ni tan solo estén disponibles a precios razonables los recursos de combustibles fósiles para cubrir esa demanda. Por lo que respecta a los costes económicos asociados al consumo de esa cantidad de combustibles fósiles, representarían un incremento de nuestra factura energética considerablemente superior al del incremento en el consumo de energía, como consecuencia de la tendencia fuertemente inflacionista de los combustibles fósiles que cabe esperar que se despliegue en este periodo de tiempo como consecuencia de la limitación del recurso y el gran incremento de la demanda en el mercado internacional, pero sobre todo introducen una incertidumbre significativa por la dificultad de pronosticar los precios de los combustibles fósiles en este periodo de tiempo⁸⁶⁶. De cualquier forma, el argumento principal para intentar evitar el llegar a esta situación es el asociado al incremento de emisiones de GEI correspondiente a este incremento de la demanda de energía. Si como alternativa nos planteáramos la posibilidad de cubrir esa demanda correspondiente al

contexto BAU mediante biomasa, los requerimientos de biomasa en relación al potencial disponible en nuestro país evaluado en el estudio Renovables 2050 (GP, 2005), serían del 532% teniendo en cuenta el total de recurso de biomasa, y del 830% si nos centramos en el potencial de cultivos energéticos⁸⁶⁷.

- Por lo que respecta a la demanda de electricidad, el contexto BAU requeriría prácticamente doblar la capacidad de generación y transporte actual, por lo que si bien disponemos de recurso renovable más que suficiente para cubrir esta demanda, su coste económico sería bastante más del doble del correspondiente a cubrir nuestra demanda eléctrica actual con renovables, pues además de doblar la capacidad de generación, habría que ampliar muchísimo las infraestructuras de transporte y distribución. Más allá del elevado coste económico, esta gran cantidad de infraestructuras eléctricas conducirían a un impacto ambiental que podemos evitar mediante la aplicación de las medidas de eficiencia del contexto E3.0.

⁸⁶⁶ A modo de cuantificación del efecto económico que cabe esperar asociado a ese incremento del 57% en el consumo final de energía entre el año 2007 y 2050 dentro del contexto BAU, con una tasa de descuento del 3% y en euros constantes de 2007, el incremento en el coste de la factura energética sería del 136% si la tasa de inflación anual media de la energía procedente de combustibles fósiles fuera del 4%, y llegaría a ser del 1.050% para una tasa de inflación anual media de la energía procedente de combustibles fósiles del 8%. De todos modos, es importante apuntar que la inflación de los combustibles fósiles debería incluir la internalización de su impacto además de la limitación de la oferta en relación a la demanda, y en la situación actual de crisis climática aguda, la internalización del coste asociado a la liberación de esa cantidad de carbono adicional a la biosfera puede conducir a costes (y por tanto tasas de inflación) muy superiores, y de hecho impagables...

⁸⁶⁷ Incluyendo como tales la explotación del monte bajo.

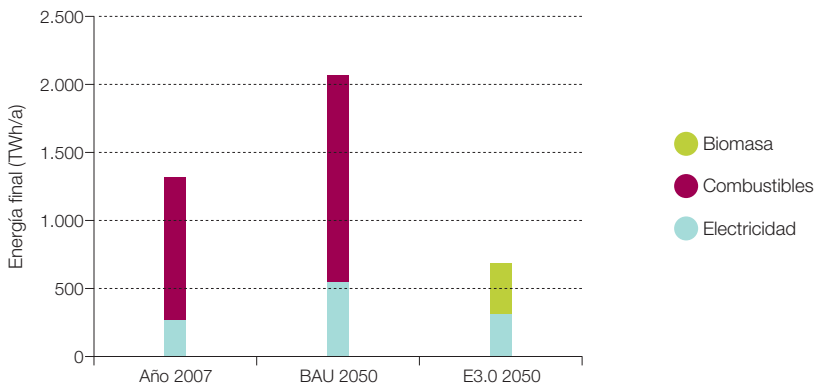
Por lo que respecta al contexto E3.0, la gran reducción en la demanda de combustibles nos permite plantearnos su cobertura incluso con el limitado recurso de biomasa del que disponemos en nuestro país⁸⁶⁸, y la demanda eléctrica finalmente resultante, a pesar de la gran electrificación experimentada en el contexto E3.0, es tan solo de un 114% del valor de la demanda eléctrica actual, por lo que prácticamente nos podría servir la infraestructura de transporte y distribución actuales⁸⁶⁹ para cubrir esta demanda eléctrica, eliminando por tanto los impactos ambientales y costes económicos asociados a una gran ampliación de esta infraestructura. Comparando el consumo eléctrico en el año 2050, para el contexto E3.0 tenemos un consumo que es un 57% del asociado al contexto BAU, por lo que el coste asociado a esta generación de electricidad con fuentes renovables sería de menos de la mitad⁸⁷⁰ que el correspondiente a la demanda del contexto BAU⁸⁷¹.

Evidentemente, el despliegue de las medidas de eficiencia asociados al contexto BAU tiene

sus costes asociados (coste del negavatio), pero tal y como mostramos en el análisis de costes desarrollado para el sector edificación en relación a una de las medidas de eficiencia de mayor coste en ese sector, existe un amplio margen de despliegue de medidas de eficiencia que mantienen costes marginales significativamente inferiores al coste de la energía⁸⁷².

Retomando la discusión sobre la cobertura de la demanda de combustibles en el contexto E3.0, la figura 535 nos presenta los resultados si optamos por cubrir el total de la demanda de combustibles en el contexto E3.0 con biocombustibles producidos⁸⁷³ a partir de biomasa. En estas condiciones, el requerimiento total de biomasa ascendería a 372 TWh/a, que constituye un 87% del total del recurso de biomasa disponible, y un 136% si nos limitamos al recurso de biomasa de cultivos energéticos⁸⁷⁴ (GP, 2005). Por tanto, si bien vemos que la demanda de biomasa queda dentro del potencial de este recurso en nuestro país, el porcentaje del potencial que deberíamos explotar parece

Figura 535. Consumo de energía si para el contexto E3.0 empleamos biomasa para producir los biocombustibles necesarios para cubrir la demanda de combustibles. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles.



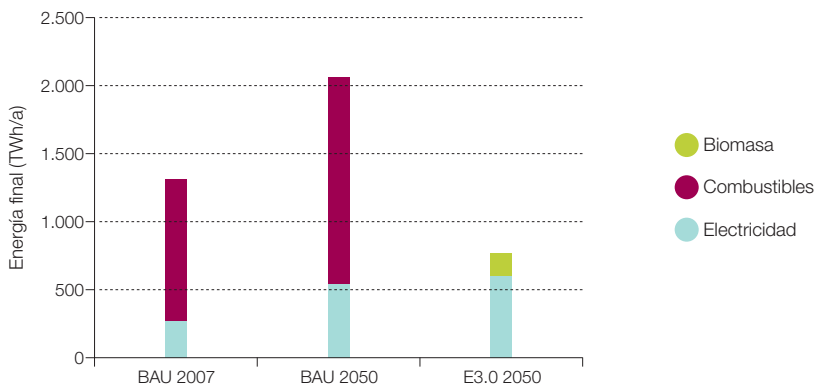
- 868** Aunque tal y como comentaremos más adelante esta no sea probablemente la mejor opción tanto desde el punto de vista económico como de impacto ambiental.
- 869** Incorporándole las mejoras y componentes de inteligencia que permitan optimizar la operación del sistema basado en energías renovables.
- 870** El menor nivel de consumo permite explotar los mejores recursos renovables (menor coste), y la inteligencia desplegada por el sistema eléctrico permite la integración de mayor cantidad de renovables reduciendo mucho los requerimientos de potencia específica (múltiplo solar) a instalar. Por estos motivos, la reducción del coste va más allá de la reducción en el consumo.
- 871** Es importante recalcar que esta comparativa es para el caso de que la demanda de electricidad en el contexto BAU se cubriera con renovables, que no se corresponde con el planteamiento del escenario BAU. En el caso correspondiente al contexto BAU en que la generación de electricidad retiene una importante contribución fósil en la generación de electricidad, el incremento del coste respecto al caso E3.0 es muy superior tal y como se deduce de la cuantificación anteriormente presentada para distintas hipótesis sobre la inflación de los combustibles fósiles durante este periodo.
- 872** De hecho, tal y como comentábamos en el análisis sobre la economía del ahorro que desarrollamos en el capítulo dedicado al sector edificación, una buena parte de las medidas de eficiencia puede ofrecer incluso costes negativos del negavatio si se desarrollan en un entorno regulatorio y de mercado favorables.
- 873** Hemos considerado un rendimiento del orden del 67% para la producción de biocombustibles a partir de la biomasa.
- 874** Incluyendo explotación monte bajo.

excesivo⁸⁷⁵, lo que conduce a unos grandes requerimientos de superficie. Este resultado confirma la impresión que arrastramos desde la realización del estudio Renovables 2050 (GP, 2005) de que la biomasa en España constituye un recurso escaso en relación con sus usos potenciales, y por tanto que es preciso reservarlo para aquellos usos que no puedan ser cubiertos con otras tecnologías renovables.

Siguiendo con los resultados del estudio Renovables 2050 (GP, 2005) relativos a la evaluación del potencial de las energías renovables, el consumo de electricidad que hemos obtenido para el contexto E3.0 constituye un 2% del potencial de generación de electricidad a partir de todas las tecnologías renovables (incluso excluyendo la biomasa). En estas condiciones, el emplear un 87% del potencial de la biomasa para cubrir la demanda de combustibles parece totalmente desproporcionado en relación a la disponibilidad de los distintos recursos renovables.

Por estos motivos, consideramos que tiene más sentido cubrir toda o parte de la demanda de combustibles mediante hidrógeno producido⁸⁷⁶ a partir de electricidad generada con otras fuentes renovables, a pesar de la penalización energética asociada a la generación y procesado del hidrógeno. Para explorar esta situación, en la figura 536 recogemos el caso extremo de emplear hidrógeno para cubrir el total de la demanda de combustibles en el contexto E3.0, excepto la cantidad de biomasa ya asignada al sector industria y la demanda del sector de usos no energéticos, que cubrimos con biocombustibles. La demanda de electricidad en el contexto E3.0 asciende en este caso a un 3,9% del recurso de electricidad renovable (excluyendo la biomasa), por lo que desde el punto de vista del recurso esta estrategia no resulta problemática. Sin embargo, en estas condiciones el consumo de electricidad en el contexto E3.0 pasa a ser un 222% del existente en el año 2007, por lo que la implementación de esta estrategia exigiría incrementar significativamente la

Figura 536. Consumo de energía si para el contexto E3.0 empleamos hidrógeno para cubrir la demanda de combustibles fuera del sector industria. La biomasa indicada en el contexto E3.0 corresponde al uso ya comprometido para el sector industria más la requerida para generar los biocombustibles que puedan cubrir la demanda del sector de usos no energéticos. Los combustibles en el contexto BAU son mayoritariamente fósiles.



⁸⁷⁵ Además es preciso tener en cuenta que la biomasa también debe participar en la regulación del sistema de generación eléctrica.

⁸⁷⁶ Hemos considerado un rendimiento del 49% para la producción y distribución de hidrógeno a partir de electricidad de origen renovable, como promedio de los rendimientos asociados al uso de hidrógeno gaseoso y líquido.

infraestructura de generación eléctrica y la infraestructura de transporte y distribución, o bien eléctrica o bien de hidrógeno, con sus potenciales impactos ambientales.

En este contexto recomendamos una aproximación mixta en la que se establezca un objetivo en relación al potencial de biomasa a explotar para la cobertura de la demanda de combustibles, y que el resto se cubra vía hidrógeno, con una estrategia tal que se minimice⁸⁷⁷ el requerimiento de expansión del sistema de transporte y distribución eléctrica. En el punto siguiente presentamos las implicaciones de una primera aproximación a este planteamiento.

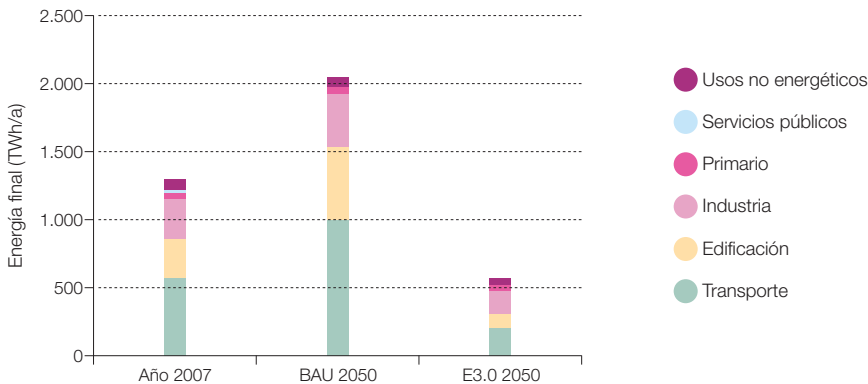
Por lo que respecta al reparto sectorial, la figura 537 reproduce los resultados en términos de consumo de energía final con el desglose sectorial. Respecto a esta figura merece la pena hacer varios comentarios:

- Por lo que respecta al sector transporte, es preciso recordar que los resultados presentados reproducen consumos superiores a los que aparecen en los balances habituales

por incorporar la mitad de la repercusión asociada al transporte internacional.

- En el contexto BAU, el sector transporte resulta con diferencia el dominante, si bien al quitar la contribución del transporte internacional, el sector edificación quedaría del mismo orden.
- En el contexto E3.0 el gran despliegue de medidas de eficiencia en los sectores edificación y transporte hacen que el sector industrial, en el que existe un menor potencial de despliegue de medidas de eficiencia adicionales a las ya incorporadas en el contexto BAU, pasa a constituir uno de los sectores dominantes en la estructura de consumo energético.

Figura 537. Desglose sectorial del consumo de energía final en el año 2007 y en 2050 con los contextos BAU y E3.0.



⁸⁷⁷ Por ejemplo mediante la producción de hidrógeno en los mismos emplazamientos donde se encuentra localizada la generación eléctrica, y teniendo la precaución de no disparar los requerimientos de transporte de hidrógeno ubicando los puntos de generación cerca de los puntos de consumo.

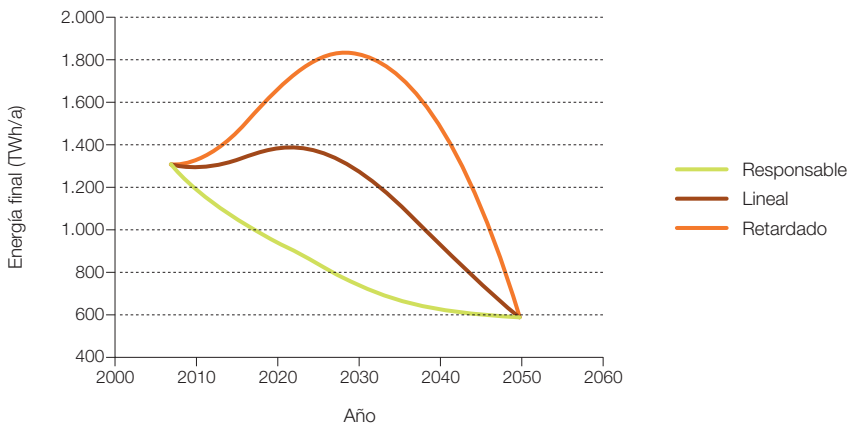
Para terminar, en la figura 538 recogemos los tres escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 considerados en este informe para ilustrar las posibles trayectorias de evolución de la demanda del total de sectores energéticos. Como podemos observar, se confirman las conclusiones que ya íbamos intuyendo en la elaboración de los escenarios sectoriales:

- El escenario retardado produce un gran pico interior del consumo en torno al año 2030 que nos obligaría a un gran sobredimensionado de las infraestructuras energéticas respecto a las necesidades existentes una vez completada la transición. Estas infraestructuras energéticas sobredimensionadas no podrían por tanto llegar a amortizarse, y más allá del coste incremental que suponen, podrían introducir resistencia a completar la transición hacia el contexto E3.0 con el argumento de necesitar amortizar las inversiones realizadas. Esta situación ya la estamos viviendo ahora en España en relación al despliegue de la generación con energías

renovables, siendo el motivo unas inversiones excesivas, y realizadas fuera de tiempo por carencia de planificación energética, en centrales de ciclo combinado operando con gas natural.

- Por otro lado, el escenario retardado exigiría unas tasas de reducción de consumo muy elevadas durante los últimos 20 años del escenario temporal considerado. Las tasas de cambio, más que el cambio en sí, son las que conducen a encarecer y dificultar el proceso de transición, por lo que la evolución a lo largo del escenario retardado resultaría, con diferencia, la más cara, además de ofrecer unas posibilidades muy elevadas de que no se consiguiera materializar la transición para el año 2050.

Figura 538. Distintos escenarios de transición del contexto BAU al E3.0 para el conjunto de los sectores energéticos.



3.10.1 Producción de combustibles en el contexto E3.0

Como comentábamos en el apartado anterior, en el contexto E3.0 para el año 2050 se requieren 144 TWh/a de combustibles para complementar la demanda de energía final de todos los sectores energéticos, existiendo dos posibilidades para producir estos combustibles basados en energías renovables: biocombustibles procedentes de la biomasa e hidrógeno procedente de electricidad de origen renovable.

Cada una de estas opciones, por sí sola presenta inconvenientes:

- La biomasa requeriría una cantidad total superior al recurso disponible de las clases de biomasa que querríamos explotar, lo que conduce además a una gran ocupación del territorio peninsular. Hay que tener en cuenta que el uso de biomasa ya comprometido en el contexto E3.0, para el sector industria y para el sector de usos no energéticos ya exige el uso de 156 TWh/a de biomasa, empleando para ello un 8,5% de la superficie del territorio peninsular.
- La producción de hidrógeno con electricidad renovable requeriría una generación de electricidad total superior al doble de la actual, lo cual implicaría un considerable crecimiento de las infraestructuras eléctricas con su correspondiente impacto ambiental.

En estas condiciones planteábamos que lo apropiado sería buscar una aproximación mixta entre estas dos opciones. La determinación del reparto óptimo se escapa del alcance de este trabajo, y requeriría un estudio específico para contrapesar los aspectos positivos y negativos de cada opción. Sin

embargo, con el fin de cuantificar las implicaciones de un planteamiento de este estilo, en este punto vamos a desarrollar una primera aproximación basada en el siguiente criterio:

- Emplear la misma extensión del territorio peninsular para producir combustibles con la biomasa que la que se dedica a producir hidrógeno para ser empleado como combustible.

Para el caso de la biomasa limitaremos⁸⁷⁸ los tipos a emplear a los cultivos energéticos (incluyendo los cultivos forestales de rotación rápida)⁸⁷⁹, por ser los de mayor densidad energética por unidad de área, y por ajustarse a los criterios de sostenibilidad en relación al ciclo del carbono⁸⁸⁰ y el uso del territorio⁸⁸¹.

Los requerimientos de superficie para producir la energía primaria⁸⁸² (electricidad o biomasa) que emplearemos para confeccionar los combustibles (biocombustibles o hidrógeno) varían enormemente entre las tecnologías empleadas. La figura 539 nos muestra los resultados considerando para las categorías de generación de electricidad el valor medio de todo el potencial disponible. Como podemos ver, la biomasa requiere el uso de una superficie muy superior, aunque su rendimiento para la producción de biocombustibles es superior al de producción de hidrógeno con electricidad. Es más, en la figura hemos representado los valores promedios asociados al potencial total, pero las mejores categorías de cada tecnología, con un potencial superior a la cantidad total de potencia a instalar requerida, tienen densidades de área considerablemente inferiores a las presentadas en la figura.

878 Debemos resaltar aquí que el uso de biomasa acuática (algas) no fue incluido en la evaluación del potencial en (GP,2005), motivo por el cual tampoco lo consideramos aquí. Sin embargo, esta opción, al igual que algunas tecnologías renovables para generación de electricidad, tiene la ventaja de que no requiere el uso de superficie del territorio.

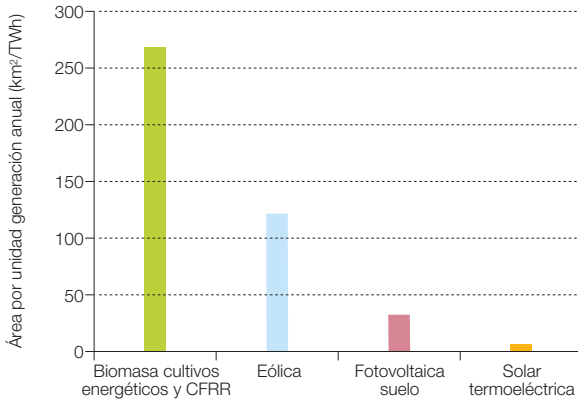
879 En el contexto de los potenciales determinados en (GP, 2005), en los que estos cultivos se desarrollaban en tierras que no tenían asignado otro uso anterior.

880 Ver consideraciones sobre el uso de biomasa en el capítulo dedicado al sector edificación.

881 En este sentido, la otra categoría de biomasa no residual que incluíamos en la evaluación del techo de recurso disponible en (GP, 2005), el aprovechamiento del monte bajo, la hemos descartado por no ser tan favorable desde el punto de vista del ciclo del carbono, y por servir de zona de amortiguamiento a los espacios naturales protegidos. Además tiene un requerimiento de superficie por unidad de energía superior a tres veces el de las categorías de biomasa consideradas.

882 En este apartado, y dado que estamos limitados al contexto E3.0 y focalizando nuestra atención en la producción de combustibles como energía final, nos referiremos a la electricidad procedente de fuentes renovables (distintas de la biomasa) como energía primaria.

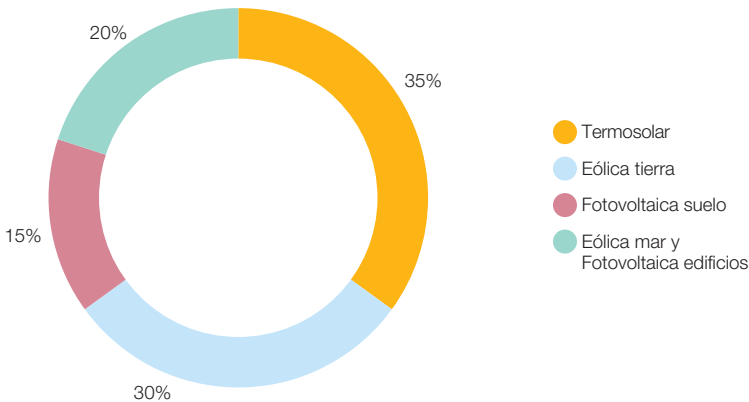
Figura 539. Requerimientos de superficie para generar la energía primaria empleada en la producción de combustibles en el contexto E3.0 (biomasa y electricidad). Para todos los casos se ha considerado el valor promedio del potencial total disponible.



Por lo que respecta a los requerimientos de superficie para transporte y distribución de electricidad a repercutir sobre el requerimiento de superficie para la generación de hidrógeno, adoptaremos las siguientes consideraciones:

- Ancho de líneas correspondiente a lo reflejado en (GP, 2009) para HVAC a 800 kV.
- Longitud media⁸⁸³ del transporte de electricidad para producción de hidrógeno de 150 km.
- Factor de capacidad de las líneas en relación a la potencia instalada del 40%⁸⁸⁴.
- Un requerimiento de superficie para distribución del 30% del de transporte.

Figura 540. Estructura del sistema de generación de electricidad dedicado a la producción de hidrógeno, en términos de electricidad generada.



⁸⁸³ El objetivo debería ser el minimizar estas distancias disponiendo los centros de producción de hidrógeno cercanos a los de generación eléctrica.

⁸⁸⁴ Estas líneas no estarían dedicadas tan solo a la producción de hidrógeno, sino que estarían integradas en el resto del sistema eléctrico.

Por lo que respecta al mix de generación dedicado a la producción de hidrógeno, supondremos que tiene la estructura reproducida en la figura 540, donde podemos ver que hay una cierta participación de dos tecnologías sin requerimiento de superficie de territorio⁸⁸⁵ (eólica marina y fotovoltaica integrada en los edificios).

En estas condiciones, el criterio de reparto entre biocombustibles e hidrógeno adoptado (igualdad de áreas), nos conduce al reparto entre ocupación de superficie, producción de energía primaria (biomasa y electricidad), y producción de combustibles⁸⁸⁶ que reproducimos en las figuras 541 a 543.

Figura 541. Reparto de los requerimientos de superficie para producir los combustibles necesarios en el contexto E3.0.

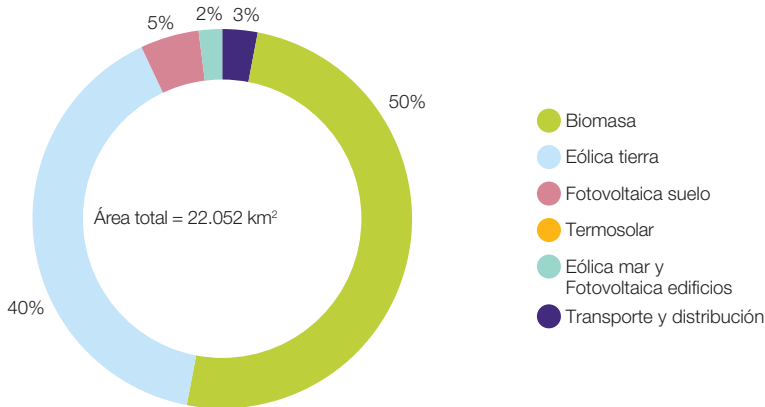
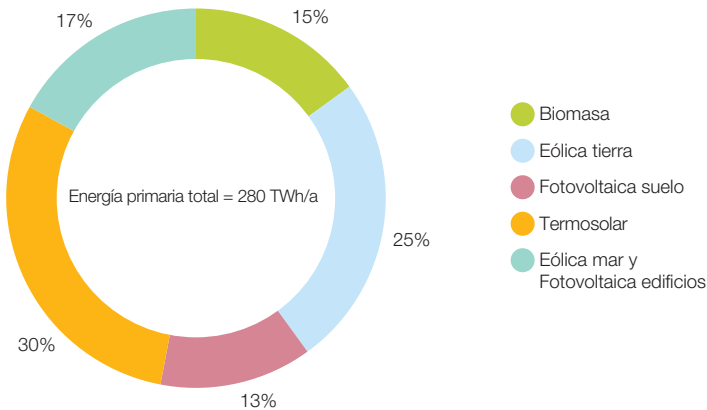


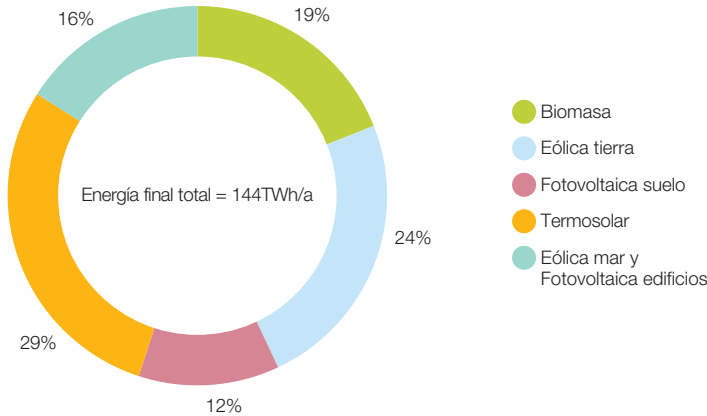
Figura 542. Reparto de la energía primaria empleada para producir los combustibles necesarios en el contexto E3.0. Recordamos que por primaria nos referimos en este apartado a la biomasa empleada para producir los biocombustibles, y a la electricidad empleada para producir el hidrógeno.



⁸⁸⁵ Desde el punto de vista del análisis aquí desarrollado resulta irrelevante el reparto entre estas dos tecnologías, pues no consumen superficie del territorio peninsular.

⁸⁸⁶ Recordamos que en este apartado nos estamos refiriendo a energía final como la correspondiente a los combustibles producidos. Y estos combustibles se dividen entre biocombustibles (cuando proceden del procesamiento de la biomasa primaria), e hidrógeno obtenido a partir de electricidad de origen renovable.

Figura 543. Reparto de la energía final en los combustibles necesarios para el contexto E3.0. En el caso de la biomasa el combustible reflejado en esta figura es el biocombustible obtenido a partir de ella, y para el resto de tecnologías el combustible reflejado en estas figuras es el hidrógeno obtenido a partir de la electricidad por ellas producida.



En estas condiciones, el área dedicada a la producción de biomasa para fabricar biocombustibles alcanza un valor de 11026 km² (2,2% del territorio peninsular), que al unirlo al área requerida para producir la biomasa empleada en los sectores industria y usos no energéticos, asciende a 53101 km² (10,8% del territorio peninsular), lo cual implica emplear en total 197 TWh/a de biomasa, que constituye un 89% del potencial disponible⁸⁸⁷.

La cantidad de recurso de biomasa finalmente empleado resulta elevado en términos relativos al potencial disponible, lo cual podría aconsejar incrementar la producción de hidrógeno más allá del valor resultante al criterio de reparto implementado en este punto para sustituir a parte de la biomasa. En efecto, como comentábamos anteriormente, existe una infinidad de opciones para cubrir la parte de la demanda energética no electrificada. En este punto hemos expuesto los resultados de una de estas posibilidades, basados en un criterio de igualdad de área dedicada para la

producción de combustibles, que en aras al mayor rendimiento energético de los procesos de conversión, hace un uso extensivo del recurso de biomasa, si bien limitado a la explotación de la fracción⁸⁸⁸ del potencial disponible con menor impacto en el ciclo del carbono. Sin embargo existen muchas más opciones al sustituir total o parcialmente el uso de biomasa por hidrógeno en los distintos sectores energéticos, incluyendo el industrial en el que priorizamos⁸⁸⁹ el uso de la biomasa sin considerar la posible participación del hidrógeno. Otros argumentos como los asociados a costes e impacto ambiental pueden desplazar el balance entre biomasa e hidrógeno hacia otro reparto, pero indicábamos anteriormente, el análisis del impacto de estas otras variables en el reparto óptimo queda fuera del alcance de este trabajo.

⁸⁸⁷ En el caso de limitar el potencial disponible a los cultivos energéticos y cultivos forestales de rotación rápida: 221 TWh/a.

⁸⁸⁸ Efectivamente, hemos acotado el recurso de biomasa a implementar en los 221 TWh/a correspondientes a los cultivos energéticos y cultivos forestales de rotación rápida, de los cuales requerimos movilizar 197 TWh/a. Frente al recurso total de biomasa en la España peninsular evaluado en (GP, 2005), 426 TWh/a, movilizamos un 46%.

⁸⁸⁹ El argumento fundamental es que precisamente en el sector industrial es donde el uso directo de la biomasa, sin requerir su conversión a biocombustible, resulta más eficiente.