



Comparativa de emisiones de gases de efecto invernadero entre gas natural, gasóleo y gases licuados del petróleo en el sector residencial

Gas Natural Fenosa Engineering

Autores: Ignacio Montero Sanz e Ignacio Fernández García

1. Introducción

En este informe se comparan las emisiones generadas durante el ciclo de vida de los siguientes combustibles para el sector residencial en la España peninsular: gas natural, gasóleo y gas licuado del petróleo (en adelante GLP). Para ello, se han calculado las emisiones de cada una de las fases de su ciclo de vida, desde los distintos yacimientos de gas y crudo, hasta los puntos de consumo.

La metodología de cálculo empleada es la desarrollada por Gas Natural Fenosa para el cálculo de su Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

2. Consideraciones iniciales y datos de partida

A fin de obtener resultados de emisiones comparables entre los distintos combustibles, se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se han determinado las emisiones de cada sistema del ciclo de vida en base a consumos de energía y emisiones fugitivas (kg CO₂e/TJ).
- Los factores de cálculo utilizados son los mismos que en la Herramienta de Cálculo de Huella de Carbono de Gas Natural Fenosa, del año 2015.

Estos datos empleados son actualizados anualmente, ya que ligeras variaciones en el origen de los combustibles o el mix energético de los países por donde discurren las rutas de abastecimiento, son determinantes para el cálculo final. De hecho, los resultados de este informe solo se consideran válidos para consumos en España peninsular, en el sector residencial y en 2015.

2.1 Identificación de los sistemas del Ciclo de Vida

Para calcular las emisiones del ciclo de vida de los combustibles, se han determinado las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O de cada una de las siguientes etapas o sistemas:

- GAS NATURAL: Extracción, Transporte terrestre por gasoducto en país de origen, Licuefacción, Transporte marítimo en metanero, Regasificación y Transporte terrestre por gasoducto en España (país destino). En el cálculo se incluyen las emisiones fugitivas generadas en la extracción, transporte terrestre y licuefacción.



- GASÓLEO y GLP: Extracción, Transporte terrestre del crudo por oleoductos en país de origen, Transporte marítimo, Refino en país de destino y Transporte terrestre por oleoductos y camiones cisternas en país destino (España). En el cálculo se incluyen las emisiones fugitivas en extracción y refino.

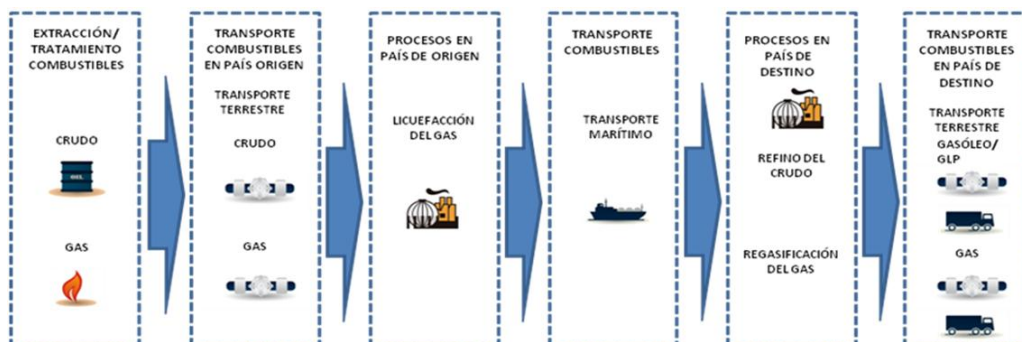


Imagen 1. Proceso completo del ciclo de vida (ACV)

Fuente: Elaboración propia

2.2 Determinación del origen de Combustibles

Para cada combustible se ha considerado su mix de aprovisionamiento a nivel nacional. En el caso del **gas natural**, la fuente de datos la conforman los informes de importaciones de gas por países y de producción nacional de la *Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos* (Cores), así como datos internos de aprovisionamientos de Gas Natural Fenosa.

(<http://www.cores.es/sites/default/files/archivos/estadisticas/importaciones-gas.xlsx>)

(<http://www.cores.es/sites/default/files/archivos/estadisticas/produccion-gas.xlsx>).

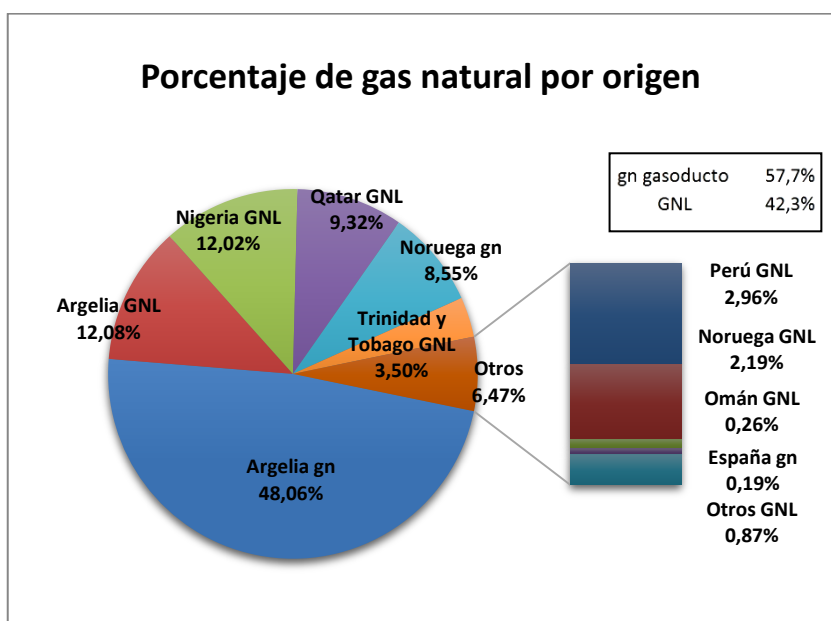


Gráfico 1. Porcentaje de origen del gas natural comercializado en España en 2015 por GNF
Fuente: Elaboración propia, a partir del Informe de importaciones de gas por países y producción (Cores, 2015).



Para el origen de los **combustibles derivados del petróleo (Gasóleo y GLP)**, la fuente de datos utilizada es el Informe de importación de crudo de 2015, publicado también por Cores (<http://www.cores.es/sites/default/files/archivos/estadisticas/importaciones-crudo.xlsx>).

En este caso, las procedencias que no aparecen definidas con exactitud se reparten entre los países de mayor producción y por área geográfica.

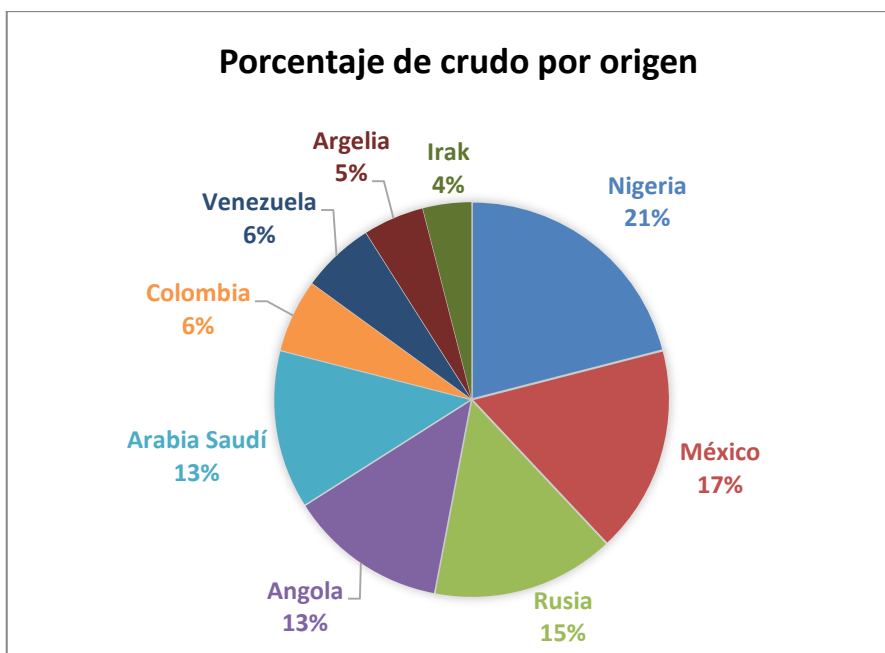


Gráfico 2. Origen de los combustibles derivados del petróleo en España en 2015
 Fuente: Informe de importación de crudo (Cores, 2015).

3. Desarrollo del cálculo

3.1 Hipótesis de cálculo en los sistemas del ACV

Una vez identificado el origen del combustible y las fuentes de emisión o sistemas del ciclo de vida del mismo, se establecen algunas hipótesis para determinar la energía consumida en cada fase, así como sus fugitivas, y poder calcular las emisiones.

Es importante seleccionar debidamente los factores de emisión específicos. Así, anualmente, para el cálculo de la huella de GNF se realizan estudios bibliográficos de factores de consumo de energía durante el ciclo de vida del gas y crudo de diferentes bases de datos de LCA, IPCC, etc. Posteriormente, estos datos se comparan con los datos reales obtenidos en las instalaciones propias. Combinando ambos análisis, se definen los factores de consumo de energía de cada sistema.

Se define como “**País origen**” al país en el que se extrae el combustible; y “**País destino**”, el país en el que se produce el consumo.



3.1.1 Sistema de Extracción

En cada “país origen” se identifican diversos factores que acaban integrándose entre sí para dar lugar al cálculo de las emisiones asociadas a la obtención de combustible, tal como ocurrirá con el resto de sistemas del ACV. Por ejemplo, se utilizan el porcentaje de gas o crudo según el tipo de yacimiento (pozos on-shore o plataformas off-shore), y los datos de consumo asociados a cada uno de dichos tipos de extracción. (Fuentes de datos: IPCC; Medias de valores de extracción para pozos de las bases de datos del Öko-Institut para gas y crudo en plataformas on-shore y off-shore).

Hay que tener en cuenta que no en todos los yacimientos se consume el mismo tipo de energía, sino que se usan combustibles y/o electricidad en distintas proporciones. Por este motivo, en yacimientos donde existe consumo de electricidad, el factor de consumo energético durante la extracción variará, a su vez, en función del factor eléctrico correspondiente al mix de generación del país donde se produce esa extracción.

Así, el gas de las plataformas off-shore de las zonas Ormen-Asgard (con el 42%), Sleipner (5%) y Troll (53%) en el Mar del Norte, se asignan a Noruega (País origen), usando datos del Norwegian Petroleum Directorate, que muestra información de 109 pozos que se encuentran en aguas del país nórdico, en la siguiente página web: <http://factpages.npd.no/FactPages/default.aspx?nav1=field&nav2=PageView%7cAll&nav3=43625>

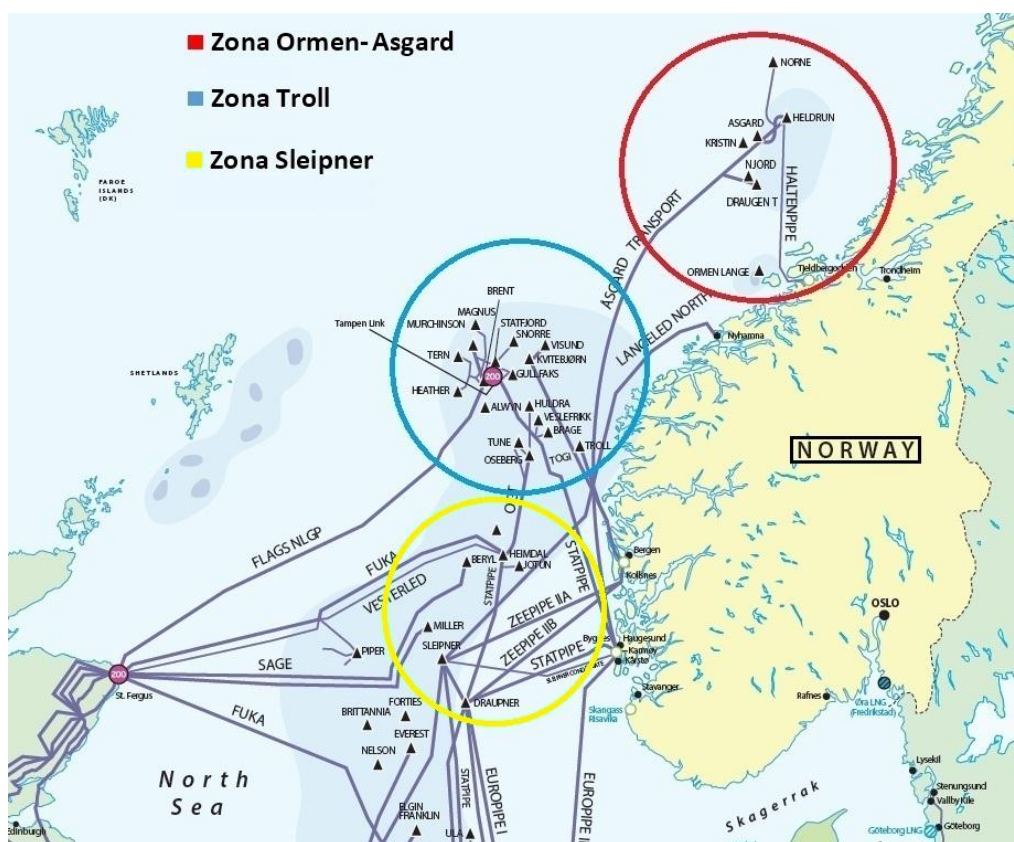


Imagen 3. Localización de las agrupaciones de pozos noruegos
Fuente: The European Gas Natural Network (ENTSOG, 2016).



Otro ejemplo lo constituyen las rutas procedentes de Argelia, en concreto las que parten del yacimiento de Hassi R'Mel y son comercializadas por GNF: la del Medgaz, (10%) y la de Metragaz, a través de Marruecos (90%). En este caso, se trata de extracción en depósitos on-shore, considerando el consumo energético real que tiene lugar en los mismos, notablemente distinto al caso anterior de las plataformas noruegas.

3.1.2 Fugitivas de extracción

Durante la obtención del combustible, se producen una serie de emisiones no siempre controladas (en su mayoría metano), denominadas fugitivas de extracción. Si bien estas emisiones implican pérdidas de energía poco relevantes, a nivel de emisiones de GEI suponen en algunos casos hasta el 60% del total de emisiones del ACV, dato extensible tanto a gas natural como a la producción del crudo de petróleo.

La IPCC propone factores de emisión diferenciando entre países desarrollados y países en vías de desarrollo. A fin de realizar un cálculo más preciso, se han seleccionado dichos factores y se ha asignado, a cada territorio, un valor en función de su índice de desarrollo. (*Fuente: IPCC 2006 GUIDELINES, Vol.2: Energía. Capítulo 4: Emisiones Fugitivas, pág. 4.55, Cuadro 4.2.5 "Factores fugitivas"*). Se asume entonces que existe una estrecha relación entre la tecnología usada, las exigencias ambientales y el desarrollo económico de cada país, particularmente a la hora de valorar su capacidad para recuperar estas fugas de gas o reusarlas durante la extracción de crudo.

Esta correlación se puede comprobar fácilmente en casos como el de Nigeria o Angola, grandes productores de crudo y gas a nivel mundial. La frágil situación política y de seguridad que presentan, con sabotajes continuos a las infraestructuras de producción y transporte de crudo, provocan precisamente que se presenten problemas técnicos de todo tipo de manera permanente, que se ven reflejados en emisiones mucho mayores en forma de fugitivas. Además, estos problemas persisten debido a la casi inexistente asignación de recursos económicos para subsanarlos.

3.1.3 Sistema de Procesos

En este punto se contemplan los consumos energéticos en los procesos de transformación de los combustibles.

Para el **gas natural**, estos procesos son licuefacción y regasificación. Los datos usados son los obtenidos de las propias instalaciones de Gas Natural Fenosa, teniendo en cuenta que la licuefacción se realiza en países de origen, y la regasificación en destino.

La cantidad de energía consumida en estos procesos no es fija por unidad de energía de combustible (TJ), ya que depende de la cantidad de gas natural licuado (GNL) consumido en cada país y de los factores eléctricos específicos de los mismos.

Para el caso **del crudo**, el único proceso de transformación considerado en este ACV es el del refino. La hipótesis principal es que el refino se realiza en el país destino, es decir, no se importan en ningún caso derivados del petróleo.



3.1.4 Sistema de Transporte Terrestre

Para realizar los cálculos, se diferencian siempre dos tipos de rutas para el transporte terrestre: la primera, que discurre por el “país origen”, y la segunda por el “país destino”. A su vez, como “**País de paso**” se entienden aquellos por los que discurre el transporte entre origen y destino.

En el caso del **gas**, la primera ruta por gasoducto discurre desde el yacimiento hasta la frontera con el “país destino”, o hasta la planta de licuefacción considerada en el “país origen” (en caso de GNL). La segunda ruta se considera desde un punto de entrada de gas en el “país destino” o desde la planta de regasificación, y hasta las estaciones de servicio.

En el caso del crudo, la primera ruta por oleoducto transcurre desde el yacimiento hasta el puerto en “país origen”, y la segunda ruta por oleoducto discurre por el “país destino”, desde la refinería hasta el centro logístico. Adicionalmente, se contempla un sistema de transporte terrestre en camiones cisterna por carretera, desde centros de almacenamiento hasta los puntos de consumo.

Como se ha visto en el sistema de extracción, cada yacimiento posee unas características específicas en cuanto al tipo de emisiones, que se han analizado individualmente y por países.

En el caso del transporte terrestre, cada ruta tiene unas características diferentes que serán función de las distancias y de los países de paso, de forma que al final se obtiene un llamado “mix de rutas”. Así, por ejemplo, las rutas desde Noruega a España tienen asociados unos “kilómetros equivalentes”, según las propias distancias desde los yacimientos, pero también en función del porcentaje en origen de cada ruta y del mix eléctrico de cada país de paso.

- Retomando el ejemplo anterior, para el gas natural de **Noruega** (país origen), que llega por gasoducto hasta España (país destino), existen dos posibles rutas:

- a. Ruta 1: desde las plataformas off-shore en gasoducto submarino hasta Bélgica (por Dunkerque), continúa por Francia y llega a España.
- b. Ruta 2: desde las plataformas off-shore en gasoducto submarino hasta Alemania, pasando por Bélgica, Francia y llega a España.

	Sleipner	Ormen-Asgard	Troll
Noruega	936	1399	972
Alemania	-	438	438
Bélgica	141	188	188
Francia	962	962	962

Tabla 1. Longitud (km) de los gasoductos en cada país de paso por yacimiento origen

Fuente: Elaboración Propia.



A la vez, en cada “país de paso”, el transporte por gasoducto tiene consumos energéticos diferentes, ya que la conducción por gasoductos/oleoductos puede consumir tanto combustible como electricidad. Se consideran entonces ciertos porcentajes para motores eléctricos, así como para consumo de gas en motores y/o en turbinas, lo que implica diferentes factores de emisión. Esto indica que las emisiones van a variar en función del mix energético de cada país, que además no permanece homogéneo a lo largo del tiempo.

A continuación se define la emisión específica por cada país de paso en el ejemplo anterior:

(kgGEI/kWh)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Alemania	6,12E-01	4,36E-05	1,09E-05
Bélgica	5,87E-01	1,32E-04	9,43E-06
España	6,12E-01	4,36E-05	1,09E-05
Francia	6,51E-01	3,52E-04	8,73E-06
Noruega	8,00E-03	1,33E-07	3,52E-08

Tabla 2. Emisiones de GEI por kWh consumido.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de datos de la Agencia Internacional de la Energía e IPCC.

- Por otro lado, y para establecer una comparación, desde el yacimiento de gas de Hassi R'Mel, en **Argelia**, se envía gas natural por dos gasoductos hasta la Península.

- c. Ruta 1: Gasoducto del Metragaz, desde dicho yacimiento, atravesando Marruecos y el Estrecho de Gibraltar.
- d. Ruta 2: Gasoducto del Medgaz, desde Hassi R'mel I, que atraviesa en este caso Argelia, el Mar de Alborán y llega a España.

	Hassi R'Mel	Hassi R'Mel I
Argelia	473	690
Marruecos	543	-

Tabla 3. Longitud (km) de los gasoductos en cada país de paso según yacimiento origen

Fuente: Elaboración Propia.

De nuevo, en cada “país de paso” el transporte por gasoducto tendrá consumos energéticos diferentes y distintos factores de emisión. A continuación, se define la emisión específica por cada país de paso en este ejemplo:

(kgGEI/kWh)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Argelia	6,12E-01	4,36E-05	1,09E-05
Marruecos	6,12E-01	4,36E-05	1,09E-05
España	6,12E-01	4,36E-05	1,09E-05

Tabla 4. Emisiones de GEI por kWh consumido.

Fuente: Elaboración Propia, a partir de datos de la Agencia Internacional de la Energía e IPCC.



A modo de resumen, se tiene entonces que, para cada una de las fases del ciclo de vida, se calculan las emisiones resultantes siguiendo una metodología propia mostrada a continuación para el caso concreto del transporte terrestre.

Tomando como ejemplo las emisiones de CO₂ (se repite la metodología para cada uno de los gases de efecto invernadero analizados):

$$Emisiones\ CO_2 = \left(\begin{matrix} \% \\ origen \end{matrix} \right) \times \left(km \right) \times \left(F_{em} \right) \times F_C \times Q(t_{comb}) \quad [kg\ CO_2]$$

donde para cada tramo individual, de cada ruta origen-paso-destino, se tiene:

% origen: reparto porcentual de los distintos países desde los que se realiza la importación de combustibles.

Km: longitudes definidas para cada tramo, de la totalidad de rutas de transporte.

F_C: factor de consumo, que depende de cada país y mide la energía necesaria para la conducción de gas o crudo por km de gasoducto u oleoducto (utilizando, entre otros, datos de la herramienta *Gemis 4.7* del *Öko-Institut*).

(F_{em}): factor de emisiones. Mide la cantidad de GEI liberados por el consumo energético necesario para el transporte terrestre de cada tramo.

Se construye como sigue:

$$F_{em} = \left(F_{tipo\ energia} \right) \times \left(\begin{matrix} \% \\ tipo\ energia \end{matrix} \right)$$

siendo a su vez:

F_{tipo energía}: factor que evalúa la energía consumida para el transporte, según cada país y el reparto entre las distintas tecnologías (por lo tanto, dependiente a su vez del mix eléctrico).

% tipo de energía: reparto porcentual entre motores y turbinas de gas, y/o motores eléctricos.

- Como ejemplo muy simplificado de la metodología anterior, se muestra la comparativa entre las emisiones que resultan del transporte por gasoducto desde Noruega, frente a aquellas que provienen de Argelia.

Suponiendo una tonelada de combustible transportado y un factor de consumo F_C igual a la unidad, se observa la clara diferencia existente entre las emisiones de CO₂ de estos países, a pesar de que intuitivamente se pudiese pensar que una menor distancia recorrida fuera sinónimo de menores emisiones.



Utilizando datos aproximados resulta:

País	Distancia [km]	F _{em} [kgCO ₂ /km]	Emisiones [kgCO ₂]
Noruega	1500	0,08	120
Argelia	750	0,64	480

Tabla 5. Comparación de gasoductos Noruega/Argelia
(Fuente: *Elaboración Propia*).

Es decir, a pesar de que la distancia recorrida por gasoducto desde Argelia fuese igual a la mitad de los kilómetros recorridos desde las plataformas del Mar del Norte, las emisiones en el transporte desde Noruega resultan ser **4 veces menores** que para las rutas argelinas.

Se concluye que para cualquier sistema del ACV, el cálculo de las emisiones requiere de un gran número de factores que varían:

- a) **en el espacio**, cada país de paso para cada ruta tiene características propias (la forma de impulsar el gas y/o mix eléctrico pueden ser muy diferentes hasta en países contiguos).
- b) **en el tiempo**, anualmente las rutas y el mix energético de cada país cambian.

Por lo que a pesar de la cantidad de datos empleados, se reitera que la validez de los resultados aquí mostrados se limita al año 2015 y al sector residencial español.

El estudio de las rutas concretas y del mix energético de los países de paso se debe realizar cada año, considerando que cualquier cambio en el porcentaje de GNL frente a gas natural por gasoducto, supondría que los cálculos y resultados obtenidos no fuesen comparables entre sí. Por ejemplo, las emisiones del gas noruego podrían ser mayores por tonelada de gas que las de Argelia, si existieran sistemas de GNL en su ACV.

3.1.5 Transporte Marítimo

Se trata del transporte en barco del gas natural licuado (GNL) o crudo desde el país origen al país destino. En este caso, los cálculos son sólo función de la distancia entre ambos países dentro de cada ruta, y el consumo de combustibles que tienen los metaneros y petroleros.

Los valores de consumo de estas embarcaciones se han determinado a partir de datos reales de los trayectos realizados por buques de Gas Natural Fenosa.

3.1.6 Fugitivas de transporte terrestre

Al igual que con la extracción, se han seleccionado los valores propuestos por la IPCC tanto para gas como para crudo, ponderados de nuevo con el índice de desarrollo humano de cada país de origen. (Fuente: IPCC 2006 GUIDELINES, Vol.2: *Energía. Capítulo 4: Emisiones Fugitivas, pág. 4.55, Cuadro 4.2.5 "Factores fugitivas"*).



A continuación, se muestra un esquema de las rutas seleccionadas para el cálculo del gas natural en España en 2015:

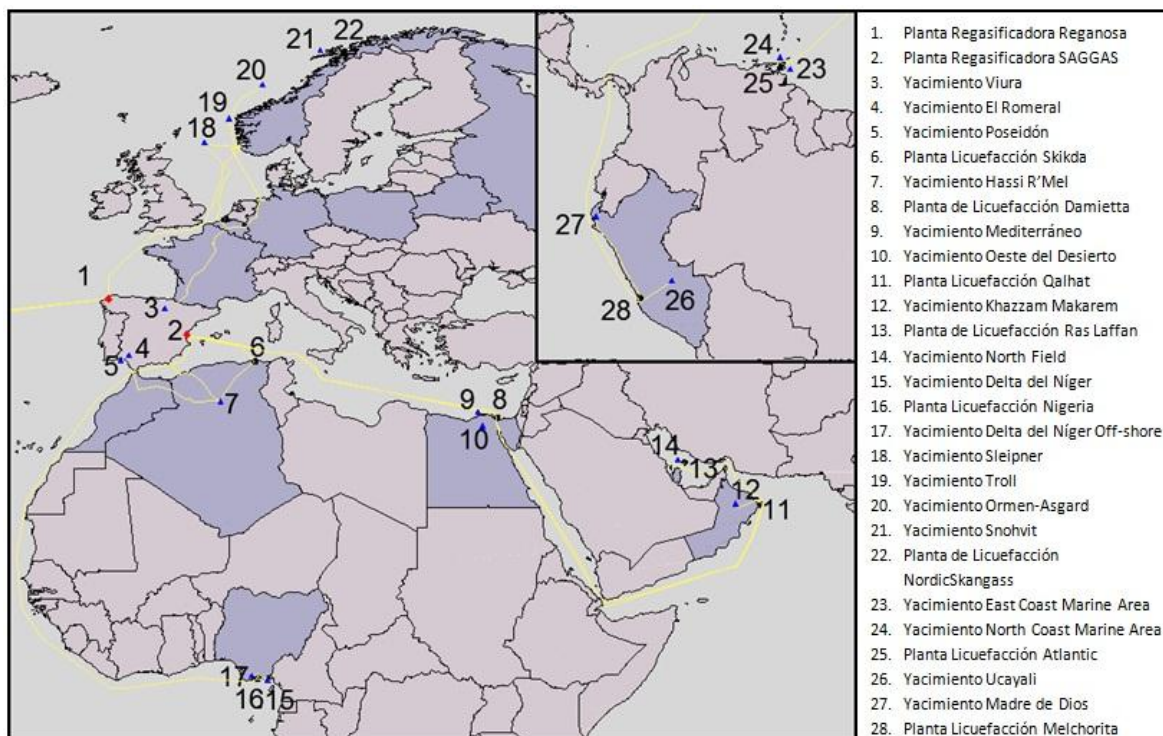


Imagen 2. Rutas de gas seleccionadas para España 2015.

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, la energía consumida en todo el ciclo de vida del combustible, es el resultado de integrar los consumos energéticos y las pérdidas en extracción y transporte (emisiones fugitivas) con:

- El porcentaje de combustible que viene de cada país origen.
- El porcentaje de combustible que procede de yacimientos on-shore u off-shore (tipo de extracción).
- Las distancias de cada ruta de transporte y los países de origen, paso y destino.
- El tipo de energía consumida en cada sistema, y en cada país.

3.2 Emisiones indirectas durante el ciclo de vida del combustible (kg CO₂e/TJ de combustible consumido) para 2015

Los sistemas de emisión calculados en la Herramienta de Cálculo de Huella de Carbono y que se muestran en los gráficos siguientes son: extracción, transporte terrestre origen (gasoducto/oleoducto), proceso (licuefacción, regasificación, consumos en ERM y estaciones de compresión, para el caso del gas natural, y refino, para el caso de derivados del crudo), transporte marítimo y transporte terrestre en destino, hasta el punto de consumo (sin incluirlo – ver punto 3.3).



Las emisiones fugitivas (pérdidas de energía) están incluidas en los valores finales de los sistemas en las que se generan.

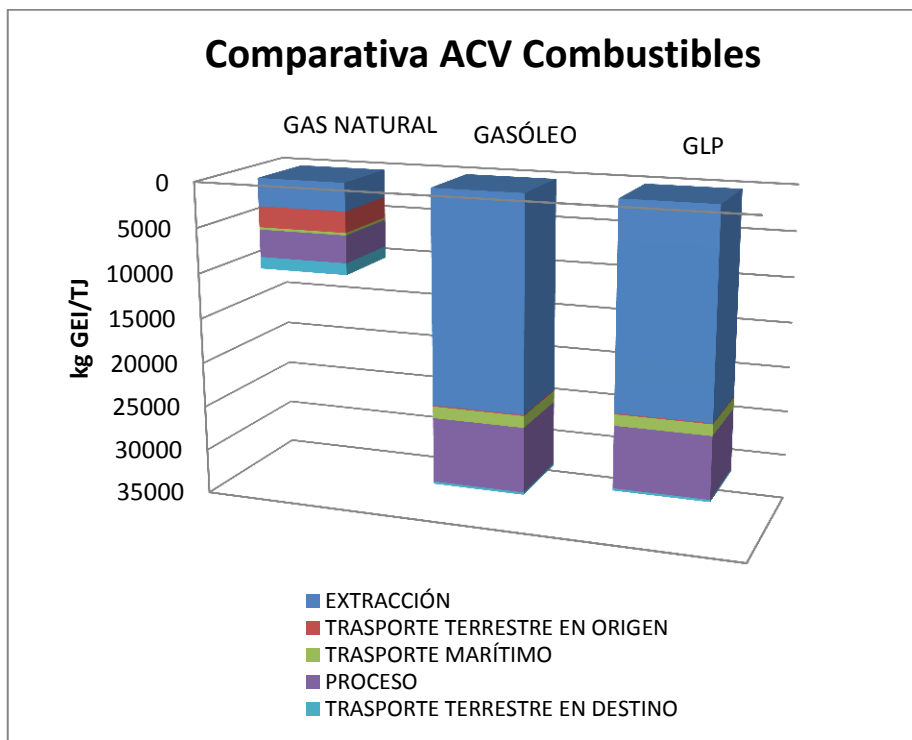


Gráfico 4. Comparativa de emisiones de cada combustible durante su ciclo de vida por unidad de energía consumida en sector residencial en España peninsular en 2015
Fuente: *Elaboración Propia.*

(kg CO ₂ e / TJ)	Extracción	Transporte terrestre en origen	Transporte marítimo	Proceso	Transporte terrestre en destino
GAS NATURAL	3.095,09	2.309,45	268,21	3.036,23	1.295,89
GASÓLEO	23.641,30	112,33	1.319,42	7.226,70	268,54
GLP	22.411,29	106,49	1.250,77	6.850,70	254,57

Tabla 6. Comparativa de emisiones de cada combustible durante su ciclo de vida por unidad de energía consumida en sector residencial en España peninsular en 2015
Fuente: *Elaboración Propia.*

En el gráfico y la tabla anteriores, se muestran las emisiones generadas en el ciclo de vida de los combustibles, considerando, por tanto, todas las fases previas al uso final.

De esta parte del ciclo de vida de los combustibles, el que menos emisiones por TJ produce es el del gas natural, mientras que el de mayores emisiones es el del gasóleo, con un total situado en un 225% por encima del gas. Por otro lado, las emisiones correspondientes al GLP, algo por debajo de las que genera el gasóleo, son superiores a las del gas natural en un 200%.



En el siguiente gráfico se especifica, para cada combustible, el porcentaje que cada una de estas fases representa sobre el total:

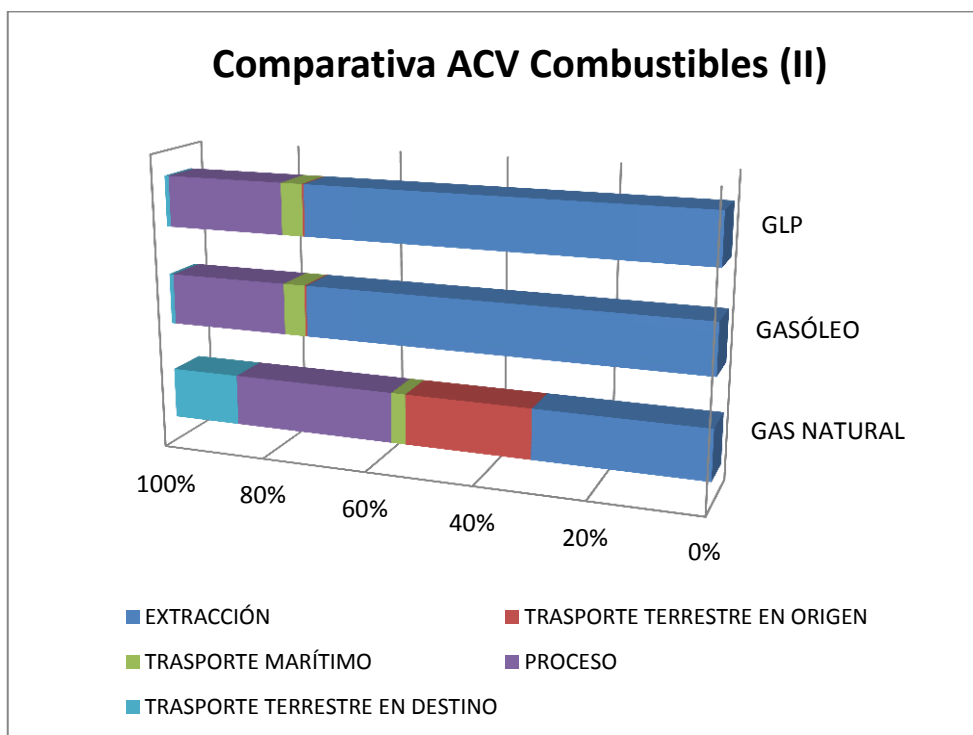


Gráfico 5. Porcentaje de emisiones dentro de cada sistema del ciclo de vida.

Fuente: Elaboración Propia

Tanto para el gasóleo como para GLP, el sistema más intensivo en emisiones es el de la Extracción, seguido de la fase de Proceso, ya que ambos pasan por procesos de refino. Esto se debe principalmente a las emisiones de metano durante la extracción, a pesar de que en términos de energía estas pérdidas sean mínimas.

En cuanto al gas natural, las emisiones descienden considerablemente en la fase de extracción, mientras que son notablemente superiores para el sistema de transporte, especialmente por gasoducto. Este transporte terrestre supone un 23% de las emisiones totales del ciclo de vida del gas, frente a valores inferiores al 1% para los combustibles líquidos, en cuyos oleoductos no existen emisiones fugitivas de GEI.

3.2.1 Comparativa de emisiones indirectas entre los años 2012 y 2015

En este punto se considera de gran interés establecer una comparación entre los valores obtenidos para el ejercicio actual y los que existían del año 2012, ambos para el sector residencial. De esta manera, se puede analizar cómo la variación de factores de muy distinta naturaleza afecta a las emisiones de cada uno de los sistemas que conforman el ciclo, como se aprecia en el gráfico mostrado a continuación.

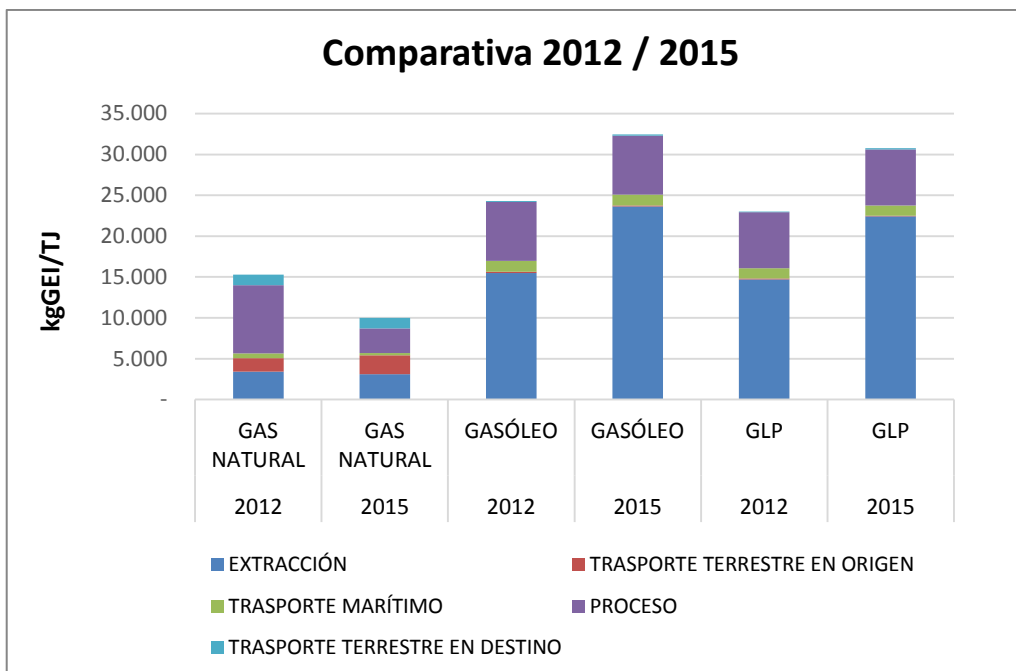


Gráfico 5. Comparativa de emisiones 2012 / 2015

Fuente: *Elaboración Propia*

➤ En cuanto a la fase de extracción:

- Para el gas natural se aprecia un descenso del 10% en las emisiones (desde 3420 hasta 3095 kgCO₂e /TJ) debido a la bajada en el porcentaje de yacimientos off-shore, pero también por el cambio que ha sufrido el mix de abastecimiento, con una subida importante en la proporción de gas natural importado por gasoducto frente a GNL (gráfico siguiente). Se puede señalar también la reducción en las importaciones desde países como Nigeria, en contraste con la subida en el gas traído por gasoducto desde Argelia.

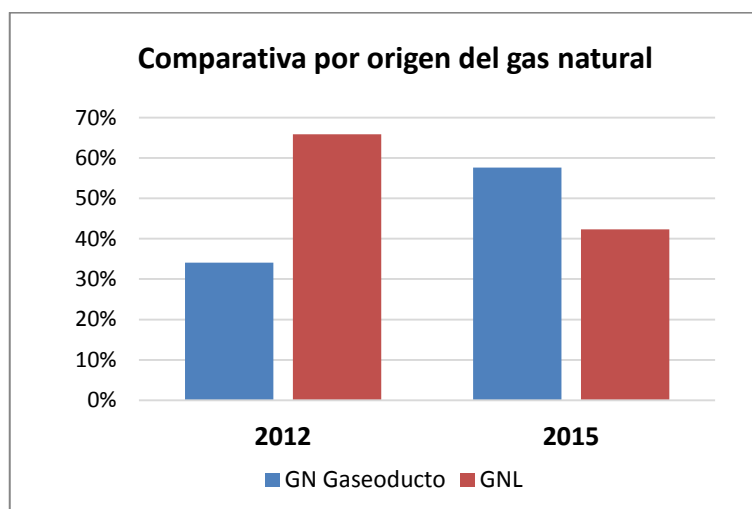


Gráfico 6. Comparación gasoducto vs GNL

Fuente: *Elaboración Propia*



- Mientras, las emisiones del Gasóleo y GLP se elevan en un 53%, desde el entorno de los 15000 hasta valores de 23000 kgCO₂e/TJ. Al contrario que con el gas natural, aumenta el porcentaje de origen de pozos off-shore, y a la vez ganan peso las importaciones desde países como Angola o Nigeria, con peores factores de emisión.

Cabe resaltar la gran diferencia que existe entre los valores que muestra cada grupo de combustibles. Comparando los valores del año 2015, las emisiones de gasóleo y GLP, en extracción, son aproximadamente 7,5 veces mayores a las del gas natural. Esta desigualdad se debe a las elevadas emisiones fugitivas de metano durante la obtención del crudo, como se había mencionado anteriormente.

Esta diferencia puede apreciarse con facilidad al contrastar los valores que muestra la IPCC para emisiones fugitivas en extracción de gas natural frente a crudo, en países desarrollados, con factores de emisión entre 2 y 10 veces superiores para la producción de petróleo, lo que evidencia la adecuación de los resultados obtenidos en la Herramienta de Cálculo de Huella de Carbono (*Fuente: IPCC 2006 GUIDELINES, Vol.2: Energía. Capítulo 4: Emisiones Fugitivas, pág. 4.48, Cuadro 4.2.4 "Factores fugitivas"*).

➤ Fase de transporte terrestre en origen:

- Las emisiones de este sistema para gas natural se incrementan en un 39% (desde 1660 hasta 2309 kgCO₂e/TJ), básicamente por el aumento en los kilómetros de gasoducto en origen. Respecto a la situación del año 2012, se produce una bajada importante en el porcentaje de GNL, cuyos países exportadores tienen distancias muy cortas hasta las plantas de licuefacción (Trinidad y Tobago, Nigeria...); esto contrasta con la mayor importación actual por gasoducto, mayoritariamente desde Argelia, con medias de hasta 750 kilómetros de transporte terrestre en origen.

- Para Gasóleo y GLP se aprecia una reducción del 27% de las emisiones, básicamente porque se tienen menores distancias de oleoducto en origen.

➤ En cuanto al transporte marítimo:

- Las emisiones del transporte de gas natural por mar disminuyen en un 52% (desde 559,96 hasta 268,21 kg CO₂e/TJ) por la importante reducción en la cantidad de GNL importado, así como por menores traslados desde países más alejados como Trinidad y Tobago o Nigeria, y el cese de las importaciones desde Estados Unidos o Egipto.

- Para gasóleo y GLP las emisiones se mantienen prácticamente iguales (apenas un 0,3% de subida). En este caso, la subida en las importaciones desde países alejados como Nigeria y Angola provoca ese aumento, que sin embargo apenas se aprecia en comparación a lo que sucedía con las fugitivas de extracción.



➤ Para las fases de proceso:

- Las emisiones de procesos asociados al gas natural, licuefacción y regasificación, sufren una importante bajada (un 64% menos, desde 8350 hasta 3036 kg CO₂e/TJ). De nuevo se debe a la reducción del porcentaje de GNL importado a nuestro país, y vuelve a ser claro ejemplo de porqué no se deben utilizar valores medios de países o años en ningún caso, pues cualquier cambio en los porcentajes de origen tiene un efecto directo en las emisiones que resultan del ACV.

- En el caso del gasóleo y los gases licuados del petróleo, de nuevo las emisiones se mantienen casi sin cambio (solo un 0,1% de aumento). La única variación es el valor del factor de emisión del mix eléctrico, pero con un peso muy bajo en las emisiones de las refinерías.

➤ Por último, transporte terrestre en destino:

- Tanto para gas natural como para combustibles derivados del crudo, los cambios que se aprecian en el transporte terrestre en España no son significativos. Para el gas el cambio es prácticamente nulo, y sólo se vería modificado por el cambio en el factor de fugitivas del país. Para gasóleo y GLP, sí se aprecia una subida del 40% pero siendo cantidades muy bajas (sobre 45 kg CO₂e/TJ), debido al cambio en el mix energético que afecta al transporte por oleoducto.

3.3 Emisiones derivadas del uso final del combustible, (kgGEI/TJ de combustible).

A continuación se muestran en una tabla los factores de emisión empleados para los cálculos, expresados en kg CO₂e por 1 TJ de consumo en sector residencial en la España peninsular para cada combustible:

(kgGEI/TJ)	Gas Natural	Gasóleo	GLP
CO ₂	56.000	73.000	63.600
CH ₄	5	10	5
N ₂ O	0,1	0,6	0,1
CO _{2e} ⁽¹⁾	56.154,8	73.428,8	63.754,8

Tabla 7. Factores de Emisión por defecto para combustión fija.

Fuente: IPCC En CH₄ y N₂O y OECC en CO₂.

¹ Para calcular CO_{2e} se ha usado un PCG de CH₄ de 25 y de N₂O de 298 (AR4 IPCC)

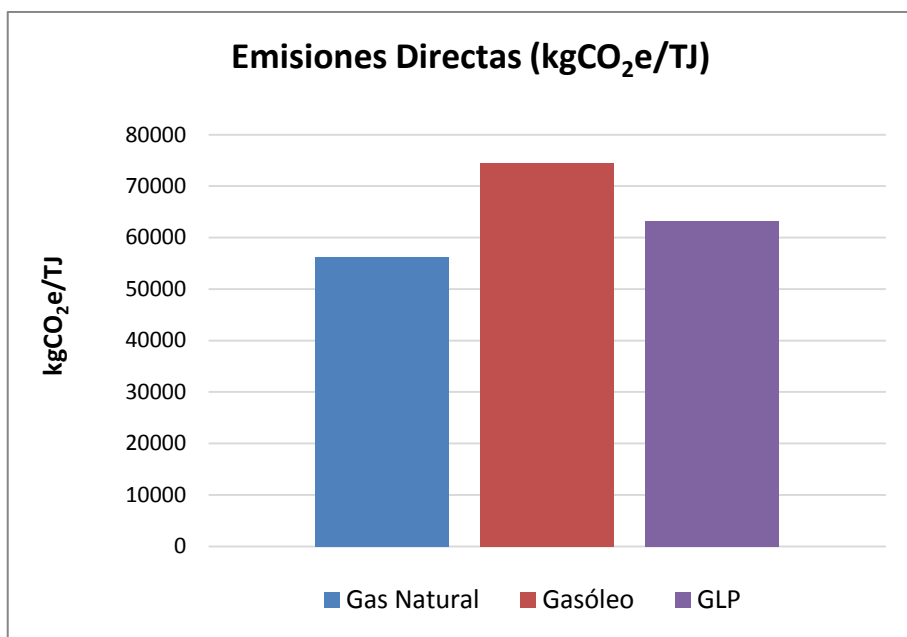


Gráfico 6. Emisiones Directas por consumo de combustible.
Fuente: *Elaboración Propia*

El gráfico anterior muestra las emisiones directas de GEI derivadas de la combustión de 1TJ de combustible. Como sucedía para las emisiones indirectas, en la fase final de uso se mantiene la misma tendencia: el gas natural es el menos emisor seguido de GLP y gasóleo, con valores mayores en un 32% y 12% respectivamente.

Hay que destacar que, a diferencia de las emisiones correspondientes a los sistemas previos al consumo, las que resultan del uso final se mantienen prácticamente fijas para cada combustible, sin depender de factores más allá de las características químicas intrínsecas a cada uno de ellos.

3.4 Emisiones Totales (kg CO₂e/TJ de combustible).

Se insiste de nuevo en que los resultados aquí mostrados corresponden a los cálculos realizados para consumos de combustibles en fuentes fijas en España, con datos del mix de origen de combustibles de Gas Natural Fenosa de 2015 y el mix de generación eléctrica de todos los países estudiados, correspondientes a dicho año.

Los resultados de las emisiones totales, que tienen en cuenta las emisiones derivadas del ciclo de vida del combustible (emisiones indirectas) junto a las emisiones directas por el uso final del combustible (combustión directa), se muestran en el siguiente gráfico.

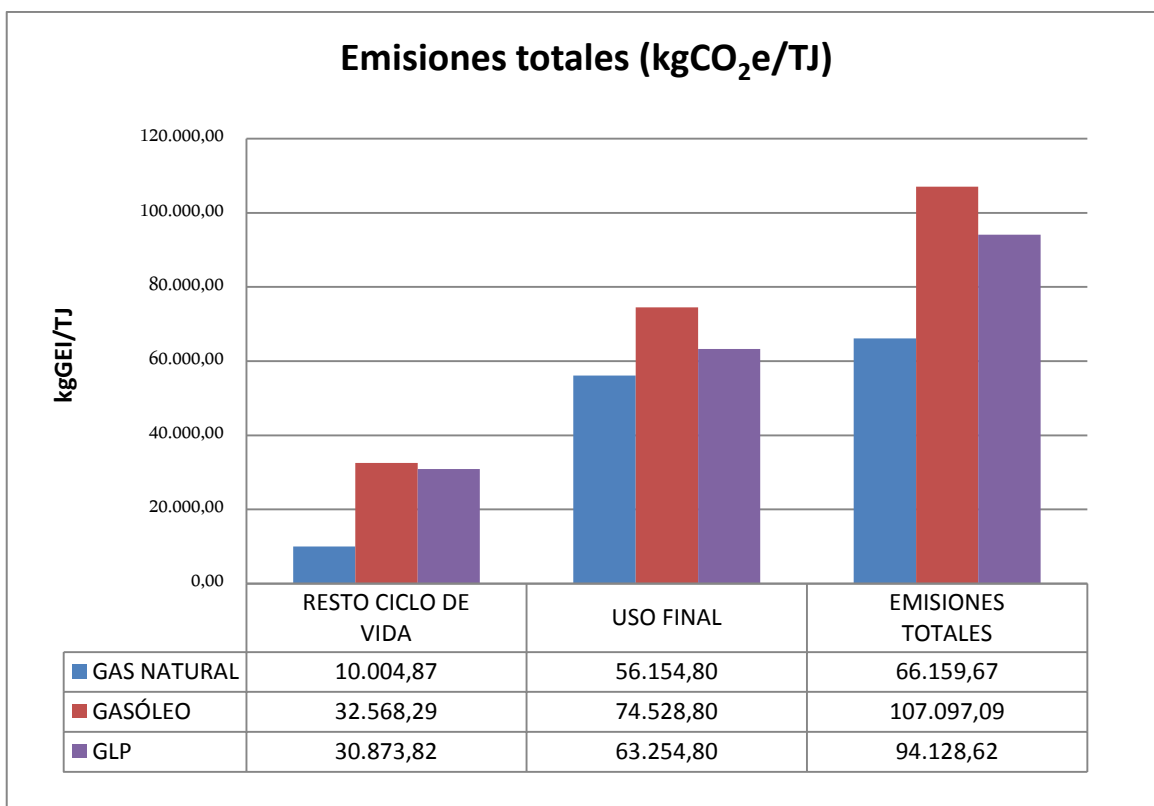


Gráfico 7. Emisiones totales para el sector residencial en España en 2015 (kg CO₂e/TJ).

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con los resultados que se muestran en el gráfico anterior, el gasóleo y el GLP tienen unas emisiones totales superiores en un 62% y un 42% respectivamente, ambos con respecto al gas natural, que es el combustible que menos emite.

No obstante, a los cálculos anteriores se debe añadir el efecto del rendimiento de las calderas en el que se está produciendo la combustión, ya que se producen cambios en las emisiones al variar la cantidad de combustible consumido para la obtención de la misma cantidad de energía.

Las eficiencias consideradas son las siguientes:

Diesel	Propano	Gas Natural
95%	103%	103%

Tabla 8. Rendimiento de diferentes motores

Fuente: Elaboración propia. Datos medios de fabricantes de calderas de condensación de potencia inferior a 70 kW



A continuación se muestra el efecto del rendimiento en las emisiones del ciclo de vida. Como referencia se considera que el 100% corresponde a las emisiones del gas natural.

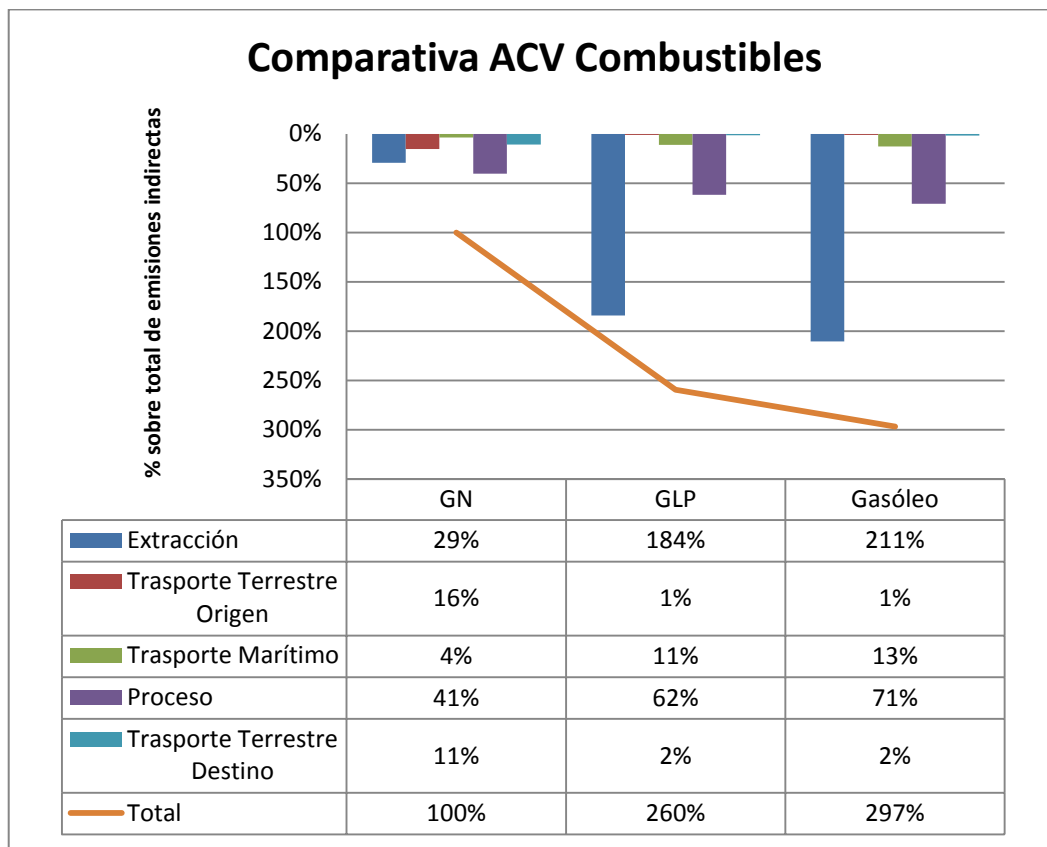


Gráfico 8. Porcentaje sobre el total de emisiones totales del gas natural.

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados muestran cómo las emisiones indirectas generadas a lo largo del ciclo de vida del gas natural son menores que las derivadas de un único sistema, el de extracción, para la obtención de gasóleo o GLP.



4. Conclusiones

Con los resultados que arroja este estudio se puede afirmar que, para los aprovisionamientos de combustible de 2015 en España, **las calderas que consumen gas natural, a efectos de emisiones de GEI, son cuantitativamente mejores que aquellas calderas que consumen combustibles derivados de petróleo.**

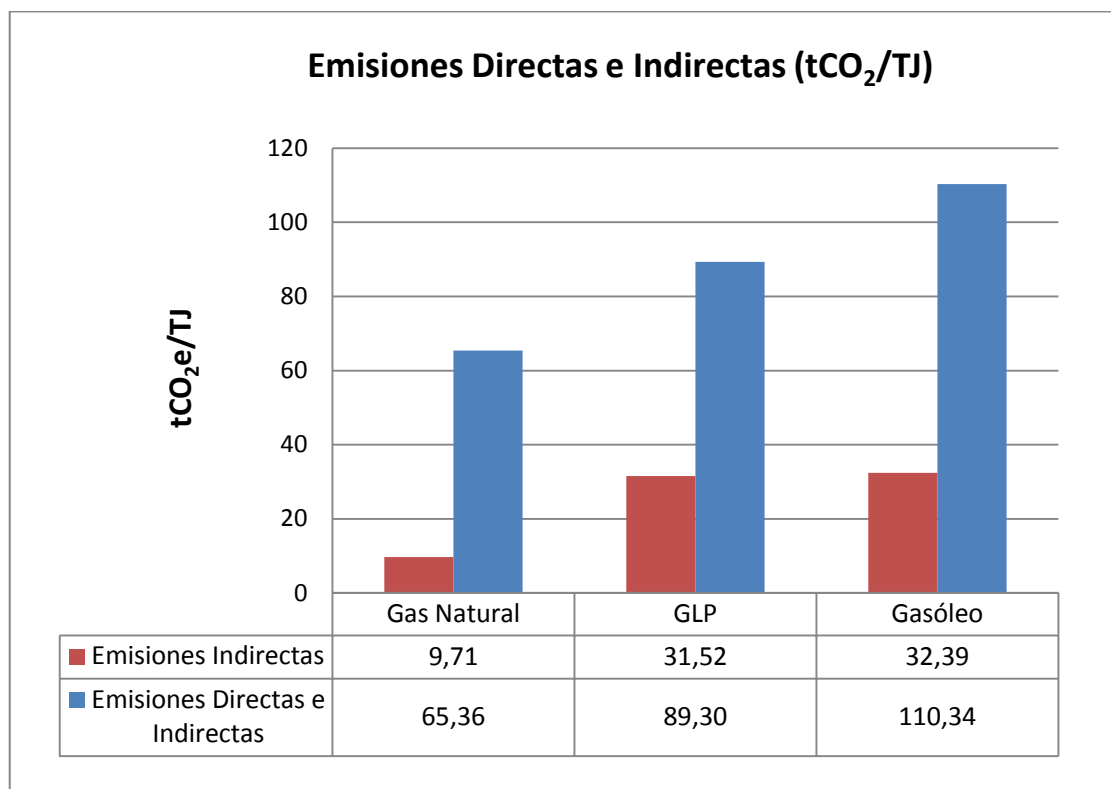


Gráfico 9. Emisiones directas e indirectas en (tCO₂/TJ) incluyendo el rendimiento de la combustión.

Fuente: Elaboración Propia.

Como puede observarse, consumir gas natural supone un ahorro en emisiones totales de hasta un 38%^(*) frente al gasóleo. Si este mismo ejercicio se realiza sólo teniendo en cuenta las emisiones indirectas, el gas natural supone un ahorro de hasta un 69%^(*) en emisiones.

Al comparar las emisiones por TJ de combustible consumido, existe un ahorro en las emisiones de gases de efecto invernadero de hasta un 26%^(*) si se consume gas natural frente al consumo de GLP. Si se excluye el uso final del combustible y se comparan únicamente las emisiones indirectas del ciclo de vida, la ventaja sería del 67%^(*).

^(*) Cálculos válidos únicamente para consumos de combustibles en fuentes fijas en el sector residencial en España, y para datos del mix de origen de combustibles de Gas Natural Fenosa y del mix eléctrico de los países de origen del combustible, en el año 2015.



Se puede concluir resaltando que:

- Tal como se veía en el punto 3.2.1, las variaciones en el mix de aprovisionamiento de los combustibles de año en año, implican modificaciones sustanciales en las emisiones producidas durante el ciclo de vida (para el crudo una subida de un 35% con respecto a los valores del 2012).

En el caso del gas, en el año 2012 dos terceras partes del gas importando correspondían a GNL, mientras el resto se traían por gasoducto. En cambio, en el mix de 2015 ocurría la situación opuesta, con 2/3 correspondientes a gasoducto y el resto a GNL. Esto supone una reducción importante en las emisiones durante el ciclo de vida del gas natural en España, entre 2012 y 2015, cifrada en un 33%. Pone de relieve el gran peso que tiene el origen de los combustibles de cara a los resultados de emisiones totales.

Esta situación muestra por otro lado la alta capacidad de España para diversificar el suministro de gas natural y ajustarse a las exportaciones que estén disponibles, como sucede en otros territorios como Gran Bretaña o Francia, con altas capacidades de regasificación. Muchos otros, en cambio, ya sea por su ubicación geográfica o capacidades inferiores, tienen una versatilidad mucho menor para hacer frente a abastecimientos variables en el tiempo.

- Dichas variaciones en el porcentaje de GNL importado, pero también en las propias rutas de abastecimiento o el mix energético asociado a cada país por el que estas discurren, entre otros factores, dejan claro **que no es posible tomar un valor fijo de factor de emisión para el ciclo de vida de un combustible determinado**, sino que estos variarán entre países y en el tiempo.

Como ejemplo, se muestran las diferencias en los factores de emisión de los combustibles analizados en este estudio, en tCO₂e por tonelada de combustible consumido, entre los años 2012 y 2015:

Em _T [A3]	Diésel	GLP	Gas Natural
2012	4,21 [1,01]	3,88 [1,01]	3,39 [0,72]
2015	4,50 [1,30]	4,17 [1,30]	3,20 [0,53]

Tabla 9. Em_T: emisiones totales; [A3]: emisiones durante el resto del ciclo de vida

Fuente: Elaboración propia