



# DESCARBONIZACIÓN Y EMPLEO EN EL SECTOR SIDERÚRGICO ESPAÑOL

## INFORME GLOBAL



Impactos sobre el empleo asociados  
a la implementación de nuevas tecnologías y  
cambios en los procesos industriales para la  
descarbonización del sector siderúrgico

Con la colaboración de:



## Agradecimientos

El presente informe ha sido posible gracias a la colaboración de las siguientes personas:

- Tamara Antón. CCOO de Industria.
- Ana Isabel Martínez. Syndex.
- José Manuel Casado. CCOO de Industria.
- Ángel Muñoa. CCOO de Industria.
- Alejandro González. CCOO de Industria.

Asimismo, queremos agradecer la colaboración de las siguientes personas, organizaciones y entidades:

- Luis Mouliá. CCOO de Industria de Euskadi.
- Representación sindical de CCOO en Nervacero, Arcelor Etxebarri, ACB Sestao, Tubos Reunidos y Tubacex.
- Andrés Barceló. Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID).
- Aitor Goti Elordi. Universidad de Deusto.
- Cristina Lesta Iñiguez. Xunta de Galicia-Subdirección de Formación Profesional.
- Francisco Ortega Fernández. Universidad de Oviedo-Escuela Ingeniería de Minas.
- Julio Lorente. Federación Española de Recuperación y Reciclaje.
- Miguel Ángel Fernández. Centro Nacional del Hidrógeno.
- Asier San Millán. Asociación Clúster de Siderurgia (SIDEREX).
- Luis Ángel Colunga. Comisionado para el PERTE de descarbonización industrial.
- Joaquín Barreiro García. Universidad de León- Dto. Ingeniería mecánica.
- Pablo Ignacio Fernández Suárez. Centro de Referencia Nacional de la familia profesional de fabricación mecánica, área de construcciones metálicas y fundición.
- Ignacio Santos Fernández. Centro de Referencia Nacional de la familia profesional de fabricación mecánica, área de construcciones metálicas y fundición.
- Juan Almagro. Acerinox.
- Aitor Larrea. Centro de Formación Profesional de Laudio (Álava).
- Sergio San Martín. Centro de Formación Profesional de Somorrostro (Bilbao).
- Laura Izaguirre. Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI).
- Aitor Cobanera. Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial (SPRI).
- Sonia García. Formación Profesional del Gobierno de Navarra.
- Sarah López. Ecologistas en Acción.
- Asier Madariaga. Corredor Vasco del hidrógeno (BH2C).
- Sara Pérez. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Manuel Belber. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Santiago Oliver. Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID).
- Milena Ferrari. Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID).

El presente informe ha sido elaborado por la Fundación 1º de Mayo, con la colaboración de Syndex.

### **Autores:**

**F 1º de Mayo:** Antonio Ferrer Márquez, Olga López Maeztu, José Ignacio Miñambres Maldonado y Pablo José Moros García

**Syndex:** Raquel Barreiros Novoa

**Depósito Legal:** M-3574-2025

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>PARTE 1. CONTEXTO DE LA SIDERURGIA ESPAÑOLA PARA LA DESCARBONIZACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>1. El sector siderúrgico español .....</b>	<b>7</b>
1.1. La producción de acero y el empleo en el sector siderúrgico español .....	7
1.2. El consumo de energía fósil en el sector siderúrgico .....	10
1.3. Evolución de la demanda de acero .....	12
1.4. Estrategias de descarbonización de los grupos siderúrgicos .....	13
<b>2. El contexto de España para la descarbonización .....</b>	<b>16</b>
2.1. El mercado eléctrico español .....	16
2.2. Energías renovables.....	17
2.3. Instalaciones EAF .....	21
2.4. El hierro de reducción directa (DRI).....	21
2.5. Hidrógeno verde .....	22
2.6. La sequía y su impacto en la disponibilidad de recursos hídricos en la siderurgia.....	31
2.7. Geopolítica para la ubicación de la industria: hacia un modelo regional de materias primas .....	32
2.8. La chatarra como materia prima clave para la transición.....	33
<b>PARTE 2. ESCENARIOS PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA SIDERURGIA ESPAÑOLA.....</b>	<b>41</b>
<b>3. Tres escenarios para la descarbonización en España para 2030: energías renovables, chatarra, DRI e hidrógeno verde .....</b>	<b>41</b>
3.1. Escenario 1: BF-BOF y EAF 100% chatarra .....	42
3.2. Escenario 2: EAF-DRI-Gas Natural y EAF 100% chatarra con electricidad renovable .....	47
3.3. Escenario 3: uso del hidrógeno verde en un EAF-DRI con electricidad renovable .....	54
<b>4. Análisis de la posible evolución del empleo en el sector siderúrgico en España a partir de los escenarios planteados .....</b>	<b>60</b>
<b>PARTE 3. IMPACTOS SOBRE EL EMPLEO EN LA SIDERURGIA ESPAÑOLA .....</b>	<b>67</b>
<b>5. Impactos sobre el empleo en la cadena de valor .....</b>	<b>67</b>
5.1. La chatarra férrica y el empleo .....	67
5.2. Un nuevo ecosistema industrial alrededor del Hidrógeno Verde .....	69
5.3. Empleo en la producción de DRI .....	73
<b>6. Perfiles profesionales y necesidades formativas del sector de la siderurgia .....</b>	<b>75</b>
6.1. Breve descripción metodológica del análisis cualitativo de la posible evolución del empleo.....	75
6.2. La doble transición en el sector siderúrgico: Descarbonización y digitalización .....	76

6.3. Barreras ante el proceso de transición.....	78
6.4. Las profesiones del sector siderúrgico actual .....	80
6.5. Nuevos perfiles demandados por el sector siderúrgico .....	81
6.6. Profesiones siderúrgicas con mayores posibilidades de afectación.....	84
6.7. Oferta formativa adaptada a las necesidades de la doble transición del sector siderúrgico: formación profesional y grados universitarios .....	88

#### **PARTE 4. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS PARA UNA INDUSTRIA SIDERÚRGICA SOSTENIBLE .....95**

<b>7. Conclusiones y propuestas para una industria siderúrgica sostenible y descarbonizada .....</b>	<b>95</b>
--	-----------

<b>8. Bibliografía y fuentes de información.....</b>	<b>98</b>
--	-----------

# INTRODUCCIÓN

La industria siderúrgica española es un sector estratégico clave en nuestra economía, desempeñando un papel crucial en el tejido productivo y tecnológico del país. Desde el punto de vista laboral, es un sector que proporciona un empleo de calidad, con cerca de 22.000 puestos directos en la fabricación y primera transformación del acero.

Este sector se enfrenta a retos y desafíos muy importantes, principalmente asociados a la descarbonización de la actividad para cumplir con el objetivo de neutralidad climática en 2050 fijado por la Unión Europea. En España, la industria siderúrgica es responsable de aproximadamente el 4% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>.

Ante este escenario de descarbonización, el sector de la fabricación de acero en el conjunto de la UE se encuentra sumido en un difícil contexto internacional: incertidumbre regulatoria y tecnológica, costes energéticos elevados, ola proteccionista, pérdida de competitividad para competir con el acero chino que está inundando el mercado europeo, etc.

No obstante, la siderurgia española cuenta con diversas fortalezas que pueden ayudar a la transición hacia la neutralidad climática de su producción y a la defensa de los puestos de trabajo del sector. Y es que España es uno de los países dentro de la UE con mayor producción de acero a partir de chatarra reciclada y cuenta con una ventaja competitiva a la hora de integrar las energías renovables al proceso industrial. Ambos elementos posicionan a nuestro país como exportador de conocimiento y tecnología de hornos de arco eléctrico (EAF) a otros países que aún dependen de los altos hornos y necesitan avanzar tecnológicamente. En relación con el hidrógeno verde, el vector clave de la descarbonización del sector, España también presenta un gran potencial en su producción al contar con una gran cantidad de recursos solares y eólicos, una base industrial sólida en el sector, con empresas líderes en la producción de electrolizadores y otros componentes clave. Además, la Hoja de Ruta del Hidrógeno verde y las numerosas iniciativas empresariales en torno a este sector podrían posicionarnos como líderes en un mercado emergente, de llegar a materializarse y de superarse algunos cuellos de botella que existen en la actualidad.

En cualquier caso, la transición del sector hacia la neutralidad climática requiere del estudio de los posibles escenarios tecnológicos y de la propuesta de alternativas para proteger a las personas trabajadoras que puedan verse afectadas por una posible pérdida de empleo o por las consecuencias derivadas de las nuevas necesidades de cualificación y formación de un sector abocado a un profundo cambio tecnológico.

Este ha sido el principal objetivo del proyecto EMDESID, cuya ejecución se concreta en el presente informe, a través del cual se ha analizado el impacto sobre el empleo del proceso de descarbonización del sector siderúrgico en España y se plantea una propuesta para una transición justa hacia una industria siderúrgica sostenible.



# PARTE 1. CONTEXTO DE LA SIDERURGIA ESPAÑOLA PARA LA DESCARBONIZACIÓN

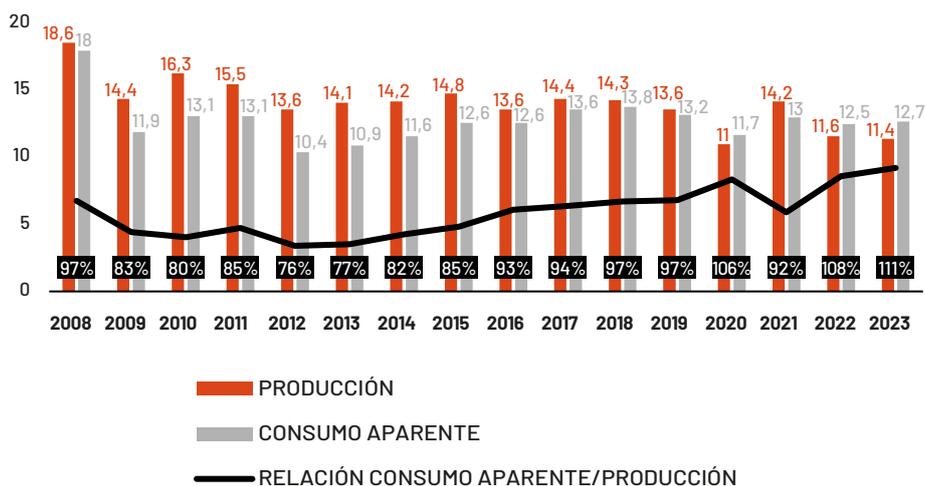
## 1. El sector siderúrgico español

### 1.1. La producción de acero y el empleo en el sector siderúrgico español

La producción mundial de acero se situó en 1.851 Mt durante el año 2023, lo que supuso un ligero descenso del 3,1% con respecto a 2021 debido a las restricciones de producción en China. Desde 2015, China produce más acero crudo que el conjunto de países del resto del mundo, una diferencia en favor del país asiático que llegó a alcanzar los 285 Mt en 2020 y que se ha reducido en los últimos 3 años.

La producción de acero crudo de la UE 27 alcanzó mínimos históricos en 2023, con una cifra de 126,3 Mt, lo que supone un descenso del 17% con respecto a 2021 y del 21% con respecto a 2019. Dicha disminución es muy superior a la experimentada a nivel mundial, reflejando las dificultades y los retos a los que se enfrenta la industria europea.

**Producción de acero bruto y consumo aparente en España (Mt)**



Fuente: World Steel

También en España la producción obtuvo valores históricamente bajos. En 2023 la fabricación española de acero crudo se situó en 11,4 Mt, sólo por encima de la producción alcanzada en 2020, en plena pandemia. La relación entre producción y consumo aparente de acero presenta un consumo siempre por detrás del nivel de producción, salvo en 3 años: 2020, 2022 y 2023, donde el consumo aparente

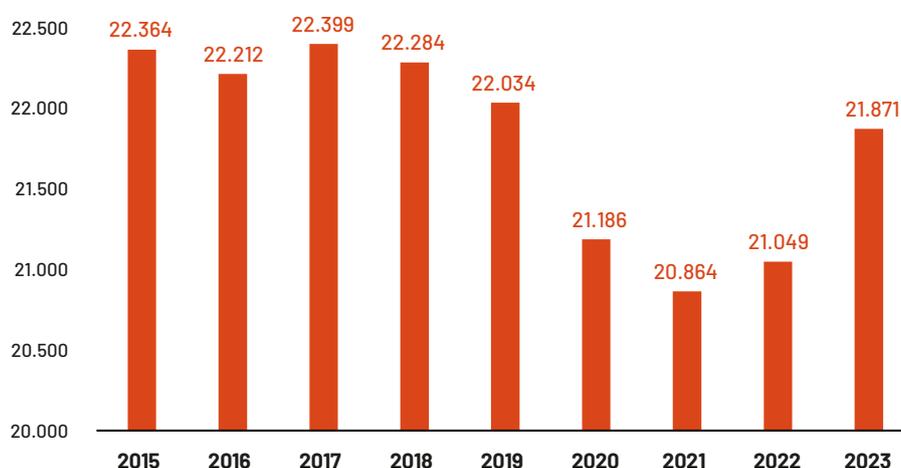
superó a la producción de acero en 700kt, 900kt y 1.300kt respectivamente. Ello da muestras de la penetración de importaciones de acero para consumo interno, especialmente las provenientes de países del sudeste asiático.

Durante los 8 primeros meses de 2024, la producción de acero bruto en España aumentó un 4%, representando un incremento de más de 300kt con respecto al mismo período de 2023, situando el nivel de producción en valores similares a los del año 2022.

La industria española se enfrenta a desafíos concretos que tendrá que abordar en el corto y medio plazo. La competencia a nivel europeo y global, la fluctuación de los precios de las materias primas, el proteccionismo, el proceso de transición ecológica y digital conllevan un periodo de ajuste que influirá tanto en los niveles de producción como en el empleo. La evolución del empleo en la siderurgia española a lo largo de las últimas décadas ha estado marcada por diversos factores como la globalización, la automatización, la transición energética y las distintas crisis económicas. Actividad clave en la industrialización de nuestro país, a partir de los años setenta comienza un proceso de reconversión que conllevó el cierre de muchas empresas y la especialización en aceros especiales y de alta calidad, lo que permitió la estabilización del empleo hasta la crisis de 2008.

Actualmente, el sector siderúrgico español, entendiendo por tal tanto la industria de fabricación del acero como la de su primera transformación, emplea de manera directa a 21.871 personas<sup>1</sup>. El empleo asociado a la fabricación de acero asciende a cerca de 12.000 puestos de trabajo, repartidos entre las 22 plantas distribuidas por nueve comunidades autónomas<sup>2</sup>, si bien es en la cornisa cantábrica dónde está implantada el 50% de las instalaciones<sup>3</sup>. El resto del empleo se concentra en las 50 instalaciones de primera transformación y laminación, con una implantación territorial similar a la de la fabricación de acero.

### Evolución del empleo en siderurgia y primera transformación



Fuente: UNESID

Se trata, casi en su totalidad, de instalaciones en las que el acero se obtiene mediante la vía de *horno de arco eléctrico* (EAF, por sus siglas en inglés), una tecnología en la que la materia prima, generalmente chatarra de acero o mineral de hierro al que se ha sometido a un proceso de eliminación de oxígeno por reducción (DRI), se introduce en un horno eléctrico para su fusión.

1. Datos de 2023: [https://unesid.org/descargas\\_files/Revista2023.pdf](https://unesid.org/descargas_files/Revista2023.pdf)

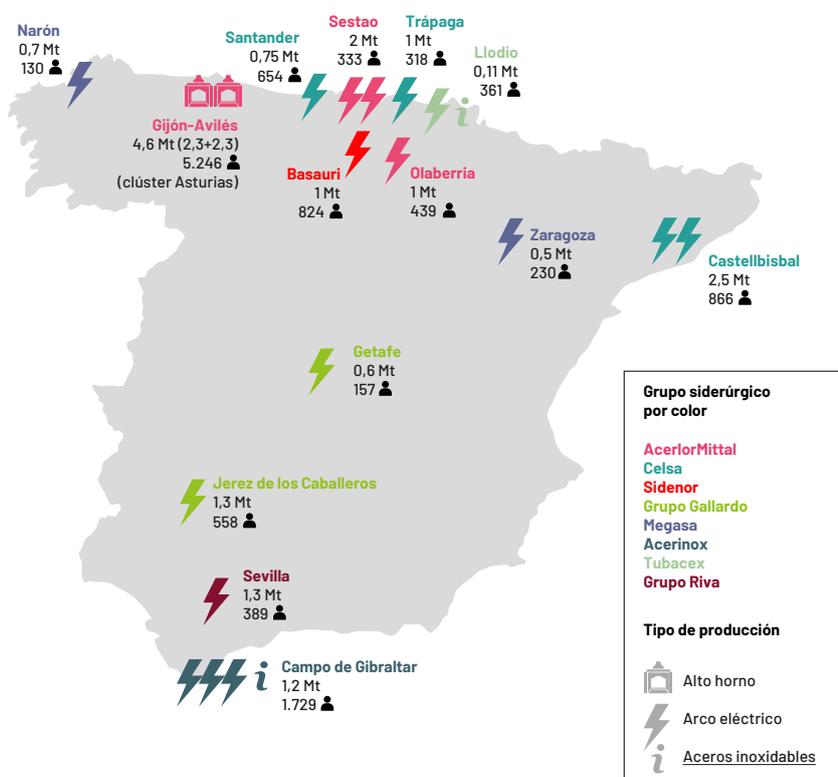
2. Galicia, Asturias, Cantabria, Euskadi, Aragón, Cataluña, Andalucía, Extremadura y Madrid.

3. <https://unesid.org/produccion-de-acero>

Tan sólo en 1 de las 22 instalaciones siderúrgicas, ubicada en Asturias y propiedad de la multinacional ArcelorMittal, se produce acero por la ruta de alto horno o de siderurgia integral. Esta vía emplea como materia prima mineral de hierro, que se funde en un reactor vertical o alto horno, produciendo el arrabio, metal fundido que contiene carbono e impurezas y cuyo destino puede ser las fundiciones de hierro o bien continuar su tratamiento para obtener acero líquido en un horno de oxígeno básico<sup>4</sup>. Las necesidades de mano de obra de ambas tecnologías, aunque dependiente de las dimensiones y complejidad de la instalación, son muy diferentes pero elevadas en ambos casos, siendo la siderurgia integral la más intensiva en empleo. Así, mientras que en las acerías de arco eléctrico podemos hablar de varios cientos de trabajadores por instalación, en la siderurgia integral el número de personas trabajadoras se puede elevar a miles. En concreto, el empleo directo asociado a la siderurgia de alto horno de Asturias (Gijón y Avilés) asciende a más de 5.000 personas. Ello da idea del peso que este tipo de actividades tienen tanto para la ocupación industrial como para el tejido socioeconómico de los territorios en los que se ubican, al actuar como tractores y dinamizadores de otros segmentos y sectores productivos.

En cuanto a la caracterización del empleo en el sector siderúrgico español, la edad de la mayoría de las personas trabajadoras (65%) se concentra en el segmento de 30-50 años, con un porcentaje relevante de las plantillas por encima de los 50 años (superior al 20%), mientras que los menores de 30 años representan el rango etario más minoritario (10-15%). En cuanto al tipo de contratación, cerca del 90% del personal en plantilla tienen contrato indefinido. Atendiendo al género, el empleo en el sector es mayoritariamente masculino, con una tasa de empleo femenino de tan solo un 10%. Por puestos de ocupación, hay una brecha significativa en la representación de género en diferentes roles: mientras que en los puestos técnicos y de dirección la presencia de las mujeres alcanza el 21%, en otros grupos profesionales, como las operarias de producción, sigue siendo menor.

### Instalaciones de cabecera de producción de acero bruto: capacidad de producción (Mt) y empleo por planta



Fuente: Global Energy Monitor, información de Grupos siderúrgicos y CC00

4. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040202-hornosaltos-arrabio\\_tcm30-446948.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040202-hornosaltos-arrabio_tcm30-446948.pdf)

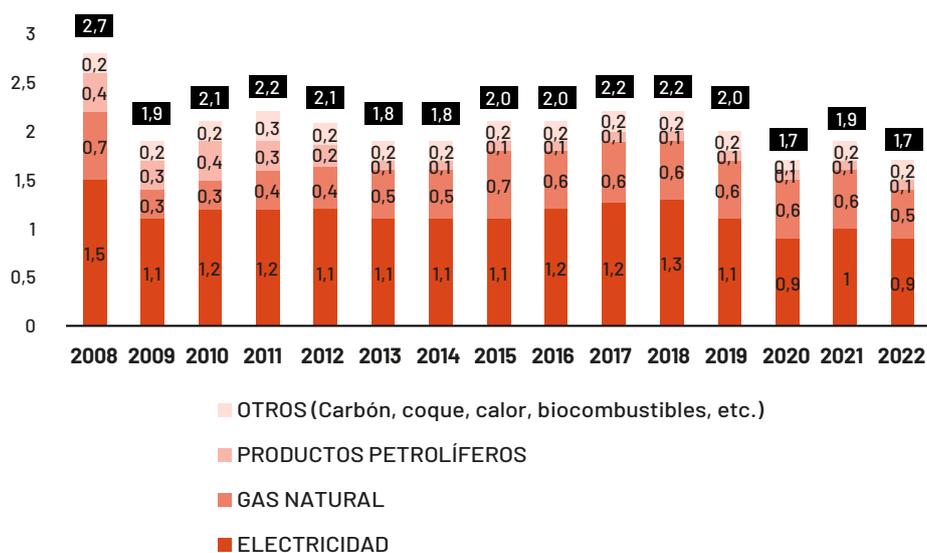
## Instalaciones de transformación por tipo de producto y empleo



Fuente: Global Energy Monitor, información de Grupos siderúrgicos y CC00

## 1.2. El consumo de energía fósil en el sector siderúrgico

### Consumo final de energía del sector de hierro y acero en España, por tipo (Mtep)

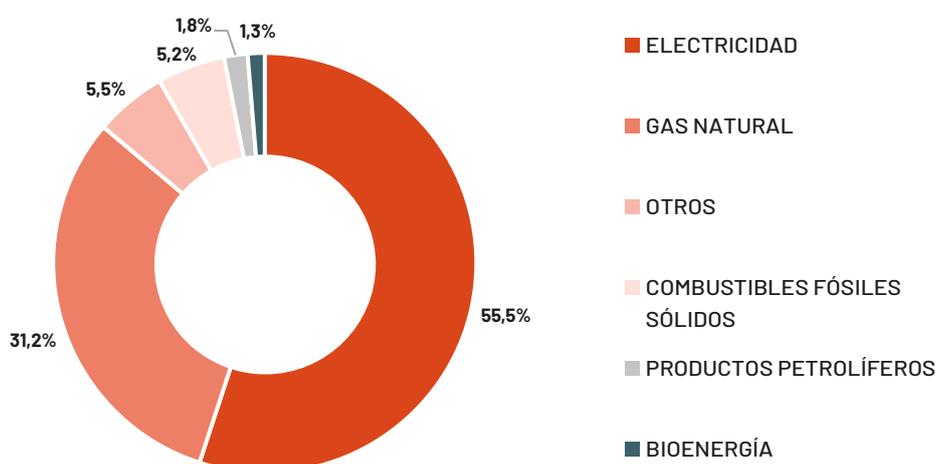


Fuente: Eurostat

En 2022<sup>5</sup>, el consumo final de energía por parte del sector de actividades de hierro y acero alcanzaba 1,7 Mtep<sup>6</sup>. Entre 2008 y 2022 se ha reducido el consumo energético final, siendo especialmente significativa la reducción del -39% en los productos petrolíferos, pero también de la electricidad (-38%) o del gas natural (-21%).

La fuente de energía más empleada en el sector del hierro y el acero es la electricidad (55%), seguida del gas natural (31%). El 14% del consumo restante se distribuye entre diferentes fuentes energéticas con consumos más marginales, de los cuales el principal son los combustibles fósiles sólidos (5,2% del total). Los productos petrolíferos, de importancia significativa en 2008 llegando a suponer un 13% del consumo final, suponen ahora tan solo un 1,8%, y el recurso a la biomasa es de tan solo el 1,3%. En la actualidad, la contribución de las energías renovables y biofueles en el consumo final del sector todavía es casi nula.

### Distribución del consumo final de energía del sector de hierro y acero en España en 2022, por tipo (%)



Fuente: Eurostat

La energía fósil supone en la actualidad el 65% del consumo final del sector, peso que ha seguido una tendencia general a la baja desde 2008 (79%), si bien no ha estado exenta de oscilaciones a lo largo de los años: el peso mínimo histórico de las energías fósiles sobre el consumo final se registró en 2021 con un 62,5%. El peso de las energías fósiles en el consumo final del sector en España es inferior a la media europea, que se sitúa en el 79%, debido a la mayor importancia de fuentes fósiles como los combustibles sólidos derivados del carbón.

5. Datos de 2023 aún no disponibles.

6. Tep = tonelada equivalente de petróleo.

### 1.3. Evolución de la demanda de acero

#### Evolución de la demanda mundial de acero y perspectivas (Mt, por región geográfica)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024 (p)	2025 (p)	2023 vs. 2022	2024 vs. 2023	2025 vs. 2024
UE 27 y RU	168,9	158,1	140,8	164,7	152	136,8	140,7	148,1	-10%	2,9%	5,3%
Resto de Europa (incluida Turquía)	37,4	33,8	36	40,2	39,2	44,3	47,9	46,1	13%	8,1%	-3,8%
CEI	55,3	58,9	58,1	58,4	51,6	56,1	58,4	58,9	8,7%	4,1%	0,9%
América del Norte	140,6	135,3	114	137,1	132,9	131,7	133,6	136,2	-0,9%	1,4%	1,9%
América Central y del Sur	43,9	41,6	38,8	38,9	44,9	45,7	45,5	46,8	1,8%	-0,4%	2,9%
Oriente Medio y África	86,8	84,3	82,6	88,9	96,6	89,9	94,1	97,2	-6,9%	4,7%	3,3%
- Oriente Medio				50	57,1	54,9	57,2	58,7	-3,9%	4,2%	2,6%
- África				38,9	39,5	35	36,9	38,5	-11,4%	5,4%	4,3%
Asia y Oceanía	1.175,7	1.254,5	1.305	1.298,9	1.265,3	1.258,5	1.273,1	1.281,9	-0,5%	1,2%	0,7%
China	835	907,5	995	952	920,9	895,7	895,7	886,7	-2,7%	0%	-1%
Mundo sin China	873,6	859,2	780,3	886,7	861,5	867,3	897,4	928,4	0,7%	3,5%	3,5%
- Países desarrollados	410,5	393,4	343,2	400,4	314,7	359,4	364,2	374,1	14,2%	1,3%	2,7%
- Países emergentes sin China	463,1	465,8	437,1	486,3	486,8	507,9	533,2	554,3	4,3%	5%	4%
*ASEAN						73,4	75,9	79,2	1,1%	3,4%	4,3%
*MENA						69,3	72,6	74,8	-2,2%	4,8%	3%
<b>Consumo aparente (Mt)</b>	<b>1.708,6</b>	<b>1.766,5</b>	<b>1.775,3</b>	<b>1.827,1</b>	<b>1.782,5</b>	<b>1.763</b>	<b>1.793,1</b>	<b>1.815,2</b>	<b>-1,1%</b>	<b>1,7%</b>	<b>1,2%</b>

Fuente: World Steel Short Range Outlook, Abril 2024

La demanda mundial de acero alcanzó su máximo histórico en 2021, acumulando un total de 1.827,1 Mt. Desde entonces, hasta 2023 la demanda ha registrado un descenso del -4% debido a una combinación de factores macroeconómicos y sectoriales. Entre ellos la ralentización de la economía tras el repunte de la actividad posterior a la COVID-19, la inflación generalizada de precios de materias primas y energía, el estancamiento de los sectores consumidores de acero, y los impactos geopolíticos de diversos conflictos. Pero, sobre todo, las evoluciones del mercado de acero chino, condicionado por la crisis del sector inmobiliario del país, y las restricciones de producción impuestas por el propio gobierno con el propósito de atenerse a sus objetivos climáticos, son un gran condicionante para la demanda de acero mundial, puesto que desde 2019 China consumía más acero que todo el resto del mundo, y esta situación podría invertirse en 2024 y 2025 según las últimas previsiones<sup>7</sup>.

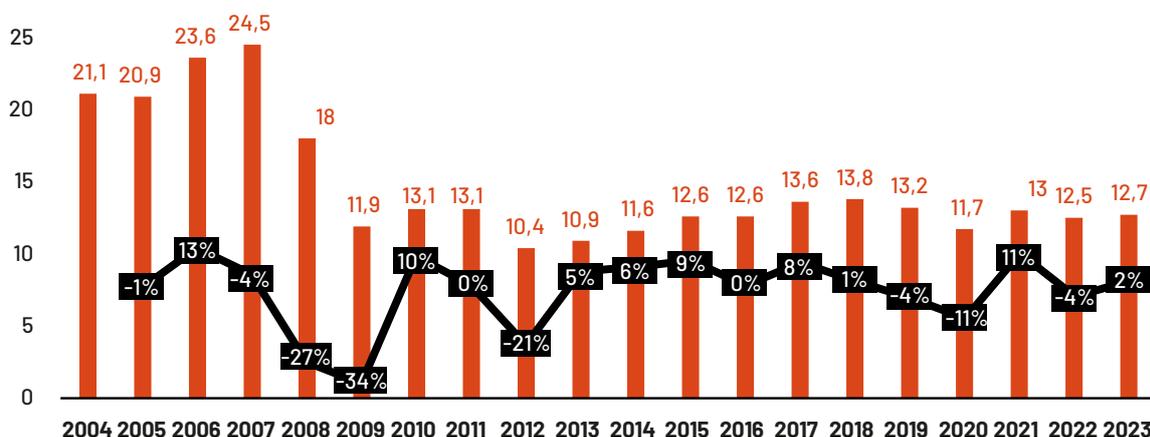
Aun así, para 2025 se prevé un crecimiento de la demanda mundial de acero debido al incremento de la demanda de países emergentes del sudeste asiático e India y del Medio Oriente y Norte de África.

7. Worldsteel, Short Range Outlook April 2024.

Tras la crisis financiera de 2008, la demanda de acero europea (UE27 + Reino Unido) cambió de manera estructural y no ha vuelto a recuperar los niveles de consumo de 182,6 Mt. Desde entonces, la demanda europea se sitúa invariablemente por debajo de los 170 Mt, en el mejor de los casos. En 2023 la demanda europea fue un -25% más baja que en 2008, registrando un nivel especialmente débil que la sitúa en 136,8 Mt, solo por delante del hundimiento de la demanda en 2009. La demanda europea ha encadenado 2 años consecutivos de caída desde 2021 (una reducción del -17% desde entonces), tras el repunte que supuso la reactivación de la actividad post-COVID19. Esta caída ha supuesto la pérdida de importancia del consumo europeo respecto al total mundial, que en la actualidad solo supone el 7,8% del mismo, su peso mínimo histórico. Aunque las últimas previsiones prevén un incremento del 8% de la demanda europea para 2025, no bastarían para compensar la caída desde 2021.

Desde 2008 el consumo de acero en España acusa también este cambio estructural de la demanda, pero de manera mucho más acentuada. En los años previos a 2008 el consumo aparente de acero superaba los 20 Mt, y entre 2007 y 2009 cayó un -51%. Desde ese año y hasta 2023, la demanda media ha estado en el entorno de los 12,5 Mt.

### Consumo aparente de acero en España



Fuente: World Steel

### 1.4. Estrategias de descarbonización de los grupos siderúrgicos

Aproximadamente, el 5% de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea y el 7% en el mundo, son responsabilidad del sector del acero, lo que lo convierte en uno de los sectores objetivo del Acuerdo de París. En la Conferencia sobre el Cambio Climático (COP27) celebrada en 2022, los países que representan más del 50% del PIB mundial establecieron una serie de acciones prioritarias destinadas a unos sectores específicos, entre ellos el del acero. Por este motivo, este sector es esencial para lograr el objetivo de limitar el aumento de la temperatura del planeta a 2°C y para no superar los 1,5°C.

El acero es un material que puede ser producido con bajo impacto ambiental y sin desperdicios, y es más reciclable que cualquier otro material. Su ciclo de vida es ilimitado y puede ser reciclado innumerables veces sin pérdida cualitativa.

El reciclaje intensivo de acero no sólo ayuda el ahorro notable de recursos energéticos, sino que también reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> de modo significativo: las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas por la elaboración de una tonelada de acero se reducen al 50% respecto a la producción primaria gracias al reciclaje múltiple.

Los principales grupos siderúrgicos en España están implementando diferentes estrategias para avanzar hacia la descarbonización. Son iniciativas que tratan de alinearse con los objetivos climáticos internacionales y buscan abatir de forma relevante sus emisiones mediante el uso de tecnologías innovadoras, la adopción de energías renovables y el fomento del reciclaje.

### **CELSA GROUP**

Para 2030, su objetivo es reducir en un 50% las emisiones de CO<sub>2</sub> de los alcances 1 y 2 (comparadas con 2021) y alcanzar una circularidad del 98%. En 2050, aspiran a ser completamente neutrales en carbono (alcances 1, 2 y 3) y ser 100% circulares. Sus esfuerzos se centran en mejorar la eficiencia energética y reducir el uso de combustibles fósiles mediante la sustitución de gas natural por biometano, hidrógeno verde y electrificación, además de la implementación de tecnologías como el dopaje de oxígeno y la carga en caliente para mejorar la eficiencia en la producción de acero. Otro aspecto en el que quieren avanzar es la sustitución de combustibles fósiles por materiales más sostenibles como el biochar y el neumático triturado. En cuanto a las emisiones indirectas, están promoviendo el uso de energía renovable a través de acuerdos de compraventa de energía a largo plazo y la contratación de electricidad con garantías de origen renovable.

### **SIDENOR**

Se ha comprometido a reducir en 2025 sus emisiones absolutas en un 55% en comparación con 2005 (alcances 1 y 2) y llegar a una tasa de valorización de residuos del 90%. Para 2030, pretenden disminuir sus emisiones un 60% y aumentar la valorización de residuos al 95%, alcanzando en 2050, la neutralidad climática. Entre sus iniciativas clave se encuentran la mejora continua de sus procesos bajo criterios de eficiencia energética y circularidad, además de la colaboración con diversos actores para anticiparse a las nuevas tendencias y políticas de cambio climático. Participan en proyectos innovadores como TRACEX<sup>8</sup>, CORALIS<sup>9</sup> y RE4INDUSTRY<sup>10</sup> para avanzar en la reducción de emisiones y la valorización de residuos.

### **GRUPO GALLARDO**

A través de su división de acero, está comprometido con la descarbonización y la economía circular, apostando por la electrificación y la innovación en sus procesos. La compañía del Grupo, Siderúrgica Balboa, ha logrado una reducción del 23% en sus emisiones de gases de efecto invernadero desde 2017 y planea una disminución adicional del 30% para 2030, con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050. Utilizan chatarra como materia prima principal, reciclando más de un millón de toneladas al año, y están desarrollando proyectos para la producción de acero verde mediante sistemas híbridos con hidrógeno. Otro componente del Grupo, Corrugados Getafe, también está explorando el uso de biocombustibles y el hidrógeno verde para sustituir el gas natural, con el objetivo de abatir un 20% sus emisiones de CO<sub>2</sub> para 2030.

8. <https://www.sidenor.com/es/sostenibilidad-asg/medioambiente/cambio-climatico/>

9. <https://www.coralis-h2020.eu/>

10. <https://re4industry.eu/>



## ARCELOR MITTAL

Su plan de descarbonización busca alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 y reducir las emisiones un 25% a nivel global y un 35% en Europa para 2030, si bien este programa está mostrando señales de estancamiento. En España es el único grupo empresarial con altos hornos en funcionamiento y, a pesar de contar con ayudas significativas otorgadas por el gobierno para facilitar actuaciones para la transición hacia una producción de acero más limpia, la empresa todavía no las ha aceptado ni ha tomado la decisión de acometer las inversiones necesarias que permitan su ejecución, lo que ha generado un retraso en la implementación de estos planes. Actualmente la estrategia de descarbonización de ArcelorMittal se está desarrollando principalmente fuera de Europa, mientras se espera al lanzamiento en los próximos meses de su "Plan de Acción por el Clima 3", en el que se revisarán los objetivos y la estrategia general de la compañía, lo que podría implicar ajustes importantes para retomar el rumbo de su compromiso con la reducción de sus emisiones.

## 2. El contexto de España para la descarbonización

### 2.1. El mercado eléctrico español

El mercado eléctrico español se encuentra regulado por la Ley del Sector Eléctrico<sup>11</sup> y su gestión corresponde al Operador del Mercado Ibérico de Electricidad (OMIE)<sup>12</sup>.

Se estructura en un mercado mayorista (donde se compra y se vende la energía a corto plazo, y los precios se fijan en función de la oferta y la demanda), un mercado de balance (donde se compra y se vende la energía para ajustar los desequilibrios entre la oferta y la demanda en tiempo real) y un mercado de futuros (donde se compran y venden contratos de energía para entrega en un futuro determinado)<sup>13</sup>.

Mientras la producción y la comercialización están en manos de empresas privadas, el transporte y la distribución están en manos de empresas públicas.

En los últimos años, este mercado está experimentando una profunda transformación impulsada por la creciente participación de las energías renovables, la necesidad de descarbonizar el sector y el impacto de la crisis energética internacional.

El aumento de la generación renovable ha modificado la curva de demanda (con picos de producción durante el día y descensos por la noche) exigiendo una mayor flexibilidad del sistema, lo que ha llevado a la implementación de un mecanismo de capacidad por el que se subastan pagos a las centrales eléctricas de ciclo combinado por su disponibilidad para generar energía en momentos críticos. Paralelamente, se está procediendo al cierre de centrales térmicas de carbón e impulsado medidas para fomentar la electrificación de la economía. Sin embargo, la crisis energética ha provocado un fuerte aumento de la volatilidad de los precios, impactando negativamente en la garantía del suministro, desincentivando la inversión en renovables, y aumentando la pobreza energética. Durante el mes de abril de 2024 se registraron por primera vez precios negativos en el mercado diario eléctrico español, debido principalmente a una generación renovable elevada y a una baja demanda. Pero también debido a las limitaciones de la red de transporte para evacuar toda la energía renovable que se genera, especialmente en algunas zonas. Estos precios negativos plantean un debate sobre la eficiencia del mercado eléctrico y demuestran, de nuevo, la necesidad de reformas para garantizar un suministro de energía sostenible y competitivo que, por otro lado, España sí está preparada para generar y producir.

#### Precio neto de la electricidad para uso industrial (Euros/kWh) a 9/12/2024 (1)

	UE-27	EA (2)	Alem.	Esp.	Fran.	Reino Unido	Portugal
2019	0,072	0,074	0,067	0,081	0,066	0,093	0,078
2020	0,071	0,072	0,072	0,065	0,069	0,098	0,072
2021	0,086	0,088	0,082	0,097	0,074	-	0,081
2022	0,174	0,180	0,159	0,201	0,116	-	0,162
2023	0,176	0,185	0,180	0,134	0,210	-	0,130
2024 (2)	0,139	0,145	0,175	0,104	0,130	-	0,099

(1) Tarifa para consumos de 2.000 a 20.000 MWh/año. Precios sin impuestos.

(2) Período disponible.

(3) Euro area.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Industria y Turismo

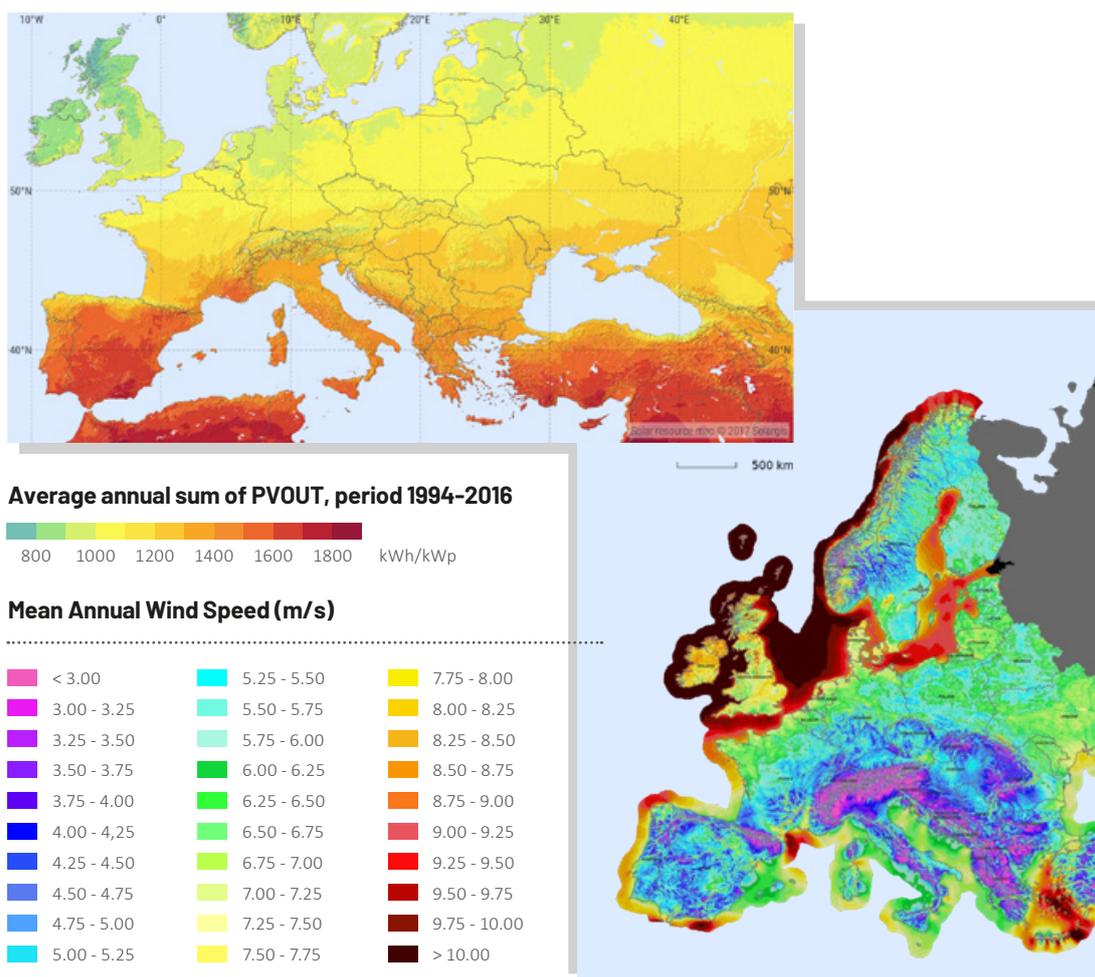
11. Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/con>

12. <https://www.omie.es/>

13. Para ampliar la información sobre el funcionamiento del mercado eléctrico español, consultar: <https://www.omie.es/es/mercado-de-electricidad>

## 2.2. Energías renovables

España dispone de importantes recursos renovables, con elevados potenciales de aprovechamiento de energía solar y eólica, lo que la sitúa en ventaja frente a otros países del entorno europeo.



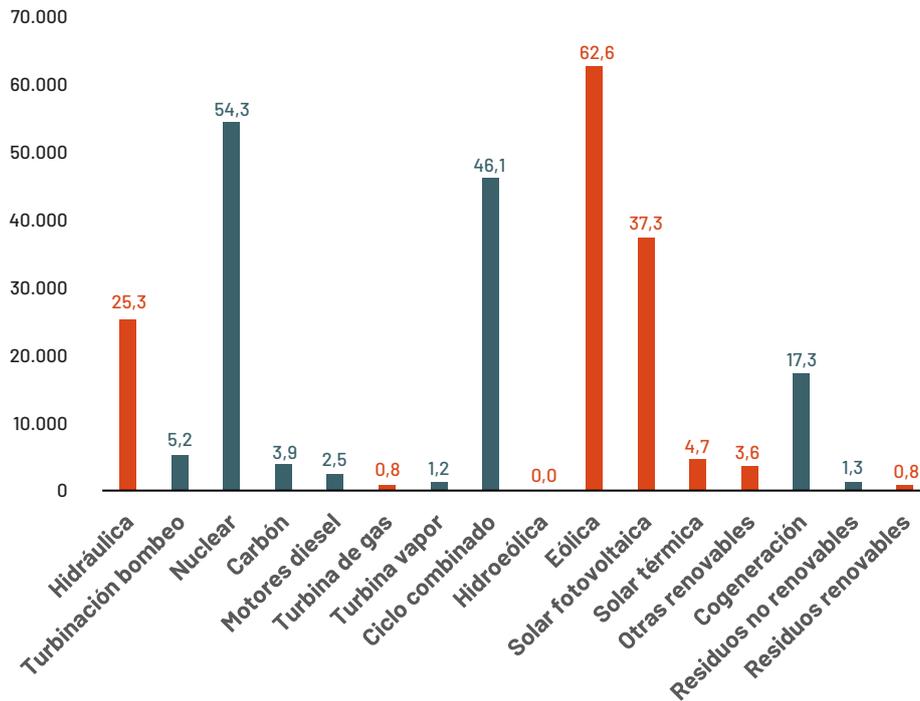
Fuente: Hydrogen Europe (2020). Green hydrogen for a european green deal: a 2x40 GW initiative

Según los datos de REData<sup>14</sup>, en 2023, las energías renovables generaron el 50,3% de la electricidad del país, superando la media europea. La potencia instalada de energía renovable en España alcanza los 77,1GW, destacando la capacidad instalada en energía solar fotovoltaica, con 25,6GW, y en energía eólica, con 30,8GW. El Gobierno ha implementado diversas políticas y medidas para facilitar el desarrollo de las energías renovables y su integración en el sistema eléctrico, mediante planes, leyes, regulaciones, subvenciones, primas y otros mecanismos de apoyo. Y mientras se promueve la investigación y el desarrollo de tecnologías para mejorar la eficiencia y el almacenamiento de energía renovable, se están realizando también inversiones para actualizar y modernizar la red eléctrica.

Uno de los principales desafíos para la integración de las energías solar y eólica en el sistema eléctrico español es su carácter no gestionable, lo que supone la necesidad de disponer de sistemas de almacenamiento, de dispositivos y de redes inteligentes que permitan la incorporación equilibrada de la electricidad generada por estas tecnologías en la red eléctrica.

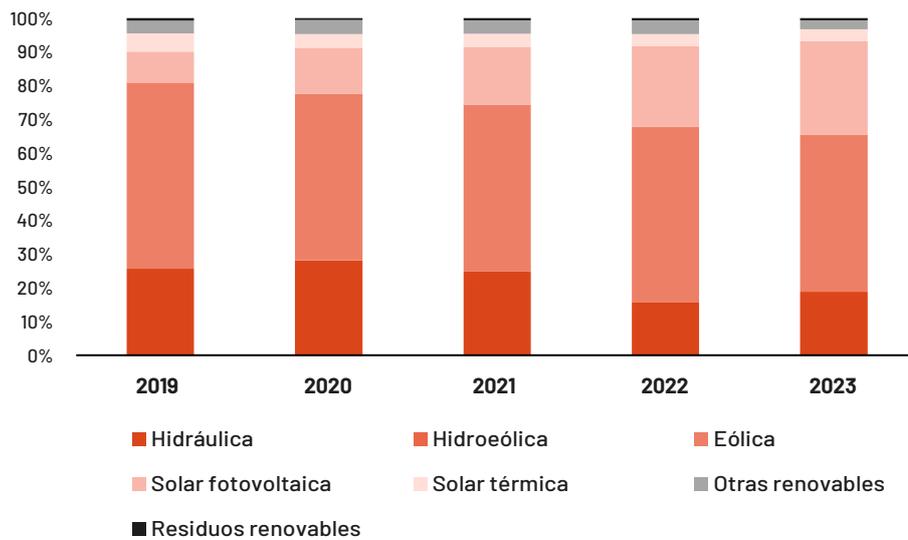
14. <https://www.ree.es/es/datos/generacion>

## Estructura de la generación de energía por tecnología (MWh) 2023



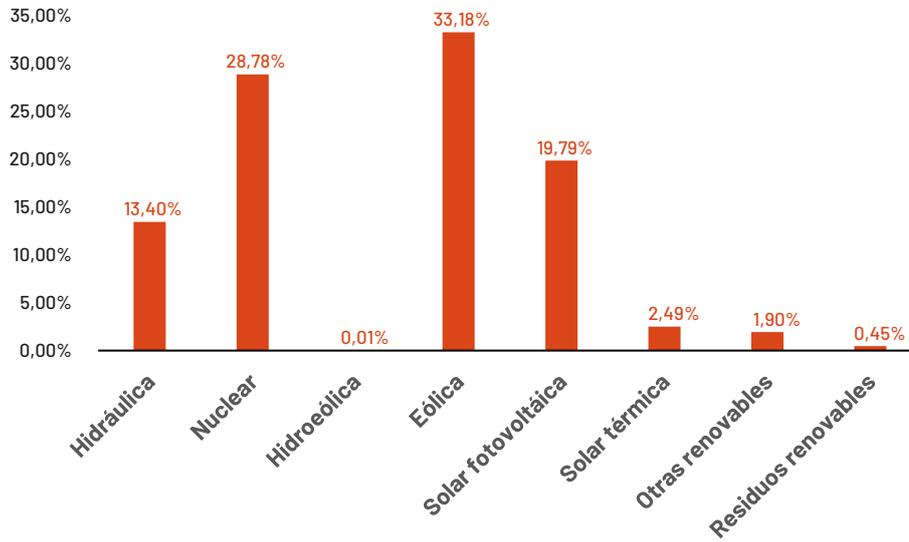
Fuente: REData

## Evolución de la estructura de la generación de energía renovable



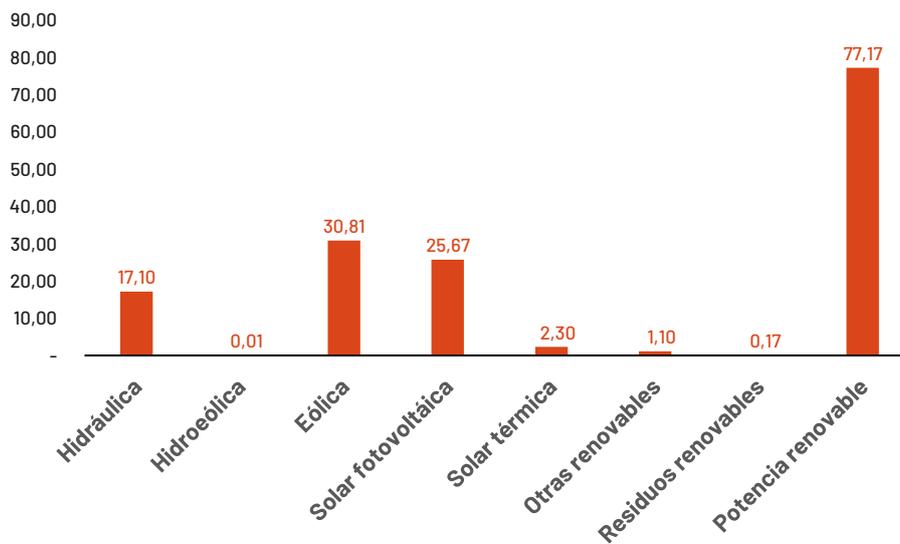
Fuente: REData

### Evolución de la generación de energía sin emisiones de CO<sub>2</sub> (2023)



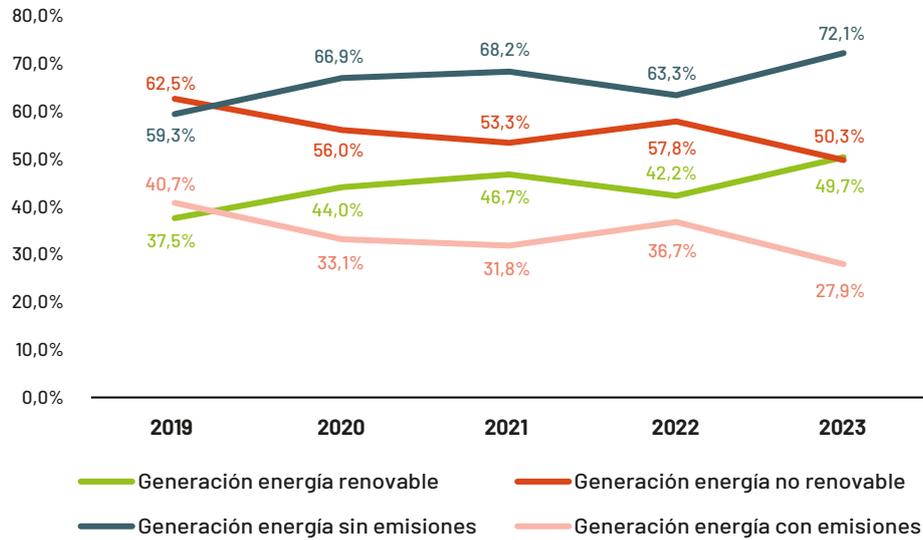
Fuente: REData

### Estructura de la potencia instalada de energía renovable 2023 (GW)



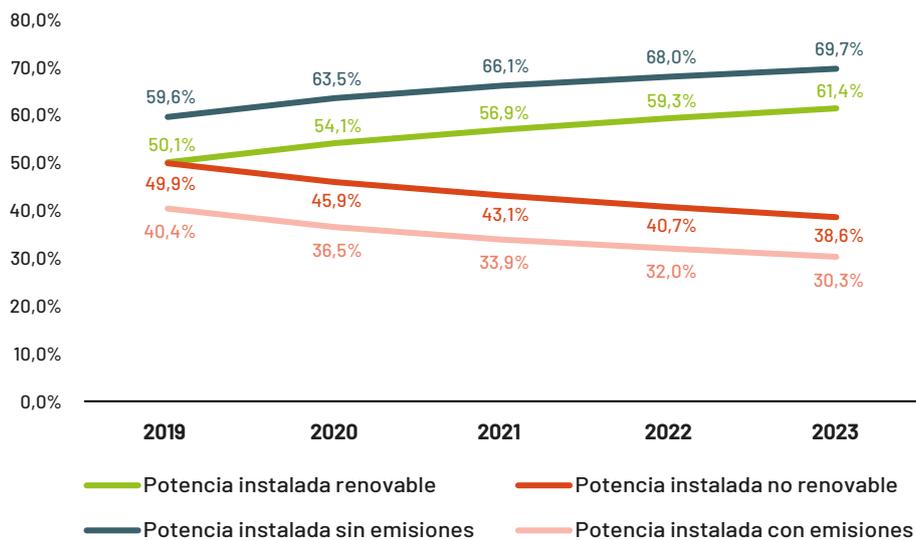
Fuente: REData

## Evolución de la generación de energía renovable/no renovable, sin/con emisiones



Fuente: REData

## Evolución de la potencia instalada de energía renovable/no renovable, sin/con emisiones



Fuente: REData

## 2.3. Instalaciones EAF

El horno de arco eléctrico (EAF) permite reciclar chatarra metálica y producir acero de alta calidad con un menor consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con los procesos tradicionales basados en el mineral de hierro y el carbón, dada su mayor eficiencia energética por tonelada de acero producido. España cuenta con una amplia red de instalaciones de EAF, principalmente ubicadas en regiones con una fuerte tradición industrial como País Vasco, Cataluña y Asturias, representando en torno al 70% del acero de producción nacional y superando los 10 millones de toneladas anuales. La adopción de EAF ha permitido reducir la dependencia de las importaciones de materias primas, como el mineral de hierro y el coque, y ha contribuido a la creación de un ciclo más cerrado y sostenible de producción y consumo de acero. Esto posiciona a España como uno de los países europeos con mayor proporción de acero producido a partir de chatarra reciclada, lo que contribuye significativamente a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

El hecho de que la etapa principal del EAF —la fusión de chatarra— tenga lugar con energía eléctrica facilita la integración más efectiva de la electricidad de origen renovable en el proceso de fabricación de acero. La experiencia en este tipo de instalaciones puede posicionar a España como exportador de conocimiento y tecnología EAF a otros países que aún dependan en gran medida de los altos hornos y que necesitarán avanzar tecnológicamente para cumplir con los objetivos climáticos de la UE.

El futuro de las instalaciones de horno de arco eléctrico parece prometedor, especialmente en el contexto de la transición energética y la creciente demanda de productos industriales sostenibles.

## 2.4. El hierro de reducción directa (DRI)

La obtención de hierro de reducción directa (DRI) es una alternativa a la obtención de arrabio a través del proceso de alto horno (BF-BOF) como materia intermedia en la fabricación de acero. La tecnología más extendida para la obtención de DRI es la MIDREX con horno de cuba, de manera que aproximadamente el 80% del DRI mundial se obtiene por este método. En síntesis, el proceso consiste en alimentar un horno con mineral de hierro, generalmente en forma de pellets, donde es calentado a unos 1.000°C, sin alcanzar el punto de fusión, y reducido mediante un flujo de gases, básicamente una mezcla de CO e H<sub>2</sub> en proporciones variables, generalmente de un 36% y un 56% respectivamente. De manera convencional los gases reductores se obtienen por reformado de gas natural y el horno funciona alimentado por combustibles líquidos o gaseosos<sup>15</sup>.

### 2.4.1. DRI con integración de hidrógeno renovable (H<sub>2</sub>DRI)

La obtención de acero en hornos de arco eléctrico a partir de DRI y chatarra reciclada pueden reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> sensiblemente. Mezclas de 35% de chatarra y 65% de DRI reducen las emisiones entre un 17 y un 35%. No obstante, se trata de procesos alimentados con gas natural. La sustitución del gas natural por hidrógeno renovable puede suponer reducciones de las emisiones de CO<sub>2</sub> del orden de un 70%, lo que hace que la fabricación de DRI con este tipo de hidrógeno, en combinación con hornos de cuba y de arco eléctrico alimentados por fuentes energéticas renovables, sea una vía clave para la descarbonización de la siderurgia.

Las principales modificaciones tecnológicas para la sustitución completa de gas natural por hidrógeno en una instalación de DRI consisten en dotar a la planta de una entrada de hidrógeno proveniente del exterior o integrada en una unidad propia de generación de hidrógeno y reemplazar o reconvertir el reformador de gas natural por un calentador que eleve la temperatura del hidrógeno. Todo ello implica modificaciones en otros parámetros del proceso, principalmente relativos a flujos y temperaturas<sup>16</sup>.

15. Shahabuddin, M., Brooks, G., & Rhamdhani, M. A. (2023). Decarbonisation and hydrogen integration of steel industries: Recent development, challenges and technoeconomic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136391.

16. Shahabuddin, M., Brooks, G., & Rhamdhani, M. A. (2023). Decarbonisation and hydrogen integration of steel industries: Recent development, challenges and technoeconomic analysis

## 2.5. Hidrógeno verde

### 2.5.1. Consumo y capacidad de producción de hidrógeno

El hidrógeno se utiliza desde hace décadas en numerosas industrias como materia prima, siendo el refino de petróleo, la fabricación de fertilizantes y la industria química los sectores más demandantes. Pero su papel en el futuro es el de ser una fuente de energía clave para alcanzar la neutralidad climática y descarbonizar la economía, a través de su fabricación con energías renovables (hidrógeno verde-H<sub>2</sub>V).

El hidrógeno verde está llamado a ser un vector energético clave para usos finales donde sea la solución más eficiente en el proceso de descarbonización, como la industria intensiva en hidrógeno y procesos de alta temperatura, transporte pesado de larga distancia, transporte marítimo, transporte ferroviario o aviación. Además, la cualidad de vector energético le otorga un gran potencial como instrumento para el almacenamiento energético y la integración sectorial. Por ello, el uso del hidrógeno verde se concibe como un medio esencial para descarbonizar determinados sectores industriales, entre los que se encuentra la siderurgia.

Aunque existen numerosos proyectos en los ámbitos de la industria, la energía y el transporte para dar cabida a una producción de hidrógeno descarbonizado, el hecho es que este tipo de fabricación alternativa continúa ocupando una posición marginal: sólo el 1% del hidrógeno consumido a nivel global se obtuvo mediante procesos de bajas emisiones, mientras que el 99% restante es fabricado a partir de combustibles fósiles, lo que supuso, en 2023, la emisión de 92 Mt de CO<sub>2</sub>.

Aproximadamente, el 66% de la producción provino del reformado del gas natural con vapor de agua, proceso que emite entre 10 y 12 kg de CO<sub>2</sub>eq/kg de H<sub>2</sub>, y un 20% procedió de la gasificación de carbón, método que emite de 22 a 26 kg de CO<sub>2</sub>eq/kg de H<sub>2</sub>. En ambos casos, la mayor parte de las emisiones (75%-95%) tienen lugar en el mismo lugar de la producción, lo que facilitaría su mitigación a través de sistemas de captura, utilización y almacenamiento (CCUS).

Con todo, las proyecciones para el futuro del hidrógeno de bajas emisiones a nivel global son esperanzadoras, previendo que, en 2030, y de desarrollarse los proyectos anunciados, se alcanzaría una producción de 49 Mt por año. Para ello, se deberán desplegar 520 GW de electrolizadores, aunque actualmente sólo el 4% de esta potencia ha alcanzado una decisión final de inversión o se encuentra en construcción.

De toda la capacidad de generación electrolítica instalada en el mundo, se estima que el 40% se localiza en China y el 32% en Europa. La capacidad de fabricación de electrolizadores se cifra en 25 GW/año, correspondiendo el 60% a China. No obstante, se trata de una capacidad muy infrutilizada: en 2023 sólo se utilizó un 10% de la misma, lo que se explicaría por una todavía muy baja demanda de este tipo de hidrógeno. Detrás de este hecho se encontraría su todavía elevado coste de producción, entre 1,5 y 6 veces superior al hidrógeno fabricado a partir de combustibles fósiles.

Europa consumió en 2023 unas 7,9 Mt de H<sub>2</sub>, correspondiendo las mayores demandas a las industrias del refino de petróleo (57%) y a la de fabricación de amoníaco (25%), seguidas de la producción de metanol y otros usos de la industria química (11%).

La capacidad de producción europea fue de unas 11,2Mt, de las que el 57% se concentraba en cinco países: Alemania, Países Bajos, Polonia, Francia e Italia. El 95,6% de esa capacidad correspondía a métodos convencionales de producción. La obtención mediante electrólisis supuso un 3,5%, mientras que la producción a partir del reformado de gas natural acompañado de CCUS representó el 0,5%

En España, la demanda de H<sub>2</sub> durante 2023 fue de 570 kt, de las que 467 kt correspondieron a las refinerías de petróleo (82%), 72 kt a la producción de amoníaco (13%) y 16 kt a la síntesis de otros productos del sector químico (3%); estas cifras la sitúan en la cuarta posición del ranking europeo de consumidores de este gas, por detrás de Alemania, Países Bajos y Polonia. Nuestra capacidad de producción de H<sub>2</sub> fue

de 756 kt, posicionándonos en el sexto lugar de la lista de países europeos que encabezan Alemania, Países Bajos, Polonia, Francia e Italia. El 93% de esa capacidad la constituye el reformado del gas natural y apenas un 1% procede de la electrólisis.

El actual coste de producción de H<sub>2</sub> guarda una estrecha relación con el sistema para su obtención. Comparando los costos nivelados de la producción de H<sub>2</sub> por tecnologías los valores más bajos coinciden con el método de fabricación más extendido, el reformado de metano con vapor de agua, que representa un coste promedio de 3,76€/kg de H<sub>2</sub> y que, puesto que la mayor parte de las inversiones realizadas en las instalaciones para su obtención ya estarían amortizadas, podría incluso reducirse a los 3,5€/kg de H<sub>2</sub>. En el extremo opuesto se encuentra el H<sub>2</sub> obtenido por electrólisis, ya sea en conexión a la red eléctrica o directamente a una fuente de energía renovable, con costes medios de 7,94€/kg de H<sub>2</sub> y de 6,61€/kg de H<sub>2</sub> respectivamente, si bien en estos casos se da una fuerte diferencia entre los diferentes países.

### Coste nivelado de producción de hidrógeno en Europa, año 2023

Tecnología	Coste medio (€/kg de H <sub>2</sub> )
Reformado de metano con vapor (SMR)	3,76 <sup>(1)</sup>
SMR con captura de carbono	4,41
Electrólisis conectada a la red	7,94 <sup>(2)</sup>
Electrólisis del agua con conexión directa a una fuente de energía renovable	6,61 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Puede llegar a 3,5€/kg debido a que las inversiones en la mayoría de las plantas ya están amortizadas.

<sup>(2)</sup> Rango de variación de 4,06 a 17,36 €/kg.

<sup>(3)</sup> Rango de variación de 4,13 a 9,30€/kg.

Fuente: Observatorio Europeo del Hidrógeno

En lo que atañe al comercio de hidrógeno a nivel internacional, este resulta mínimo y se circunscribe, básicamente, al transporte entre países vecinos y al intercambio de productos basados en el hidrógeno como el amoníaco o el metanol. Las dificultades de transporte y almacenamiento que comporta el hidrógeno hacen necesarias importantes inversiones para la modificación de las infraestructuras gasísticas existentes o para la creación de otras nuevas, por lo que los proyectos de producción se orientan sobre todo a los mercados nacionales.

#### 2.5.2. Políticas y proyectos para la producción de hidrógeno verde

Como se ponía de relieve con anterioridad, el elevado coste de producción de hidrógeno verde, en comparación con los procedimientos convencionales basados en combustibles fósiles, supone un obstáculo para su desarrollo como vector para la descarbonización de los diferentes sectores productivos. Según el Observatorio Europeo del Hidrógeno, el precio máximo de entrega del H<sub>2</sub> y procedente de la ruta DRI – Horno de arco eléctrico (DRI-EAF) para que alcance un coste paritario con la ruta de Alto Horno – Horno de Oxígeno Básico (BF-BOF), que es la referencia de mercado para la fabricación de acero en Europa, se habría situado en el año 2023, en 4,68€/kg.

Este análisis incluye todas las repercusiones de la eliminación de los altos hornos, además de su producción de acero bruto, así como la pérdida de gas de altos hornos y de gas de coquería, que en la actualidad se utilizan en la mayoría de los casos para generar calor o electricidad in situ. En esta estimación se considera la posibilidad de que la producción del hidrógeno no tenga lugar in situ, sino fuera de las instalaciones y sea suministrada mediante tuberías, así como que el proceso de obtención de H<sub>2</sub>V sea mediante electrólisis del agua a baja temperatura. Se trata de un precio todavía superior al coste del H<sub>2</sub> de origen fósil que, recordemos, se sitúa en 3,76€/kg.

Existen diversas políticas e iniciativas europeas y nacionales destinadas a superar esta y otras dificultades. En el contexto europeo destaca la Hoja de Ruta del Hidrógeno, publicada en 2020. Esta estrategia prevé una trayectoria gradual para acelerar el desarrollo de hidrógeno limpio a lo largo de tres fases estratégicas entre 2020 y 2050. La primera fase, hasta el año 2024, se concentraría en el despliegue inicial cerca de los centros de demanda. La fase siguiente, hasta 2030, se centraría en la reducción de costes y la construcción de infraestructuras. Después de 2030, las tecnologías de hidrógeno renovable alcanzarían su madurez con un despliegue y una demanda a gran escala.

El objetivo de esta estrategia sería producir 10 millones de toneladas de hidrógeno renovable e importar 10 millones de toneladas de este gas de aquí a 2030, lo que supondría un total de 20 millones de toneladas. España, junto con Alemania, Francia y Países Bajos, es uno de los países que tiene una posición de liderazgo en relación con el hidrógeno verde puesto que tiene un gran potencial para su producción al contar con una gran cantidad de recursos solares y eólicos, una base industrial sólida en el sector, con empresas líderes en la producción de electrolizadores y otros componentes clave, mostrando un alto compromiso con la descarbonización a través de su propia hoja de ruta del hidrógeno.

Esta Hoja de Ruta del Hidrógeno de España, aprobada en 2020, establece tres hitos: lograr en 2030 el desarrollo de la tecnología, en 2040 hacer del H<sub>2</sub>V una fuente de energía plenamente competitiva, y en 2050 convertir a España en un país exportador de H<sub>2</sub>V, abasteciendo a Europa y siendo lugar de paso para el H<sub>2</sub>V importado de otras regiones. La hoja de ruta plantea una potencia instalada de electrolizadores de 4 gigavatios (GW) en 2030 (10% del objetivo de la UE), un 25% de consumo de H<sub>2</sub>V en la industria, y un despliegue de casi 9.000M€ en inversiones para proyectos de producción.

Recientemente, el Real Decreto 986/2024, de 24 de septiembre, por el que se aprueba la actualización del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el periodo 2023-2030 fija un objetivo de capacidad de electrólisis de 12 GW, superando ampliamente la meta de 4GW a la que apuntaba la Hoja de Ruta del Hidrógeno Renovable de 2020.

Para cumplir con los objetivos anteriores, durante los últimos años se han implementado diversos planes de apoyo al H<sub>2</sub>V que incluyen distintas herramientas de financiación. En este contexto han proliferado numerosas iniciativas empresariales destinadas a crear centros de producción de H<sub>2</sub>V combinados con la instalación de parques de energías renovables y sistemas de distribución y almacenamiento que se reparten por diferentes territorios, promovidos, en muchas ocasiones, en colaboración con sectores industriales con necesidades de hidrógeno como insumo de sus procesos y potencialmente demandantes de energía descarbonizada.

Estos conglomerados o Hubs de actividad industrial y empresarial articulados en torno a la generación de H<sub>2</sub>V pueden actuar como importantes tractores de las economías regionales. Su viabilidad depende de muy diversos factores, como son el acceso a financiación —pública, o privada— el apoyo institucional, la cooperación empresarial intra e intersectorial, la disponibilidad de recursos renovables e hídricos, la presencia de redes de suministro y evacuación eléctrica y gasística y las posibilidades de una demanda consistente y continuada en el tiempo permitirían la obtención y comercialización de H<sub>2</sub>V a precios competitivos.

Entre 2020 y 2024, el censo de proyectos de hidrógeno en España basados en la obtención de este gas mediante electrolizadores ha contabilizado un total de 166 iniciativas que suman 22 GW de potencia, el doble de la potencia propuesta para esta tecnología por el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima para el periodo 2023-2030.

Aunque gran parte de los proyectos planteados están planificados para el periodo 2025-2026, en junio de 2024 sólo el 3% de los emprendimientos anunciados se encontraban en operación, un 5% en construcción, un 23% había recibido algún tipo de financiación pública y un 71% aún se encontraban en fase de estudio.

En la mayoría de los proyectos, la financiación pública únicamente cubre una parte de la capacidad de electrolisis. Estas ayudas proceden de diversos fondos y planes a nivel europeo y nacional creados en el marco de las políticas de promoción del hidrógeno verde como vector de la transición energética. Dentro del ámbito europeo destacan las subvenciones del Fondo Europeo de Innovación, las provenientes del Banco Europeo del Hidrógeno y las asociadas a los Proyectos Importantes de Interés Común Europeo (IPCEIs).

En el periodo 2021-2024, el Fondo Europeo de Innovación ha concedido 122M€ a 19 proyectos relacionados con el hidrógeno, 5 de ellos españoles, únicamente hay 3 pertenecientes a la categoría de Hidrógeno, mientras que el resto pertenecen a la categoría Metanol. Según la fecha de concesión de la ayuda, el compromiso es que estén funcionando entre 2026 y 2028.

Por su parte, el Banco Europeo del Hidrógeno, financiado a través del Fondo de Innovación, está orientado solo a proyectos de hidrógeno verde o de bajas emisiones. El sistema de concesión de ayudas toma la forma de subasta en la que se establece un precio máximo del hidrógeno de manera que se subvenciona la diferencia entre el coste de producción y ese precio de referencia. La primera subasta estableció ese importe en 4,5€/kg y tuvo un presupuesto de 800 M€, de los que se adjudicaron 720M€. De los siete proyectos seleccionados, 3 son españoles. La producción de H<sub>2</sub> en los 10 próximos años oscila entre las 17.000 toneladas y las 480.000 toneladas, con un precio subvencionado que va de los 0,38 €/kg H<sub>2</sub> a los 0,48 €/kg H<sub>2</sub>. La siguiente subasta dispone de un presupuesto de 1.200 M€ y entre sus condiciones se encuentra un precio máximo subvencionable más bajo, de 3,5 €/kg H<sub>2</sub>.

Por último, a través de los proyectos IPCEI, desde 2023 se han proporcionado ayudas por valor de 19.100 M€ a 121 empresas, 13 de ellas para compañías que desarrollan sus proyectos en España. Una vez aprobados este tipo de proyectos, estos deben ser financiados por los Estados miembros. En el caso español, la ayuda procede de una de las líneas de ayuda del PERTE del Hidrógeno. A mediados de 2024 sólo se habían resuelto las ayudas a 4 proyectos, por un valor de 74 M€.

Algunas de las iniciativas más importantes en las que participa España con visión europea son: IPCEI Hydrogen (para fomentar el avance de la tecnología en la creación de una cadena de valor del hidrógeno europea), Green Hysland (para convertir Mallorca en el primer Hub de H<sub>2</sub>V del suroeste de Europa) y H2PORTS (para desarrollar una infraestructura de transporte de hidrógeno en los puertos europeos).

Como se mencionaba anteriormente, a nivel nacional, la principal vía de apoyo al desarrollo del hidrógeno verde es el PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento (PERTE ERHA), dotado de un presupuesto de 10.797 M€, de los que 3.155 M€ (29,2%) están destinados a la financiación de hidrógeno renovable.

Este PERTE dispone de cuatro líneas de actuación con relación al H<sub>2</sub>:

- El impulso a la innovación y al conocimiento de su cadena de valor
- La creación de un clúster de hidrógeno renovable
- El desarrollo de proyectos pioneros para la integración del hidrógeno renovables en la industria, el transporte, la generación eléctrica y los usos térmicos
- El apoyo a la participación de empresas nacionales en proyectos IPCEI de hidrógeno.

Hasta mediados de 2024 se habían ejecutado 588M€ para subvencionar diferentes proyectos, 41 relativos a la producción de H<sub>2</sub>V que suman una capacidad electrolítica de 770,5MW y que deberían estar operativos entre 2025 y 2026 y 12 proyectos pioneros para aplicaciones del H<sub>2</sub>V con una potencia de 309 MW.

Los proyectos subvencionados hasta la fecha se ubican, principalmente, en los entornos territoriales de las ciudades de Gijón, Huelva, Sevilla, Algeciras, Tarragona, Zaragoza y León, lugares que podrían ser los núcleos alrededor de los cuales se vertebran los futuros Hubs o “Valles o Corredores del H<sub>2</sub>”.

Todo parece apuntar a que España está bien posicionada y, si desarrolla su potencial, podría convertirse en un país líder en la producción y el uso del hidrógeno verde. Sin embargo, para que pueda consolidarse como líder en la producción y uso del hidrógeno verde, es fundamental superar varios desafíos clave. Uno de los principales retos es la reducción del coste, que actualmente sigue siendo más elevado en comparación con otras fuentes de energía, como los combustibles fósiles o el hidrógeno gris. El proceso de electrólisis, el más común para producir hidrógeno verde a partir de energías renovables, requiere una inversión considerable tanto en tecnología como en energía. Si bien se espera que los costes disminuyan a medida que la tecnología mejore y aumente la producción en masa, será necesario acelerar este proceso mediante inversiones públicas y privadas, así como incentivos fiscales. Además, es imprescindible crear un mercado propio para el hidrógeno verde, pues a pesar de los avances a nivel europeo, en España aún no existe este mercado. Es necesario un marco regulatorio claro que estimule la inversión y genere demanda en sectores clave, como la industria, el transporte y la generación eléctrica.

Otro reto fundamental es el desarrollo de una infraestructura de transporte adecuada. A diferencia de otros recursos como el gas natural o la electricidad, el hidrógeno requiere redes específicas para su almacenamiento y distribución debido a sus características físico-químicas. España necesitará invertir en estas infraestructuras tanto a nivel local como transfronterizo si aspira a exportar hidrógeno verde a otros países europeos. Además, será clave desarrollar una red interna que conecte los centros de producción, ubicados en zonas con abundantes recursos solares y eólicos, con los principales polos industriales y consumidores.

España cuenta con una serie de infraestructuras que podrían utilizarse para el transporte de hidrógeno verde, lo que supone una ventaja potencial para el desarrollo de esta tecnología. La red de gas natural, con una longitud de más de 11.000 km, podría ser adaptada para el transporte de H<sub>2</sub>V, aunque esto requeriría modificaciones significativas. Según Enagás, ya se ha identificado que un 30% de los tramos de gasoducto podrían convertirse en hidrodutos, y este porcentaje podría incrementarse hasta el 70%<sup>17</sup>. Sin embargo, se deben considerar los desafíos clave en esta adaptación: la compatibilidad de los materiales de los gasoductos con el hidrógeno, que puede provocar fragilización en las tuberías actuales; la modificación de las estaciones de compresión, ya que las diseñadas para gas natural no son aptas para el hidrógeno; y la necesidad de gestionar adecuadamente la mezcla de hidrógeno con gas natural, que está limitada a bajos porcentajes sin afectar la seguridad y eficiencia de la infraestructura (hasta un 10-20% de hidrógeno por volumen sin requerir modificaciones importantes). Asimismo, aunque los oleoductos también podrían ser utilizados, las adaptaciones requeridas para estos son aún más exigentes, lo que supone un reto adicional en términos de coste y viabilidad técnica.

El aspecto positivo de las infraestructuras existentes es que permiten reducir costes, aceleran el propio desarrollo del H<sub>2</sub>V y permiten un buen aprovechamiento de la experiencia. Sin embargo, además de la adaptación, hace falta seguir desarrollando un marco regulatorio válido y normas técnicas para el transporte del H<sub>2</sub>V. En el siguiente cuadro se puede ver el coste económico de reutilizar o sustituir la red de transporte.

---

17. <https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/transporte-hidrogeno/#:~:text=En%20el%20caso%20de%20la,poдр%20C3%ADa%20incrementarse%20hasta%20el%2070%25>

## Costes de reutilización o sustitución de la red de transporte de gas

Componente	Valor (2019)	Comentario	Fuente
Inversión reutilización de gasoductos existentes	0,37 M€/km	Basado en el caso de Alemania, coste de reutilización del 15% en comparación con el nuevo gasoducto (excl. compresores)	(1)
Coste de inversión para un nuevo gasoducto (rangos)	0,93 M€/km	Diámetro medio de 16 pulgadas. Costes para el transporte de 6.600 km en el Reino Unido	(2)
	2,1 M€/km	Tubería de 48 pulgadas, operando entre 30-80 bar con una longitud de 300 km en el Reino Unido	(3)
	3,28 M€/km	Tubería de 48 pulgadas (Compresores excluidos)	(4)
Inversión en un nuevo compresor (rango)	0,65 M€/MW	Costes de un compresor, con un caudal de 240 t/día	(5)
	1,07 M€/MW	5,8 MW de capacidad de compresor, calculada según la curva de costes de la fuente (los compresores se necesitan cada 100-600 km, muy específicos para cada caso)	(4)
LCOT* para el transporte de H <sub>2</sub> : reutilización de la infraestructura de gas natural	3,7 M€/MWh H <sub>2</sub> por 600 km	Reutilización de las infraestructuras de gas existentes para 100% hidrógeno	(6)
LCOT para el transporte de H <sub>2</sub> : nueva infraestructura (rango)	4,6 M€/MWh H <sub>2</sub> por 600 km	Tubería de 48 pulgadas. Incluye los gastos el CAPEX y el OPEX de los gasoductos y compresores, así como los gastos de los combustibles de compresión	(6)
	11,4 M€/MWh H <sub>2</sub> por 600 km	El transporte a lo largo de 1.500 km se asume en origen, teniendo en cuenta todos los costes de capital y explotación. Normalizado a 600km.	(7)
	45 M€/MWh H <sub>2</sub> por 600 km	Costes estimados de compresión incluidos para tuberías de diámetros comprendidos entre 7 y 10 pulgadas a lo largo de 100 km, según la fuente. Normalizado a 600 km	(8)

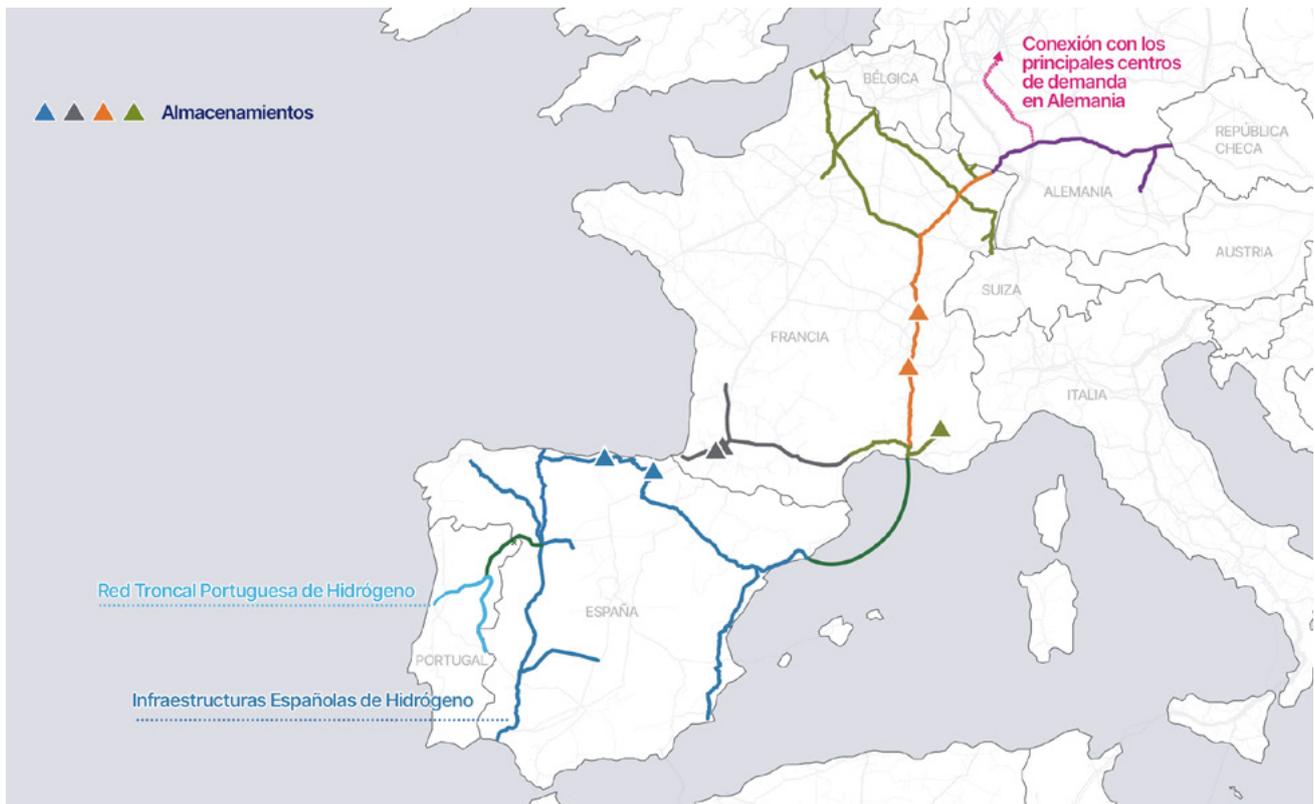
\* Costes nivelados de transmisión

Fuentes: (1) FNB Gas, 2019, (2) Element Energy & E4Tech, 2018, (3) Navigant, 2019, (4) Jacobs, Element Energy, 2018, (5) Baufamé, 2012, (6) Navigant, 2019, (7) IEA, 2019, (8) DNV GL, 2019

Uno de los proyectos más importantes en relación con el desarrollo de la infraestructura de transporte de H<sub>2</sub>V en España es H2med<sup>18</sup>, una iniciativa transnacional para interconectar las redes de hidrógeno de la península ibérica con el noroeste de Europa. Este proyecto está incluido en la lista de Proyectos de Interés Común de la UE<sup>19</sup> y consta de 703 km de longitud de tubería, 2Mt de capacidad de transmisión por año, un presupuesto de 2.500M€ y una puesta en servicio prevista para 2030. En España, propone dos ejes troncales de transporte y dos almacenamientos subterráneos (Cantabria y País Vasco).

18. <https://h2medproject.com/>

19. <https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/notas-prensa/h2med-red-troncal-espanola-hidrogeno-pci/>



Fuente: H<sub>2</sub>med

En la UE hay 260.000 km de infraestructura de transporte para el gas natural y tan sólo 2.000 km para el H<sub>2</sub> (Bélgica, Alemania, Francia y Países Bajos), dado que la mayor parte del hidrógeno se produce en el lugar de demanda.

### 2.5.3. El hidrógeno verde en el sector siderúrgico español

El hidrógeno en la industria del hierro y el acero se emplea, fundamentalmente, como materia prima para los procesos de transformación del mineral de hierro en acero, bien a través de la ruta de Alto Horno-Horno de oxígeno básico, o bien para la obtención de hierro esponja mediante Reducción Directa de Hierro (DRI) que luego se emplea para alimentar acerías de arco eléctrico.

En este contexto, la descarbonización de la industria siderúrgica implica la sustitución del hidrógeno de origen fósil por hidrógeno obtenido de fuentes energéticas renovables, así como la incorporación de este hidrógeno verde y sus combustibles derivados (combustibles renovables no biológicos como el amoníaco, el metanol o los combustibles sintéticos) en procesos térmicos de producción que requieran de elevadas temperaturas.

En España, en el marco del PERTE ERHA, alrededor del 45% de los proyectos de obtención de hidrógeno verde corresponde a aplicaciones industriales, sumando casi el 50% del total de la potencia instalada prevista. De ellos solo se han identificado dos en los que el hidrógeno producido tendría, entre otros destinos industriales declarados, la siderurgia:

- **Central térmica de Los Barrios (Cádiz)**, promovido por EDP. Suma una inversión de 555 M€ y supondría una instalación de potencia de electrolizadores que llegaría a los 630 MW. Esta potencia se desplegaría en dos fases, en la primera se construiría un primer electrolizador de 130 MW, que debería estar funcionando en 2026 y, si la coyuntura del mercado lo permite, durante la segunda fase se desplegarían electrolizadores de 500 MW, que deberían estar operativos a finales de 2030. En agosto de 2024 el proyecto ya había superado su tramitación ambiental.
- **HyDeal España**, promovido por Arcelor Mittal, Enagás, Fertiberia y DH2Energy. Prevé instalar hasta 7,4 GW de potencia electrolítica para 2030, de los que 3,3 GW estarían operativos en 2028. Para ello espera disponer de 9,5 GW de energía fotovoltaica de los cuales 4,8 GW estarían funcionando en el año 2028. Las plantas solares que alimentarían a los electrolizadores se ubicarán en áreas con alto potencial de energía solar repartidas entre las comunidades autónomas de Extremadura, Castilla y León, Aragón y Castilla-La Mancha. El hidrógeno producido se prevé que se evacue a través de una red de distribución que lo conducirá hasta seis clústers industriales en los que se espera un mayor consumo situados en Asturias y Cantabria, País Vasco, Valle del Ebro, área de Barcelona, área de Tarragona, y Levante. Durante la primera fase de esta iniciativa se abastecería, entre otras industrias, a las plantas siderúrgicas de Arcelor Mittal en Gijón y Avilés.

Fuera del ámbito del PERTE ERHA hay un proyecto de incorporación de H<sub>2</sub>V a la fabricación de acero especialmente relevante por la cuantía de la ayuda estatal concedida y por su alcance tecnológico y por su trascendencia para el sector y el territorio. Se trata del proyecto de Hidrógeno circular DRI presentado al PERTE de Descarbonización Industrial por la compañía ArcelorMittal España S.A para su planta de siderurgia industrial de Asturias. La inversión total asciende a 1000 millones de euros.

La iniciativa consiste en la construcción de una planta de reducción directa de mineral de hierro (DRI) y de un horno de arco eléctrico (EAF) en la factoría de la empresa en Gijón. El componente principal del proyecto es la instalación de una planta de DRI con H<sub>2</sub>V con una capacidad de producción de 2,3 Mt anuales junto con un EAF híbrido de 1,1Mt de capacidad y operado con energía eléctrica de origen renovable. Estas instalaciones permitirían la transición de la actual vía BF-BOF a la H<sub>2</sub>vDRI con EAF, reduciendo significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>. El H<sub>2</sub>V sería suministrado por un grupo de compañías que trabajarían conjuntamente en las infraestructuras necesarias: electrolizadores y parques de energía fotovoltaica que los alimenten y un sistema de tuberías para el transporte del gas.

En 2023 ArcelorMittal España S.A. recibió una subvención de 450 M€ para este proyecto con el compromiso de que la nueva planta entraría en operación a finales del año 2025. Para esa fecha el mix de gases que se preveía usar en el proceso siderúrgico estaría formado por un 43% de H<sub>2</sub>, un 40% de gas de horno de coque (COG), y un 17% de gas natural (GN), una composición que irá cambiando hasta 2040, año en el que la mezcla debería contener un 91% de H<sub>2</sub>, un 6% de Syngas (CO + H<sub>2</sub>) y un 3% de COG. La combinación de gases utilizados como gases de calefacción y reductores también está previsto que se modifiquen progresivamente, partiendo, en 2025, de 35% de H<sub>2</sub>, un 33% de CPG, un 25% de GN y un 8% de gas de Alto Horno (BFG) y alcanzando, en 2040, una mezcla de un 82% de H<sub>2</sub>, un 8% de BFG, un 7% de Syngas y un 3% de COG.

A finales de 2024 ArcelorMittal decidía paralizar todos sus proyectos de DRI en Europa, incluido el de Gijón. La empresa justificaba su decisión en la situación política, de mercado y energética desfavorable, así como el lento desarrollo tecnológico del hidrógeno verde y las deficiencias en el marco regulatorio europeo.

Otro proyecto que destacar es el de construcción de la planta de acero verde de Hydnum Steel en Puertollano, declarado de Interés Regional y Proyecto Prioritario para Castilla-La Mancha en julio de 2024. Con una inversión de más de 1.600 millones de euros, la ejecución de este proyecto se realizaría en dos fases: la primera consistente en la construcción de una línea de producción con una capacidad de 1,5 millones de toneladas de acero laminado en caliente, mediante la ruta de horno de arco eléctrico, así como hierro de reducción directa procedente de terceros, que finalizaría en 2026. En una segunda fase se construiría la planta de reducción directa de hierro, empleando hidrógeno verde para la producción de los reducidos de hierro y que finalizaría en 2029.

### **BH<sub>2</sub>C- EL CORREDOR VASCO DEL HIDRÓGENO Y EL SECTOR SIDERÚRGICO**

El BH<sub>2</sub>C tiene como objetivo la descarbonización de la industria asegurando su competitividad. Está constituido por 7 instituciones, 14 centros de conocimiento y asociaciones empresariales y 50 empresas. Entre las empresas del sector siderúrgico de Euskadi se encuentran ArcelorMittal, Sidenor, Tubacex Group y Celsa-Nervacero.

El BH<sub>2</sub>C pretende dinamizar la colaboración e interacción, el conocimiento de los proyectos, del marco regulatorio y de las ayudas y subvenciones existentes entre las empresas e instituciones que conforman el BH<sub>2</sub>C.

Se ha fijado el año 2028 como la fecha para poder producir, transportar y consumir hidrógeno verde en el tejido industrial vasco. Para entonces pretenden lograr una alta producción de H<sub>2</sub>V y transportarlo en tubo hasta las instalaciones que lo soliciten.

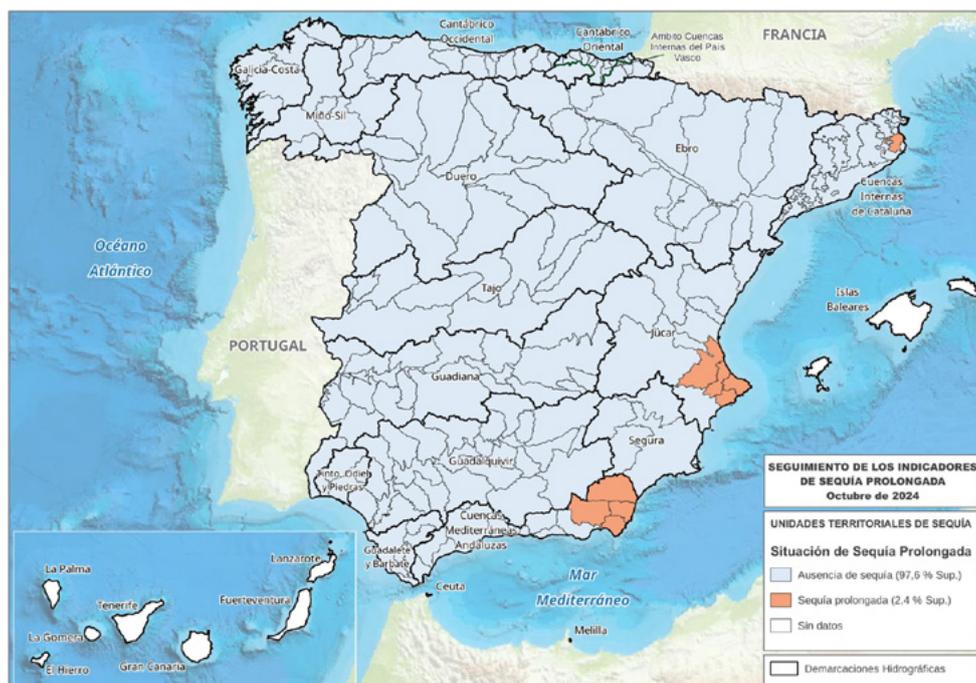
Con independencia de este objetivo, actualmente se están desarrollando una serie de proyectos dirigidos a la siderurgia, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- **Proyecto HyValue-Gasteiz (Tubacex Group)** de valorización material de la fracción no reciclable de los residuos urbanos mediante la producción de hidrógeno renovable para su uso industrial, doméstico, en el sector logístico y la movilidad. Con este enfoque de economía circular se da una solución conjunta y sostenible.
- **Proyecto H<sub>2</sub>V Sarralle (acuerdos con ArcelorMittal)**, para el uso de hidrógeno como energía alternativa al gas natural, para equipos de calentamiento en los procesos siderúrgicos de fabricación de metales y laminación (horno de arco eléctrico, horno de recalentamiento, calentadores de cuchara y artesa, oxicorte), con el objetivo reducir las emisiones específicas de CO<sub>2</sub> por tonelada de acero fabricada.
- **Proyecto de Celsa Group-Nervacero**, con el desarrollo de un electrolizador para la producción conjunta de hidrógeno y oxígeno a nivel local con una potencia instalada de 40MW.

## 2.6. La sequía y su impacto en la disponibilidad de recursos hídricos en la siderurgia

La sequía es un fenómeno que, intensificado por el cambio climático, presenta para España un problema cada vez más acuciante. En el caso del sector del acero, la producción puede verse dificultada al reducirse la disponibilidad del agua que requieren sus procesos industriales, y compromete la generación eléctrica de origen renovables.

España es uno de los países de la UE-27 más afectados por el estrés hídrico<sup>20</sup>. En octubre de 2024, el 2,4% del territorio se encontraba en situación de sequía prolongada<sup>21</sup>, correspondiendo a zonas localizadas en las cuencas internas de Cataluña, en la cuenca del Júcar y en las Cuencas Mediterráneas Andaluzas.



Fuente: Subdirección General de Planificación Hidrológica. Dirección General del Agua

Las precipitaciones registradas a lo largo del año, especialmente abundante durante el mes de octubre, han revertido en buena medida el panorama de principios de 2024 en el que la situación de sequía prolongada afectaba a un 22,5% de la superficie del país. La industria siderúrgica, gran consumidora de agua, utiliza este recurso principalmente para procesos de enfriamiento y, en menor medida, para la limpieza de gases y operaciones mecánicas como el laminado. El sector ha implementado medidas para reducir su consumo de agua, como el uso de circuitos de enfriamiento semiabiertos que permiten reutilizar el agua, limitando la necesidad de extracción directa. Sin embargo, en instalaciones con sistemas de enfriamiento abiertos, el consumo de agua puede ser significativamente mayor, alcanzando hasta 100-2000 m<sup>3</sup> por tonelada de acero fabricada.

Aunque en la actualidad el sector siderúrgico no se ve altamente afectado por la situación de la sequía en España, si este fenómeno se sigue acrecentando, puede convertirse en un impacto significativo sobre la producción. Por otro lado, la escasez de agua puede afectar a la viabilidad de los proyectos de descarbonización sustentados en el empleo de electricidad de origen renovables y en el uso de hidrógeno verde. Así, la obtención de hidrógeno por electrólisis consume entre 4 y 12 litros de agua de calidad por cada kilogramo de hidrógeno producido.

**20.** El estrés hídrico o escasez de agua se produce cuando no hay suficiente agua disponible para satisfacer las demandas del medio ambiente y de nuestra sociedad y economía, en términos de cantidad o calidad. Es un término general que combina sequía, escasez cuantitativa, calidad del agua y accesibilidad al agua.

**21.** Se define la sequía prolongada como la situación natural, no influenciada por acciones antrópicas como las demandas existentes.

## 2.7. Geopolítica para la ubicación de la industria: hacia un modelo regional de materias primas

La transición hacia un modelo más sostenible exige no solo cambios tecnológicos y operativos, sino también una reevaluación de las consideraciones geopolíticas y estratégicas en la ubicación de las plantas siderúrgicas. La proximidad a fuentes de energía renovable, el acceso a materias primas sostenibles, y la capacidad para aprovechar la infraestructura existente y las cadenas de suministro regionales, son factores que pueden reducir significativamente los costes y la huella de carbono de la producción de acero al determinar el éxito de los esfuerzos de descarbonización.

En un mundo globalizado, los eventos geopolíticos como las guerras, sanciones y cambios en las alianzas internacionales, pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad y el costo de las materias primas. La transición hacia un modelo de descarbonización abre la oportunidad de reconfigurar estas dependencias:

- La geopolítica del hidrógeno verde podría redefinir la ubicación de las plantas siderúrgicas. España, con su potencial de energías renovables tiene la oportunidad de convertirse en un líder en la producción de hidrógeno verde, lo que podría justificar la relocalización o la creación de nuevas instalaciones siderúrgicas cerca de fuentes de energías renovables en el territorio.
- La proximidad a los mercados europeos y la estabilidad geopolítica del entorno regional hacen de España un lugar atractivo para la inversión, en el caso de que se desarrolle una estrategia que tenga en cuenta las dinámicas geopolíticas globales y regionales, asegurando que la industria siderúrgica pueda adaptarse a las fluctuaciones en el suministro de materias primas y a las regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

El concepto de un modelo regional de materias primas implica la creación de una cadena de suministro más local y resiliente. Para la industria siderúrgica española esto podría traducirse en un enfoque centrado en la maximización de los recursos locales y regionales

En términos de ubicación, las plantas siderúrgicas se situarían en regiones estratégicamente seleccionadas por su acceso a energías renovables, infraestructuras de transporte eficientes y recursos reciclables. Un modelo que podría fomentar el desarrollo de una mayor colaboración dentro de la Unión Europea, donde la integración de políticas energéticas y ambientales podría facilitar la creación de un mercado común del hidrógeno verde y otros recursos clave.

Este enfoque ofrecería una mayor estabilidad frente a las tensiones geopolíticas que afectan a los mercados internacionales de materias primas. Sin embargo, también existen múltiples desafíos y limitaciones que ponen en cuestión su viabilidad y efectividad. En España, existen dudas sobre la capacidad del país para generar y distribuir suficiente hidrógeno verde para satisfacer la demanda de una industria siderúrgica en transición. La dependencia de las importaciones de materias primas es un problema que puede que no se resuelva tan solo con aplicar un enfoque regional, de hecho, la propuesta de un modelo regional de materias primas podría llevar a una concentración de la producción en áreas específicas, creando nuevas vulnerabilidad y desigualdades territoriales.

Además, la realidad es que la industria siderúrgica opera en un mercado globalizado donde las fluctuaciones en los precios de las materias primas y la energía pueden tener efectos devastadores, independientemente de la ubicación.

## 2.8. La chatarra como materia prima clave para la transición

En el contexto de la descarbonización de la industria siderúrgica, la chatarra ha emergido como una materia prima clave para la producción de acero, desempeñando un papel central en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> debido a su capacidad para reducir la dependencia de materias primas vírgenes como el mineral de hierro y el coque, cuya extracción y procesamiento son altamente intensivos en carbono. Según la Asociación Mundial del Acero, el uso de chatarra en lugar de mineral de hierro puede reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en hasta un 58% por tonelada de acero producido.

En España se reciclan aproximadamente 11 millones de toneladas de chatarra metálica, de las cuales cerca de 8 millones se destinan a la producción de acero mediante hornos de arco eléctrico. Este volumen sitúa a España como uno de los mayores recicladores de chatarra metálica de Europa, contribuyendo de manera significativa a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector industrial.

La demanda de acero producido a partir de chatarra ha ido en aumento, no solo por sus beneficios ambientales, sino también por las ventajas económicas que ofrece en un mercado donde los precios de las materias primas tradicionales pueden ser altamente volátiles, y lo han estado siendo en los últimos años. En este sentido, la chatarra se ha convertido en un recurso estratégico, no solo para cumplir con los objetivos de descarbonización, sino también para asegurar la resiliencia de la industria frente a las fluctuaciones del mercado global.

España mantiene relaciones comerciales activas en el ámbito de la chatarra, tanto en términos de importación como de exportación. Aunque es un país productor y reciclador de chatarra, también complementa su suministro interno mediante la importación de cerca de 2 millones de toneladas procedentes principalmente de Francia, Reino Unido y Estados Unidos. Del mismo modo, España exporta cerca de 2,5 millones de toneladas a otros países europeos y de la región del mediterráneo, destacando como principales destinos Turquía, Italia y Portugal. Estos lazos comerciales son cruciales, ya que permiten a España integrar diferentes calidades de chatarra en sus procesos de producción y subraya la importancia de la colaboración internacional en la estrategia de descarbonización de la industria.

Uno de los principales desafíos de este material como materia prima en la industria siderúrgica es la disponibilidad de un producto de alta calidad, que puede ser limitada debido a la competencia global y a la variabilidad en las calidades del material reciclado. La presencia de impurezas o aleaciones no deseadas en la chatarra puede afectar a la eficiencia del proceso de producción y la calidad final del acero, lo que podría limitar la capacidad de la siderúrgica para cumplir con los requisitos del mercado. Para superar esto, es crucial mejorar la tecnología de reciclaje y procesamiento de chatarra, así como fortalecer los sistemas de recolección y clasificación de residuos metálicos.

Otro desafío importante es la elevada atomización del mercado nacional de la chatarra, compuesto en gran medida por empresas pequeñas y medianas, lo que dificulta la creación de una oferta estable y bien estructurada. Esta fragmentación puede limitar la capacidad de las empresas siderúrgicas para obtener grandes volúmenes de chatarra de manera eficiente y consistente. La falta de una consolidación adecuada en el mercado también provoca fluctuaciones en los precios y dificultades en la cadena de suministro. Para abordar este reto, sería beneficioso fomentar la cooperación entre estas pequeñas empresas y crear mecanismos que promuevan una mayor coordinación y eficiencia en la recolección y distribución de la chatarra.

La creciente demanda de acero producido a partir de chatarra representa una oportunidad significativa para España. A medida que la Unión Europea y otros mercados globales imponen regulaciones más estrictas sobre las emisiones de carbono, la demanda de acero verde se va incrementando. España, con su sólida infraestructura de EAF y su capacidad para reciclar grandes volúmenes de chatarra, está bien posicionada para satisfacer la demanda y exportar productos de acero sostenible a otros mercados, siempre y cuando invierta en tecnología, innovación y en la optimización de su infraestructura de reciclaje.

### 2.8.1. Descripción del proceso

La chatarra es un residuo constituido fundamentalmente por metales, procedentes del fin de la vida útil de determinados productos (contenedores, automóviles, electrodomésticos, aparatos, bienes de equipo, residuos de construcción y demolición...) o generados como productos secundarios de ciertos procesos industriales (siderurgia, metalurgia, fabricación de vehículos y maquinaria...). Habitualmente se clasifica en dos categorías: la chatarra de metales ferrosos (contienen hierro y/o acero) y chatarra de metales no ferrosos (cobre, níquel, aluminio y plomo, entre otros). Por su composición, la chatarra de metales ferrosos es la que se puede utilizar en la industria siderúrgica, por lo que también se le denomina chatarra para fundición<sup>22</sup>.

El procesamiento de la chatarra destinada a la fundición tiene como finalidad la obtención de un producto con unas determinadas especificaciones de ausencia de impurezas (cualquier componente diferente al hierro o al acero), tamaño, densidad, etc. Puesto que una de las características principales de la chatarra de hierro y acero es su heterogeneidad dada la diversidad de su origen, la mayor complejidad del proceso radica en una correcta limpieza y separación del material de partida.

La chatarra, una vez recuperada de los vertederos o de los lugares donde se produce, se transfiere a las plantas de tratamiento en las que es acondicionada para su correcto reciclaje. La tarea supone la clasificación, descontaminación, densificación y preparación conforme a las características exigidas por la industria siderúrgica. En este trabajo se emplean una amplia gama de procesos de corte, prensado, fragmentado, etc. así como medios de manipulación para segregar tipologías y analizarlas químicamente, operaciones que requieren equipos con altas inversiones<sup>23</sup>. Los objetivos de estos tratamientos son optimizar las características del producto, minimizar los posibles impactos sobre el medio ambiente, y generar otros materiales secundarios susceptibles de ser empleados por otras actividades industriales. La fracción ferrosa obtenida de este proceso se deriva a las plantas siderúrgicas que la emplearán para obtener acero reciclado.

### Su importancia como insumo principal en la fabricación de acero vía eléctrica

En el contexto de la siderurgia española, aproximadamente el 80% del acero fabricado en nuestro país el año 2023 se obtuvo a partir de chatarra. La utilización de chatarra en la fabricación de acero conlleva importantes beneficios ambientales y económicos para la industria siderúrgica: se considera que por cada tonelada de acero reciclado se ahorra 1,5 toneladas de mineral de hierro, un 85% de agua, un 80% de energía y un 95% de carbón<sup>24</sup>. En términos de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, el uso de chatarra de acero ahorra aproximadamente un 58% de estas emisiones en comparación con las materias primas extraídas<sup>25</sup>.

Desde la generalización de las acerías de horno de arco eléctrico, a partir de los años setenta del pasado siglo, el sector siderúrgico ha mostrado su preocupación por la disponibilidad de chatarra con las calidades adecuadas en el mercado. Actualmente esa inquietud proviene de la obligación de lograr la descarbonización de la siderurgia para el año 2050 y de las necesidades crecientes de chatarra para alimentar los hornos eléctricos, los cuales jugarán un papel esencial en este proceso.

22. <https://www.derichebourgespana.com/clasificacion-de-la-chatarra-cuantos-tipos-de-chatarra-existen/>

23. Máquinas de derribos y rcds, Revista Profesional de Maquinaria para Deconstrucción y Valorización de Residuos, nº 24, Enero-Febrero-Marzo de 2016, págs.5-14

24. Máquinas de derribos y rcds, Revista Profesional de Maquinaria para Deconstrucción y Valorización de Residuos, nº 24, Enero-Febrero-Marzo de 2016, págs.5-14

25. El uso de materias primas recicladas, clave para la reducción de emisiones en la UE ([residuosprofesional.com](https://residuosprofesional.com))

## 2.8.2. Panorama mundial del uso de chatarra en la fabricación de acero y el reto de la disponibilidad de la chatarra para la descarbonización del sector

En 2023 se fabricaron en todo el mundo 1.892 toneladas de acero bruto, conteniendo proporciones variables de chatarra<sup>26</sup> según el país productor, pero presentando de media más de un 50% de empleo de chatarra en el proceso:

### Contenido en acero reciclado de las producciones de acero bruto de los principales productores mundiales

	2018	2023 (*)
China	20,2%	21,1%
UE28	55,9%	59,3% (**)
EEUU	69,4%	68,6%
Japón	35,0%	36,3%
Rusia	42,5%	DND
Turquía	80,7%	86,7%
Corea del Sur	41,4%	39,7%

(\*) Enero-Septiembre

(\*\*) Dato correspondiente a la UE27

DND: Dato no disponible

Fuente: Organización Mundial del Acero

Comparando los datos de 2018 con los nueve primeros meses de 2023, se observaba una tendencia general a incrementar el empleo de acero reciclado en la fabricación de acero bruto, destacando los casos de Turquía, EE. UU. y la UE donde la proporción de chatarra presente en el acero supera ampliamente el 50%. Esta evolución significa que, para mantener los niveles de producción de acero actuales y hacerlos compatibles con los objetivos de descarbonización, los países deberán disponer de chatarra en cantidad y calidad suficientes para satisfacer las necesidades de su industria siderúrgica. Una disponibilidad que puede proceder de su generación interior, a través de la recuperación y el reciclaje de residuos ferrosos, o de la compra a terceros países o de una combinación de ambas vías.

Por grandes áreas geográficas, la UE27 destaca como la principal zona exportadora de chatarra en 2023 (44,7 millones de toneladas) seguida de América del norte (23,0 millones de toneladas). En términos de las importaciones realizadas ese año, Asia ocupa el primer lugar, con 33,3 millones de toneladas, seguidas de la UE27 con 30,0 millones de toneladas y del grupo de países no comunitarios como Turquía y Reino Unido, con 20,1 millones de toneladas.

26. <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/#world-crude-steel-production-%3Cbr%3E1950-to-2023>

## Comercio mundial de chatarra ferrosa 2022-2023 (millones de toneladas)

Área geográfica	Exportaciones		Importaciones	
	2022	2023	2022	2023
UE27	43,5	44,7	31,8	30,0
Otros países de Europa (*)	10,2	9,4	22,3	20,1
Rusia, Ucrania y (CEI)(**)	1,4	1,2	0,1	0,2
América del norte	24,0	23,0	8,8	8,7
América del sur	2,2	2,6	1,2	0,9
África	1,8	1,5	0,9	3,0
Asia	9,8	11,3	31,1	33,3
Oceania	2,4	2,2	0,2	0,1
Mundo	98,9	99,1	97,0	97,0

(\*) Turquía, Reino Unido y otros

(\*\*) Comunidad de Estados Independientes

Fuente: Organización Mundial del Acero

Si se consideran las exportaciones netas (exportaciones menos importaciones), la UE 27 presenta un saldo favorable de 14,2 millones de toneladas; y tanto el grupo de "otros países de Europa" como Asia, una diferencia negativa, de 10,7 millones de toneladas y de 22,0 millones de toneladas respectivamente. En la diferencia desfavorable del conjunto de "otros países de Europa" tiene un peso destacado Turquía, que exportó en 2023 tan sólo 0,2 millones de toneladas de chatarra y compró del exterior 18,8 millones de toneladas<sup>27</sup>. Respecto al caso asiático, la mayor contribución al déficit en el comercio de chatarra se debe al grupo de países asiáticos distintos a Oriente Medio, China, Japón, Corea del sur, y Taiwán, que sumaron 11,3 millones de toneladas de exportaciones e importaron 33,3 millones de toneladas. Estas cifras apuntan a que en un escenario de descarbonización y/o de dificultades para seguir disponiendo de minerales de hierro con una ley suficiente, los precios y flujos internacionales del comercio de chatarra podrían sufrir cambios importantes en términos de encarecimiento y de acaparamiento por parte de las naciones que actualmente son importadoras netas de esta materia prima secundaria.

### 2.8.3. El sector de la recuperación de chatarra férrica en España

#### Estructura y composición del sector

La recuperación de metales ferrosos a partir de sus residuos comprende las operaciones de recogida, acondicionamiento para su reciclaje y comercialización. Se trata de actividades comunes a las practicadas con otros flujos de residuos susceptibles de ser reciclados con las que, con frecuencia, se solapan. Las empresas dedicadas a estas tareas desarrollan su actividad bajo uno o varios de los siguientes epígrafes con los que las clasifica el Código de Actividades Económicas de 2009 (CNAE 2009):

- **CNAE 4677, "Comercio al por mayor de chatarra y productos de desecho"**. Reúne a las empresas dedicadas a la compraventa de chatarra. Representan el primer eslabón de la cadena de valor de la recuperación, y no requiere de una especial tecnificación. Existen 1.457 compañías que incluyen este código dentro de sus actividades.

27. <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/#world-crude-steel-production-%3Cbr%3E1950-to-2023>

- **CNAE 381, "Recogida de residuos"**. Incluye a empresas cuya principal finalidad es el acopio de materiales, y a las empresas municipales dedicadas a la recogida de residuos urbanos.
- **CNAE 382, "Tratamiento y eliminación de residuos"**. Encuadra a las empresas que operan vertederos y a las dedicadas a la gestión de residuos peligrosos y que, colateralmente, incluye actividades tales como el tratamiento de frigoríficos y el de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), ocupaciones que se superponen con las de algunas empresas dedicadas a la obtención de chatarra.
- **CNAE 383, "Valorización"**. Incluye las operaciones de separación y clasificación de materiales. Comprende actividades más específicas del sector de la recuperación de metales ferrosos, como los tratamientos mecánicos, y que exigen una tecnificación de los procesos.

En 2022 había registradas 5.384 empresas con actividades de recogida, separación y clasificación de metales ferrosos que ocuparon a 35.258 personas y supusieron una cifra de negocio de casi 16.758 millones de euros (16.757.607 €), aproximadamente el 1,2% del PIB nacional.

La estructura empresarial de este sector se caracteriza por una fuerte presencia de la pequeña y mediana empresa. Los datos de 2022 muestran que de las 1.771 empresas registradas en el epígrafe CNAE 381, "recogida de residuos", la mayor parte (1.300) tenían entre 0 y 9 trabajadores y solo 25 alcanzaban los 250 o más empleados, correspondiendo, principalmente, a las empresas municipales de recogida de residuos. En cuanto a las compañías registradas bajo el epígrafe CNAE 382 "tratamiento y eliminación de residuos", de las 527 inscritas, 361 tenían menos de 9 personas trabajando y únicamente 11 tenían plantillas de más de 250 trabajadores. Finalmente, de las 477 empresas registradas en el epígrafe 383 "valorización" casi la mitad, 233, empleaban a 9 o menos personas, y solo 4 ocupaban a 250 trabajadores o más. Esta configuración se debe, en buena medida, a la naturaleza familiar de muchas de estas empresas.

### Número y porcentaje de empresas de residuos registradas por códigos CNAE

	(381) Recogida		(382) Tratamiento y eliminación		(383) Valorización	
<b>Total</b>	<b>1.771</b>	<b>–</b>	<b>527</b>	<b>–</b>	<b>477</b>	<b>–</b>
De 0 a 9	1.389	78%	361	69%	233	49%
De 10 a 19	138	8%	56	11%	115	24%
De 20 a 49	149	8%	59	11%	84	18%
De 50 a 249	70	4%	40	8%	41	9%
De 250 o más	25	1%	11	2%	4	1%

Fuente: INE

Geográficamente, existe una importante diseminación por el territorio nacional, con una tendencia a agruparse en torno a los territorios más industrializados y/o poblados y que por tanto suponen una fuente de residuos metálicos, como País Vasco, Cataluña y Madrid. En líneas generales estas ubicaciones hacen que las distancias entre los centros de acopio, separación y clasificación de la chatarra y los centros consumidores sean inferiores a los 400 km, un hecho muy importante debido a que el transporte es un factor relevante en el incremento de los costes del producto.

#### 2.8.4. La contribución del sector de recuperación de la chatarra férrica al proceso de fabricación de acero de la siderurgia española

Durante el año 2023, en España se obtuvieron 6,8 millones de toneladas de chatarra de hierro y acero reciclado. La mayor parte, 6,1 millones, fue destinada al abastecimiento de la industria siderúrgica española (89,2%) y solo 660.883 toneladas se vendieron a otros países, fundamentalmente Marruecos y Turquía.

Según fuentes de la Federación Española de Reciclaje (FER), el sector de la recuperación de chatarra férrica dispone actualmente de un avanzado nivel tecnológico, lo que le permite alcanzar estándares de calidad del material elevados, capaces de satisfacer las exigencias de la industria del acero e importantes niveles de eficiencia, lo que la hace más atractiva que la chatarra de importación por lo general, de peor calidad. Aunque hay empresas españolas de recuperación que disponen de certificaciones que respaldan la calidad de su funcionamiento, a efectos de mercado, las acerías no se muestran especialmente exigentes respecto a ellas, flexibilizando sus criterios de certificación e incluso de calidad del producto en función de la oferta.

En España existe una limitación en cuanto a la disponibilidad de residuos brutos de hierro y acero de los que se extrae la chatarra. Las principales fuentes de este tipo de materiales son cuatro: el achatarramiento de automóviles, la construcción/demolición, la industria y el post consumo. Los turismos y vehículo industriales de menos de 3.500 kg achatarrados en 2023 fue un 17% inferior a 2014<sup>28</sup>. En cuanto al sector de la construcción/demolición, todavía se encuentra en fase de recuperación después de las crisis de 2008 y de la pandemia de Covid19, con un crecimiento positivo pero lento<sup>29</sup>. Además, la aplicación de la Ley 7/2022 de residuos y suelos contaminados para una economía circular que establece la obligación selectiva en obra de los residuos de construcción y demolición, un precepto que sí están asumiendo las grandes obras, está provocando que los materiales metálicos segregados sean directamente vendidos por los titulares de la obra a las empresas compradoras prescindiendo de las empresas de recogida y recuperación de metales. Respecto a la producción industrial, apenas se ha incrementado en un 1%, y los residuos metálicos provenientes del post consumo suponen unos volúmenes poco significativos. Esta situación hace que muchas instalaciones de recuperación se encuentren hoy en día funcionando por debajo de su capacidad. También motiva que prácticamente toda la chatarra de hierro y acero nacional que obtienen las empresas del sector se encuentre comprometida con un conjunto de clientes fijo dentro del país, siendo minoritaria la proporción destinada a la exportación, una actividad cuya rentabilidad depende estrechamente de los costes de transporte.

Durante 2023, la industria siderúrgica española fabricó 11,4 millones de toneladas de acero bruto. Para producirlas se emplearon 9,3 millones de toneladas de chatarra, lo que supuso un incremento del 3,2% respecto a 2022<sup>30</sup>. Como se señalaba anteriormente, estos datos constatan que aproximadamente el 80% del acero fabricado en nuestro país se obtiene a partir de chatarra. 6,1 millones de toneladas de esa chatarra de hierro tuvieron un origen nacional. Estas cifras indican un hueco en los requerimientos de las acerías españolas durante 2023 de 3,2 millones de toneladas (un 34,4% de las necesidades) que se cubrieron a través de la importación, poniendo de relieve que España actualmente no puede autoabastecerse de esta materia prima secundaria teniendo que recurrir a su compra en terceros países para completar las necesidades de sus acerías.

Según los datos de la Federación Española de Asociaciones de Fundiciones (FEAF), el precio medio de compra de la chatarra de acero se ha ido incrementando desde comienzos del presente siglo. Así, ha pasado de los 249 €/t de 2004 a los 524 €/t de 2023<sup>31</sup>. Esta tendencia al alza podría estar reflejando una menor disponibilidad de oferta frente a una demanda mantenida o creciente en el tiempo.

28. <https://www.sigrauto.com/cuantos-vehiculos-fuera-de-uso-se-tratan-al-ano/evolucion-historica>

29. <https://www.observatoriodelaconstruccion.com/uploads/media/L6tu4o3utr.pdf>

30. UNESID, Nota de Prensa, 10 de Abril de 2024.

31. <https://feaf.es/materias-primas/>

### Precio medio de compra de la chatarra de acero 2004-2023 (€/t)





# PARTE 2.

## ESCENARIOS PARA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA SIDERURGIA ESPAÑOLA

### 3. Tres escenarios para la descarbonización en España para 2030: energías renovables, chatarra, DRI e hidrógeno verde

La descarbonización de la producción de acero es un objetivo crucial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los compromisos europeos en materia de cambio climático. La siderurgia ha sido, tradicionalmente, una actividad altamente intensiva en carbono. Los métodos convencionales, como el uso de altos hornos (BF) y hornos básicos de oxígeno (BOF), dependen en gran medida de combustibles fósiles y generan significativas emisiones de CO<sub>2</sub>. P.

En los últimos años, se vienen desarrollando diversas tecnologías para la descarbonización de la producción de acero, que no solo buscan reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino también mejorar la eficiencia energética y la productividad del sector. La adopción de este tipo de tecnologías puede posicionar a España como un líder en producción de acero sostenible, atrayendo inversiones y asegurando la viabilidad a largo plazo de su sector siderúrgico. Sin estos cambios, la industria corre el riesgo de enfrentar mayores costes regulatorios y una pérdida de competitividad frente a países que avancen más rápidamente en la transición energética. Por ello, explorar alternativas viables y sostenibles es esencial para la transición energética del sector.

En este apartado se analizan tres escenarios para la descarbonización de la producción de acero en España para el año 2030, centrados en diferentes estrategias y tecnologías que pueden ser implementadas para lograr una producción de acero más sostenible. De manera transversal, los enfoques considerados incluyen el uso de energías renovables, el reciclaje y uso de chatarra, y la implementación de tecnologías como la reducción directa del hierro (DRI) y el hidrógeno verde. Cada escenario se desglosa en subescenarios específicos que permiten evaluar las diversas rutas tecnológicas y estratégicas, en los que se consideran factores críticos como el costo de producción, el precio de las materias primas, la inversión en nuevas tecnologías y el impacto ambiental.

- **Escenario 1:** representa las formas actuales de producción de acero. Contempla:
  - a) La ruta de siderurgia integral (BF/BOF)
  - b) La ruta del horno de arco eléctrico (EAF) alimentado al 100% con chatarra.
- **Escenario 2:** basado en la introducción de tecnologías alternativas convencionales. Contempla:
  - a) La sustitución de la ruta tradicional BF-BOF por la utilización de un EAF en combinación con la implementación de la tecnología de reducción directa del hierro (DRI) y la utilización de gas natural, diferenciando, también, entre el uso de 100% DRI o 50% DRI y 50% chatarra, así como entre la producción de DRI en planta o la compra de este, y el empleo de electricidad renovable
  - b) Incorporación de electricidad de origen renovable en la ruta EAF con 100% chatarra.

- **Escenario 3:** contempla la introducción de la tecnología más novedosa del hidrógeno verde como sustituto del gas natural en la obtención de DRI y la integración de la electricidad de origen renovable. Diferencia entre el hecho de producir y comprar el hidrógeno verde, y tienen en cuenta la posibilidad de usar también un 50% de chatarra y un 50% de DRI.

El análisis de estos escenarios proporciona una visión integral de las posibles vías de descarbonización para la industria siderúrgica en España con vistas a 2030, identificando oportunidades y desafíos, y ofreciendo recomendaciones. A través de este enfoque, se busca contribuir al desarrollo de políticas y estrategias que faciliten la transición hacia una producción de acero más sostenible y competitiva. Posteriormente, se analizarán los efectos y necesidades en materia de empleo, con el fin de orientar este proceso hacia una transición justa que asegure la protección de las personas trabajadoras y la creación de empleos de calidad en el sector.

### 3.1. Escenario 1: BF-BOF y EAF 100% chatarra

Este primer escenario presenta la situación actual de la producción de acero en España, mediante dos vías de producción: los altos hornos (BF/BOF) y los hornos de arco eléctrico (EAF) utilizando chatarra, cada una con sus características específicas y limitaciones.

La ruta BF-BOF emplea un alto horno (BF) para reducir y fundir el mineral de hierro y posteriormente refinarlo a acero en un horno de oxígeno básico (BOF). Es la tecnología actualmente dominante para la fabricación de acero primario<sup>32</sup>, produce más del 70% de la producción mundial de acero y también es la más contaminante. En España, esta es la única ruta utilizada para la producción de acero primario.

La producción de acero mediante hornos de arco eléctrico (EAF) que emplean chatarra es la forma más común de producir acero secundario (reciclado). Este método aporta aproximadamente el 24% de la producción mundial de acero, y es el mayoritario en la Unión Europea. El EAF es intrínsecamente más bajo en carbono en comparación con la ruta integrada BF-BOF y es más fácil de modificar en busca de la descarbonización. Sin embargo, el EAF tiene menos capacidad de producción que la ruta BF-BOF, lo que puede ser positivo en términos de inversión en modificaciones, ya que requiere menos capital inicial, pero constituye una desventaja al limitar la producción.

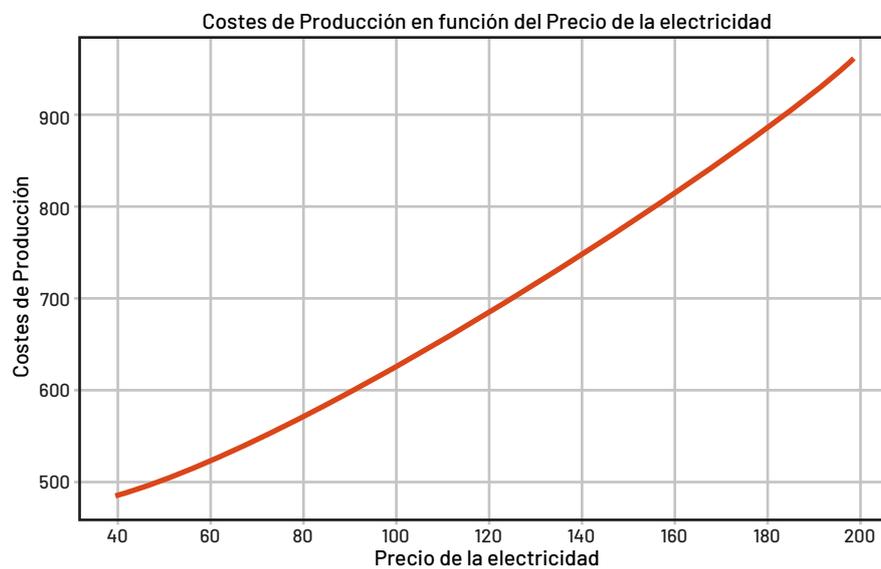
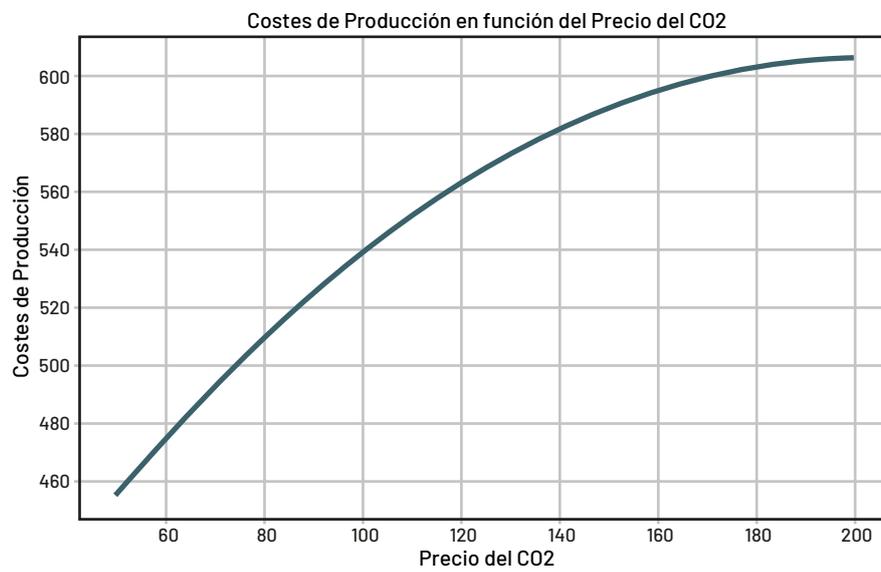
Este escenario inicial establece el punto de partida para evaluar las posibles vías de descarbonización de la industria siderúrgica en España. A continuación, se analizan de manera más detallada los subescenarios 1A y 1B, que corresponden a la producción mediante altos hornos y hornos de arco eléctrico con chatarra, respectivamente.

#### 3.1.1. Escenario 1A: BF-BOF

El subescenario 1A se centra en la producción de acero en España utilizando la ruta de altos hornos y hornos básicos de oxígeno (BF-BOF). La primera gráfica muestra cómo los costes de producción varían con el precio del CO<sub>2</sub>, el cual se hace variar desde 50€/t a 200€/t, manteniendo el precio de la electricidad constante en 80€/MWh. La segunda gráfica ilustra la relación entre los costes de producción y el precio de la electricidad, manteniendo el precio del CO<sub>2</sub> en 130€/t, y haciendo variar el precio de la electricidad de 40€/MWh a 200€/MWh.

---

**32.** El acero primario es aquel que se produce a partir de materias primas, tanto en un alto horno como en un horno de arco eléctrico. El acero secundario se produce a partir de acero reciclado, generalmente chatarra de acero. El acero bruto es el acero en su estado inicial, antes de ser fundido y refinado, antes de ser transformado en productos finales.



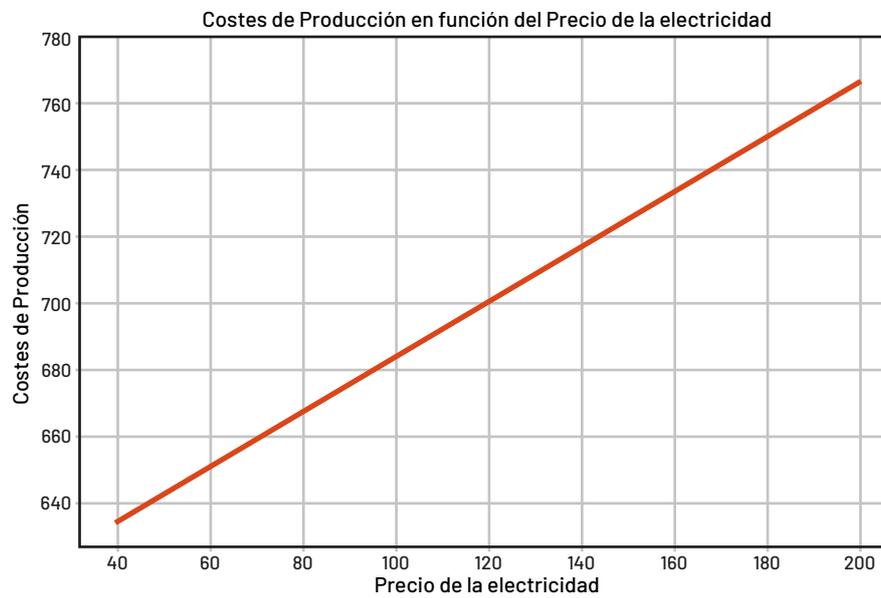
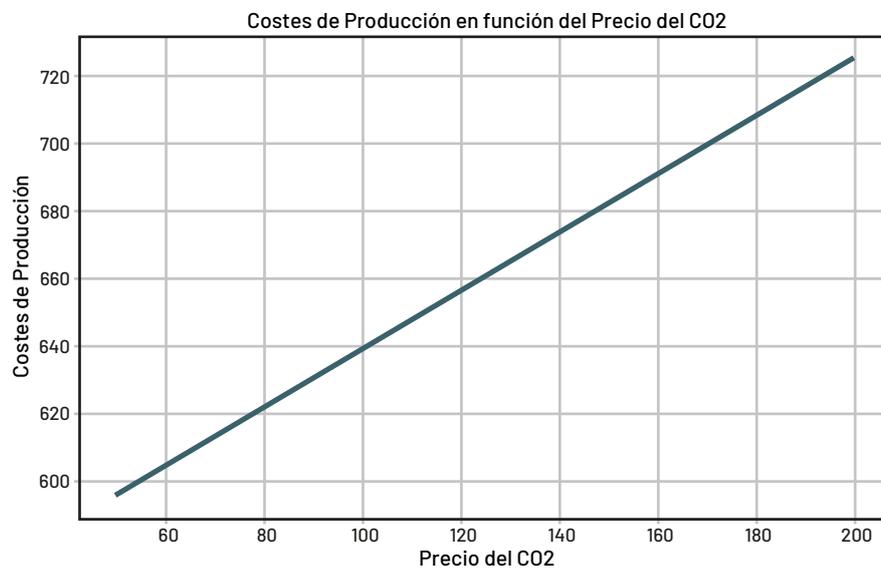
Los resultados indican que los costes de producción están significativamente influenciados por las variaciones en el precio del CO<sub>2</sub> y de la electricidad, en particular:

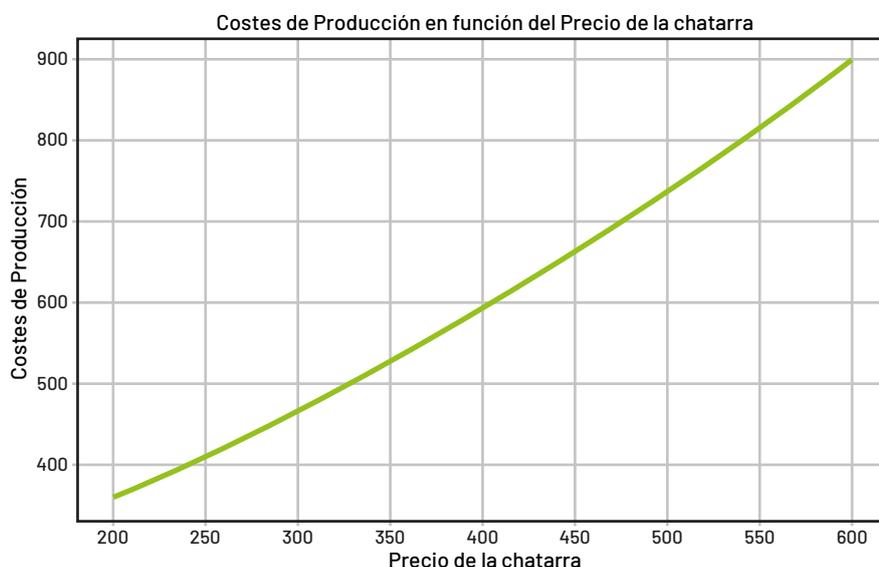
- Un aumento en el precio del CO<sub>2</sub> incrementa los costes de producción debido a su coeficiente de interacción positivo con la electricidad; sin embargo, el coeficiente cuadrático negativo sugiere una moderación en el incremento a niveles más altos del precio del CO<sub>2</sub>. Esto es así porque no se espera que el precio del CO<sub>2</sub> suba de 200€/t para 2030, pero sí para las décadas de 2030-2050, por lo que en un análisis que llegase hasta 2050 en el que se proyectasen precios más altos del CO<sub>2</sub>, los costes de producción lejos de estabilizarse seguirían aumentando progresivamente.
- Los costes de producción aumentan con el precio de la electricidad, mediante una relación más lineal y directa que la que tiene con el precio del CO<sub>2</sub>. Esto sucede porque la electricidad es un coste variable directo que impacta constantemente en el coste del proceso de producción a medida que se incrementa su precio, mientras que el CO<sub>2</sub> tiene un comportamiento más complejo debido a su interacción con la electricidad y otras variables, así como a su vinculación con el aumento de su precio mediante medidas de control ambiental como es el Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS).

**El coste de producción para un precio de la electricidad de 80€/MWh y un precio del CO<sub>2</sub> de 130€/MWh es de 573€/t.** Un valor que servirá como punto de comparación con los costes de producción en otros escenarios en los que se plantean medidas para la descarbonización. Y aunque se explicará más adelante, hay que tener en cuenta que en este subescenario no se considera ningún tipo de coste de capital. De hecho, dado que los dos altos hornos existentes en España están al final de su vida útil, se reduce de manera importante el coste productivo en comparación con el resto de los escenarios en los que sí se tiene en cuenta el coste de invertir en las nuevas tecnologías planteadas.

### 3.1.2. Escenario 1B: EAF (100% chatarra)

El subescenario 1B se enfoca en la producción de acero en España utilizando hornos de arco eléctrico (EAF) con un 100% de chatarra como materia prima, es decir, sin usar ningún tipo de mineral de hierro o pellet de mineral de hierro como veremos en otros escenarios. La primera gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio del CO<sub>2</sub>, manteniendo el precio de la electricidad constante en 80 €/MWh y el precio de la chatarra constante en 450 €/t, mientras se hace variar el precio del CO<sub>2</sub> desde 50€/t hasta 200€/t. La segunda gráfica ilustra la relación entre los costes de producción y el precio de la electricidad, manteniendo el precio de la chatarra constante en 450 €/t y el precio del CO<sub>2</sub> constante en 130 €/t, mientras se hace variar el precio de la electricidad desde 40€/MWh hasta 200€/MWh. La tercera gráfica muestra cómo los costes de producción varían con el precio de la chatarra, manteniendo el precio de la electricidad constante en 80 €/MWh y el precio del CO<sub>2</sub> constante en 130 €/t, mientras se hace variar el precio de la chatarra de 200€/t a 600€/t.





Los resultados indican que los costes de producción están significativamente influenciados por las variaciones en el precio de la electricidad, la chatarra y el CO<sub>2</sub>. En particular:

- Un aumento en el precio de la chatarra incrementa los costes de producción de manera considerable. La relación entre el precio de la chatarra y los costes de producción es casi lineal, lo que indica una alta dependencia del costo de dicha materia prima reciclada. El importante crecimiento del precio de la chatarra en los últimos años debido a que tiene una demanda por encima de su disponibilidad eleva el coste productivo de esta ruta, que podría estar por debajo de la vía BF-BOF del escenario 1ª, para precios bajos o medios de la electricidad. Esto se aprecia en las gráficas del precio de la electricidad y del CO<sub>2</sub>, también, que tienen altos valores al darse un precio fijo de la chatarra en ellas de 450€/t, mientras que en el gráfico del precio de la chatarra se pueden ver valores muy amplios y diferenciados entre sí en función de diferentes precios de la chatarra. De hecho, si la chatarra tuviera un precio de 300 €/t, el coste de producción bajaría hasta 467.33 €/t, un 30% menos del estimado con la chatarra a 450€/t.
- El coste de producción también aumenta con el precio de la electricidad, y aunque esta relación es menos pronunciada en comparación con el precio de la chatarra, no debe pasar desapercibida, puesto que la electricidad es un coste variable directo en el proceso de EAF.
- Del mismo modo, el coste de producción aumenta a precios mayores del precio del CO<sub>2</sub> debido al costo asociado con las emisiones de gases de efecto invernadero, sin embargo, la diferencia con el escenario 1A es importante: pasando de unas emisiones de 2t a 0.84t de CO<sub>2</sub> por tonelada de acero producida, por lo que la ruta EAF con 100% de chatarra ya está considerada ambientalmente mejor.

**El coste de producción para un precio de electricidad de 80 €/MWh, un precio de chatarra de 450 €/t y un precio del CO<sub>2</sub> de 130 €/t es de 665 €/t.** Este valor no solo servirá como punto de comparación con el coste de producción en otros escenarios en los que se plantean medidas para la descarbonización de dicha ruta, sino que ya se puede comparar con el coste de producción del escenario 1A.

Como ya se ha explicado, el coste de producción proyectado a 2030 de la ruta EAF 100% chatarra supera al coste de producción de la ruta BF-BOF por dos razones: por un lado, aunque el precio del CO<sub>2</sub>, que afecta en gran medida a la ruta BF-BOF, se presenta creciente para 2030, todavía no se encontrará en su mayor pico de crecimiento, sino que esto será, precisamente a partir de 2030; por otro lado, el precio de la chatarra se ha visto fuertemente incrementado en los últimos cinco años, y se espera que siga creciendo hasta 2030, sin embargo se podría vislumbrar una estabilidad e incluso caída posterior. En base a esto, en esta proyección a 2030 con las premisas indicadas, no se está todavía manifestando el efecto total del precio del CO<sub>2</sub> sobre la ruta BF-BOF, mientras sí se está magnificando el efecto del precio de la chatarra sobre el coste productivo de la ruta EAF.

Finalmente, y al igual que en el subescenario 1A, en este subescenario no se consideran inversiones en capital para nuevas tecnologías o modernizaciones, ya que se basa en el uso de hornos de arco eléctrico existentes y la disponibilidad de chatarra como materia prima.

### **3.2. Escenario 2: EAF-DRI-Gas Natural y EAF 100% chatarra con electricidad renovable**

El segundo escenario que plantea este informe explora alternativas tecnológicas avanzadas para la descarbonización de la producción del acero en España, emergentes pero maduras, cada una con sus propios desafíos y oportunidades, de tal manera que la aplicación efectiva dependerá de factores clave como la inversión en infraestructura, el desarrollo de nuevas capacidades técnicas y la evolución de los mercados de la energía y de las materias primas.

Un primer enfoque aborda la sustitución de la ruta tradicional BF-BOF por métodos que utilicen EAF alimentado con DRI obtenido con gas natural. o. Esta ruta no solo permite una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> en comparación con la tradicional BF-BOF, sino que ofrece también un camino hacia una modalidad todavía menos contaminante, si en un futuro se sustituye el gas natural por hidrógeno verde. Por otro lado, y para hacer más eficiente y menos contaminante la ruta EAF con 100% de chatarra, en este segundo escenario se analiza la implementación de electricidad renovable al proceso, para el funcionamiento del EAF.

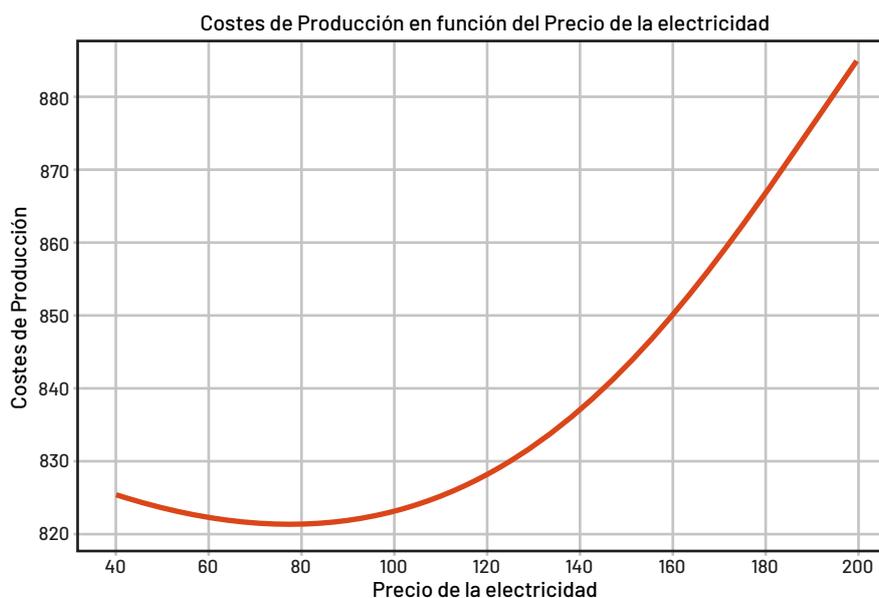
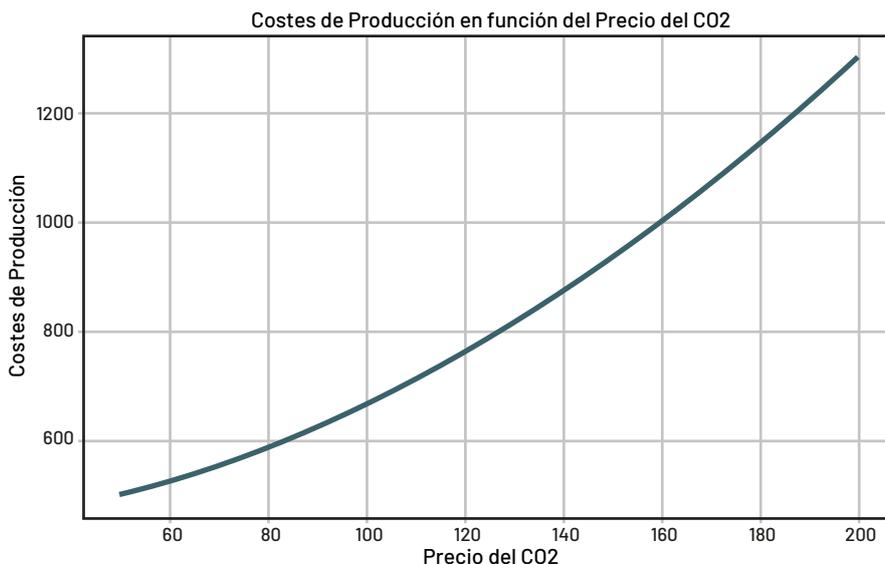
Las tecnologías consideradas en este escenario tienen diferentes niveles de madurez tecnológica. La combinación de EAF con DRI obtenido utilizando gas natural es una tecnología madura, con procesos comercializados como Midrex y HYL que se aplican en diferentes plantas repartidas por todo el mundo. Aunque, la infraestructura y el conocimiento técnico necesarios están bien establecidos, la adopción a gran escala puede requerir inversiones significativas y la adaptación de las plantas existentes. Por otra parte, el uso de electricidad de origen renovable en la ruta EAF con chatarra introduce nuevas consideraciones relacionadas con la necesidad de inversiones en infraestructura y ajustes operacionales, y con la fiabilidad del suministro y la gestión de la intermitencia inherente a algunas de las tecnologías de producción energética, como la eólica o la fotovoltaica.

#### **3.2.1. Escenario 2A: EAF-DRI-Gas Natural**

Este subescenario se presenta como una alternativa innovadora pero madura para la sustitución de la producción primaria de acero mediante la ruta BF-BOF, utilizando EAF en combinación con DRI y el gas natural. Dicha transición ofrece una reducción considerable de emisiones, al tiempo que mantiene la calidad del acero.

El proceso implica el uso de gas natural como agente reductor para producir DRI, que se funde posteriormente en un EAF para obtener acero. La utilización de gas natural en lugar de coque resulta en menores emisiones de CO<sub>2</sub>, pero aun así todavía son significativas. Sin embargo, esta ruta ofrece también una plataforma flexible que puede adaptarse a futuras mejoras tecnológicas, como es la integración de hidrógeno verde, que presenta un potencial adicional y muy significativo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, alineándose con los objetivos de descarbonización a largo plazo.

Además del subescenario principal en el que se analizará la ruta con el uso de 100% DRI producido en la planta, también se tendrán en cuenta otros factores: la utilización de una mezcla del 50% DRI y 50% chatarra, la compra de DRI en lugar de su producción en planta, y la implementación de electricidad renovable en el proceso. Cada una de estas versiones será analizada para evaluar sus costes, beneficios y viabilidad técnica. La primera gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio del CO<sub>2</sub>, manteniendo el precio de la electricidad constante en 80 €/MWh, mientras se hace variar el precio del CO<sub>2</sub> desde 50€/t hasta 200€/t. La segunda gráfica ilustra la relación entre los costes de producción y el precio de la electricidad, manteniendo el precio del CO<sub>2</sub> constante en 130 €/t, mientras se hace variar el precio de la electricidad desde 40€/MWh hasta 200€/MWh.



A un precio constante del CO<sub>2</sub> de 130€/t, los costes de producción inicialmente disminuyen levemente hasta un punto mínimo antes de aumentar de manera exponencial con el aumento del precio de la electricidad. Esto se debe a que, aunque la ruta EAF-DRI es más eficiente en términos de uso de electricidad que la ruta BF-BOF, sigue siendo sensible a variaciones en el precio de la electricidad.

Por otro lado, a un precio constante de la electricidad de 80€/MWh, los costes de producción aumentan exponencialmente con el incremento del precio del CO<sub>2</sub>. Lo que refleja la dependencia de esta ruta del precio del CO<sub>2</sub> debido al uso significativo de gas natural, que contribuye a las emisiones.

Y es que, aunque la ruta EAF-DRI con gas natural presenta una reducción en las emisiones de CO<sub>2</sub> comparada con la ruta BF-BOF, sigue siendo dependiente del precio de la electricidad y del CO<sub>2</sub>, debido al uso de gas natural. Por ello, reducir o eliminar el uso de gas natural, sustituyéndolo por hidrógeno verde, supondría una importante disminución en los costes de producción y una mejora igual de significativa en el perfil ambiental de esta alternativa.

**El coste de producción para un precio de la electricidad de 80€/MWh y un precio del CO<sub>2</sub> de 130€/t es de 821€/t.** Este valor es un 43% mayor que el del subescenario 1A debido a varias cuestiones, entre las que se encuentran el gasto de capital (CAPEX) por la inversión en la compra del EAF y del horno de eje para la producción de DRI; mientras las emisiones de CO<sub>2</sub>, que a un precio de 130€/t, sigue siendo significativas y solo se han reducido un 30%; al gasto añadido que supone la alta cantidad de gas natural que se requiere para el proceso de obtención del DRI; así como al aumento de electricidad que supone esta ruta en relación con la ruta BF-BOF, pasando de 0,536MWh a 1,23 MWh.

A pesar de este aumento del coste productivo, la opción EAF-DRI supone un paso importante en la reducción de emisiones, no sólo por la caída del 30% de las mismas, sino también por dos cuestiones más: por un lado, variaciones en esta ruta permiten reducir el coste económico y las emisiones de CO<sub>2</sub>; y por otro lado, puede constituir un paso intermedio hacia la sustitución del gas natural por el hidrógeno verde, subescenario que se plantea más adelante en este documento, y que muestra una clara reducción no solo de las emisiones de CO<sub>2</sub> sino también del coste productivo del proceso.

### **Escenario 2A: EAF-DRI-GAS NATURAL con un 50% chatarra y 50% DRI**

**Introducir un 50% de chatarra (0,536t) en esta ruta productiva del acero permite reducir:**

- Al 50% la carga de pellets de mineral de hierro para fabricar el DRI (0,738t), así como el gas natural requerido en dicho proceso (2,3 MWh).
- Un 21% de las emisiones de CO<sub>2</sub>: 1,1t
- Un 12% de la electricidad requerida: 1.0745MWh.
- **Un 22% los costes de producción<sup>33</sup>: 643€/t.**

La introducción de chatarra reduce el coste productivo de esta ruta, a pesar de tener en cuenta un precio de la chatarra de 450€/t, que como ya se ha explicado en el escenario 1B, es un precio bastante alto. Si el precio de la chatarra estuviese a 300€/t, el coste productivo de esta ruta EAF-DRI-GAS NATURAL con un 50% de chatarra sería de 562€/t, un 31% más bajo que mediante la ruta con 100% DRI.

<sup>33</sup>. Estimados mediante una función lineal en vez de cuadrática al no disponer de los datos de los costes de producción concretos de esta variante de la ruta. Lo mismo sucede con el resto de variantes presentadas a continuación.

## Escenario 2A: EAF-DRI-GAS NATURAL en el que se compra el DRI en vez de producirlo en la planta

Aunque la producción de DRI en la propia planta es una práctica establecida, la compra de DRI puede ofrecer flexibilidad y reducir los costes operativos, especialmente si se logra asegurar un suministro seguro y competitivo. Actualmente no es algo que se haya generalizado, pero sí algo que se está valorando seriamente.

Comprar DRI en vez de producirlo permite reducir:

- Un 55% el gasto en capital, al no necesitarse el horno de eje que produce el DRI: 17,73€/t/año<sup>34</sup>.
- Un 66% las emisiones directas del proceso productivo al no requerirse el uso de gas natural y reducirse el uso total de electricidad: 0,47t<sup>35</sup>.
- Un 16% el uso de electricidad: 1,03 MWh<sup>36</sup>.

Sin embargo, mantener el uso de 1,504t de DRI para producir una tonelada de acero, genera un efecto contrario en el coste de producción a las reducciones presentadas, puesto que el precio de compra del DRI no es bajo. Teniendo en cuenta un precio del DRI para 2030 de 250€/t<sup>37</sup>, y junto con el resto de las variables, **la ruta EAF-100%DRI comprando el DRI, en vez de produciéndolo, supone unos costes de fabricación de 537€/t, un 34% menos.** Este coste de producción es altamente dependiente del precio del DRI. Así, en el caso de que el coste del DRI fuese de 400€/t, el gasto de producción aumentaría hasta los 763€/t. Por ello, a pesar de las ventajas de esta opción en cuanto a costes de producción y reducción de emisiones directas, su alta dependencia de un poco consolidado mercado de DRI, cuya alta volatilidad previsiblemente se mantendrá hasta el año 2030, la convierte en una alternativa bastante arriesgada y podría comprometer la constancia del proceso de producción del acero.

### Escenario 2A: EAF-DRI con un 50% de chatarra y el DRI comprado

Si se tiene en cuenta una unión de las dos variantes anteriores, entonces las variables a tener en cuenta serían las siguientes: 0,68t de CO<sub>2</sub>, 0,738t DRI comprado, 0,536t de chatarra, CAPEX del EAF y 1,03 MWh de electricidad.

Las emisiones son menores que en el escenario principal por el hecho de comprar el DRI, sin embargo, el uso de chatarra también compensa esa caída, y no se están teniendo en cuenta las emisiones derivadas del proceso de compra de DRI, que, aunque son indirectas, podrían aumentar el precio.

**El coste de producción de la ruta EAF-DRI con un 50% de chatarra y el DRI comprado, con un precio de la chatarra de 450€/t y un precio del DRI de 250€/t, ronda los 614€/t.** Si el precio de la chatarra fuera más bajo, de 300€/t, entonces el coste de producción sería de 534€/t; pero si el precio del DRI fuese mayor, de 400€/t, entonces los costes de producción ascenderían hasta 725€/t.

Todos estos datos demuestran una alta sensibilidad de esta alternativa al precio de la chatarra, así como al precio del DRI, lo que pone en alto riesgo la constancia y seguridad del proceso productivo.

<sup>34</sup>. El CAPEX del EAF es de 184€/t, aplicando una vida útil de 15 años y una tasa de capital del 5%, el flujo anualizado el CAPEX total es de 17,73€/t. Fuente: Arias et al. (2022).

<sup>35</sup>. No se tienen en cuenta las emisiones asociadas a la compra del DRI, solamente las del propio proceso productivo.

<sup>36</sup>. Aunque se elimina el uso de electricidad que supone el horno de eje que produce el DRI, se produce un ligero aumento de la electricidad requerida en el EAF debido a que no se precalienta el DRI.

<sup>37</sup>. El mercado del DRI no está desarrollado, por lo que para obtener un precio estimado de compra se ha unido el precio de los pellets de mineral de hierro con el coste de conversión de los mismos en DRI mediante gas natural en Europa. Estos datos están disponibles para los años 2022-2024, y siendo el precio de 2024 un total de 362,65€ en su última consulta, y estimando una caída de ambos precios con el paso de los años, se ha llegado a la estimación de un precio de DRI en torno a 250€/t. Sin embargo, es un mercado muy emergente del que habrá que revisar sus variaciones. Fuente: Argusmetals (2024): Directly reduced iron conversion cost excl iron ore Natural Gas Ex-Works NW Europe EUR/mt. Argusmetals (2024): Iron ore 67pc DRI pellet freight adjusted cfr Rotterdam EUR/mt.

## Escenario 2A: EAF-DRI con electricidad renovable

En general, el uso de electricidad renovable tiene dos implicaciones: por un lado, una reducción considerable de emisiones de CO<sub>2</sub>; y, por otro lado, una reducción en el precio (el precio asumido para 2030 de la electricidad no renovable es de 80€/MWh<sup>38</sup>, mientras que para la electricidad renovable se estima en 30€/MWh<sup>39</sup>).

La implementación de electricidad renovable se puede tener en cuenta tanto para el subescenario principal como para sus diferentes variantes. Lo que se tiene que considerar es que la electricidad no renovable emite 460 kg CO<sub>2</sub>/MWh<sup>40</sup>, mientras que la electricidad renovable emite 40 kg CO<sub>2</sub>/MWh<sup>41</sup>, es decir, la electricidad renovable emite un 90% menos de CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, y como se expone en el escenario 2B, la implementación de electricidad renovable en el proceso productivo no solo supone beneficios, sino también un proceso de inversión y de modificación de la infraestructura que se debe tener en cuenta en este análisis. Implementar la electricidad renovable en una planta productiva como la de la del sector siderúrgico implicaría tener en cuenta, también, un gasto de capital (CAPEX) anualizado de 61€/MWh (todos los detalles en el apartado 2B, a continuación).

### 3.2.2. Escenario 2B: EAF (100% chatarra) con electricidad renovable

Este subescenario examina el uso de electricidad renovable para alimentar EAF que operan con un 100% de chatarra, produciendo acero secundario. Este enfoque busca reducir aún más las emisiones de CO<sub>2</sub>, que por el uso de electricidad renovable pasan de 0,84 toneladas a 0,45 toneladas. La implementación de electricidad renovable en el proceso EAF implica una serie de inversiones y ajustes técnicos, pero presenta una gran oportunidad para avanzar hacia una producción de acero más limpia y eficiente, sin repercutir de manera significativa en los costes de producción.

La primera gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio del CO<sub>2</sub>, manteniendo el resto de los precios constantes, mientras se hace variar el precio del CO<sub>2</sub> desde 50€/t hasta 200€/t. La segunda gráfica ilustra la relación entre los costes de producción y el precio de la electricidad renovable, manteniendo el resto de los precios constantes, mientras se hace variar el precio de la electricidad renovable desde 10€/MWh hasta 100€/MWh. La tercera gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio de la chatarra, manteniendo el resto de los precios constantes, mientras se hace variar el precio de la chatarra desde 200€/t hasta 600€/t.

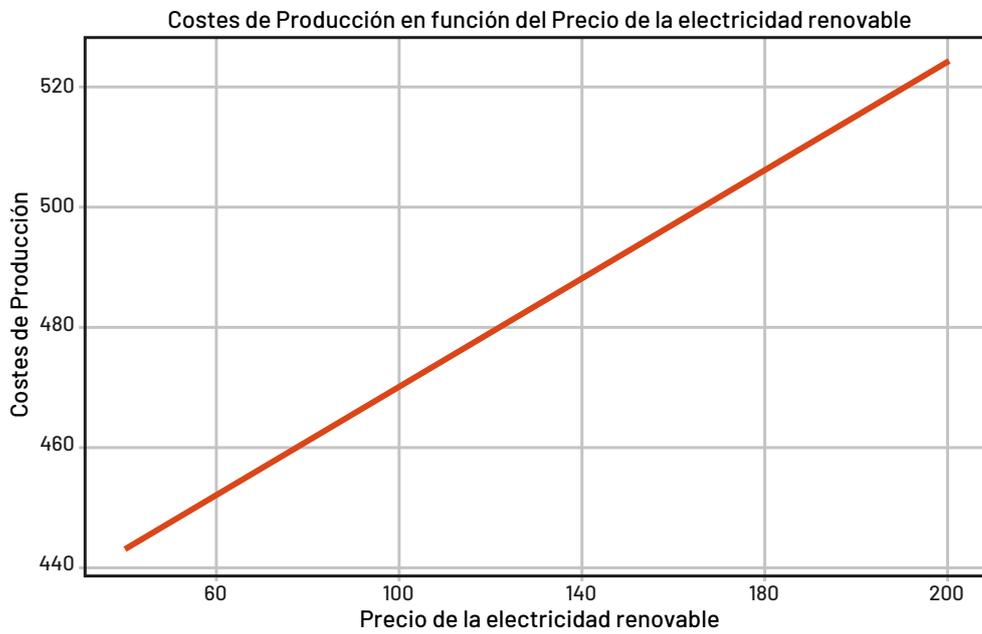
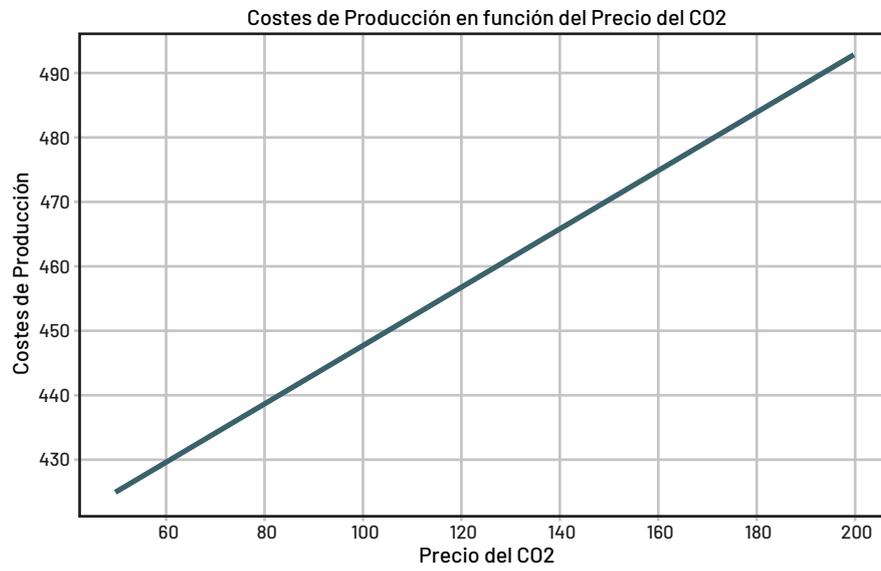
38. Estimaciones en base a los precios históricos de la electricidad en España y las proyecciones de evolución esperadas para 2030. Fuente: EUROSTAT (2024): [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_pc\\_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_price.nrg\\_pc](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_price.nrg_pc)

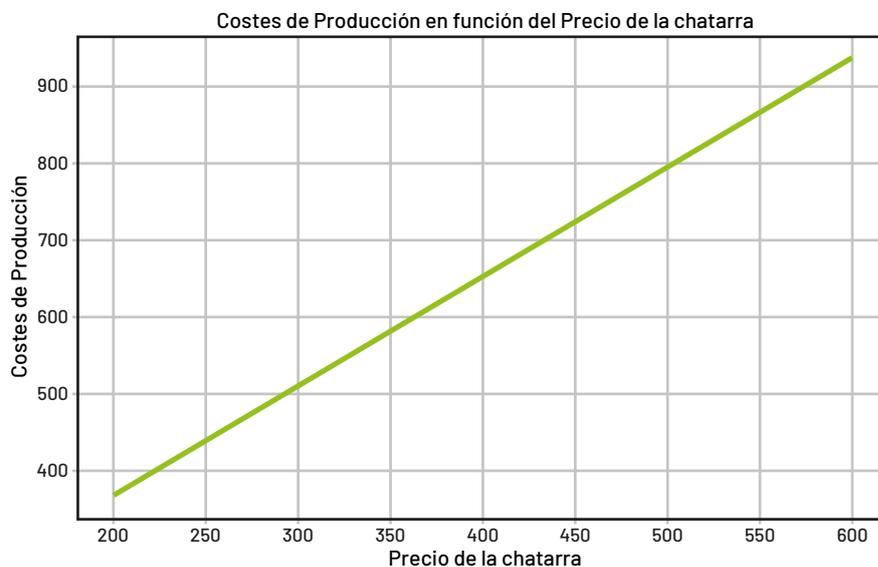
39. Estimaciones en base a los precios históricos de la electricidad renovable en España y las proyecciones de evolución esperadas para 2030. Fuentes: OMIE, REER, LevelTen Energy, Ibedrola, diferentes notas de prensa. .

40. Fan & Friedmann (2021).

41. NREL (2012). *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics*.

Schlömer S., T. Bruckner, L. Fulton, E. Hertwich, A. McKinnon, D. Perczyk, J. Roy, R. Schaeffer, R. Sims, P. Smith, and R. Wiser, (2014): Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*.





La implementación de electricidad renovable para el proceso EAF 100% chatarra reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero el precio del mismo sigue siendo determinante en el coste productivo del proceso. La ruta sigue siendo altamente dependiente del precio de la chatarra, como se puede evidenciar en las gráficas, una variación en el precio de la chatarra impacta de manera importante en los costes de producción. Mientras que **el coste de producción de esta ruta es de 461€/t**, con un precio de la electricidad renovable de 30€/MWh, del CO<sub>2</sub> de 130€/t y de la chatarra; el hecho de reducir el precio de la chatarra a 300€/t supone una caída del coste de producción hasta 355€/t.

En este subescenario es crucial evaluar el coste de la infraestructura necesaria para integrar la electricidad renovable. Esta puede llevarse a cabo mediante la instalación de fuentes de generación de energía renovable para el autoconsumo, o mediante la conexión a la red eléctrica de origen renovable. Si bien conectarse a la red eléctrica reduce las inversiones necesarias en infraestructura propia y permite una mayor flexibilidad en el suministro (puede provenir de un "mix" de fuentes renovables), también puede estar sujeta a la disponibilidad y a los costes en el mercado, así como a la estabilidad y capacidades de la red para manejar una alta demanda. Por su parte, el autoconsumo mediante la instalación de paneles solares o turbinas eólicas para generar electricidad renovable propia reduce la dependencia de la red eléctrica, otorgando más estabilidad y predictibilidad, y aunque requiere de una inversión inicial significativa para la infraestructura necesaria y puede estar limitada por factores como la disponibilidad de espacio y condiciones climáticas, la energía generada se consume directamente en la planta, lo que puede reducir los costes operativos a largo plazo y proteger contra la volatilidad de los precios de la electricidad en el mercado.

Aunque en la industria siderúrgica española se están considerando ambos métodos de integración de electricidad renovable, la tendencia actual muestra un mayor interés hacia el autoconsumo, debido a la reducción de costes que puede ofrecer, así como al control directo sobre la generación y el uso de la energía. Además, la legislación y las ayudas gubernamentales han facilitado el crecimiento de proyectos de autoconsumo en el sector industrial, incentivando a las empresas a invertir en sus propios sistemas de generación. Por ello, en este subescenario se tiene en cuenta el gasto de capital (CAPEX) de invertir en un sistema de generación de electricidad renovable mediante paneles fotovoltaicos, así

como de baterías de almacenamiento de energía. Se ha tenido en cuenta el coste total de la instalación fotovoltaica (construcción, instalación y puesta en marcha)<sup>42</sup> y el coste de una batería de almacenamiento de ion-litio de 4 horas<sup>43</sup>.

A pesar de la inversión económica que supone la incorporación de electricidad renovable al proceso productivo, su uso ofrece beneficios a largo plazo en términos de reducción de emisiones y potencialmente menores costes operativos debido a la estabilidad y al menor importe de los precios de la electricidad renovable a lo largo del tiempo. Haciendo una comparativa entre los subescenarios 1B y 2B, se destaca la diferencia clave en la fuente de electricidad y la inversión necesaria para dicha transición. Mientras que el escenario 1B depende de la electricidad no renovable sin requerir inversiones en CAPEX, el subescenario 2B implica la implementación de electricidad renovable con una inversión inicial considerable. De hecho, el escenario 2B en el que se utiliza electricidad renovable, a pesar de tener en cuenta el CAPEX anualizado, supone un coste productivo un 30% menor que el escenario 1B. Por esto, aunque la instalación de electricidad renovable en el proceso productivo del acero mediante EAF empleando 100% chatarra suponga un gasto de capital en la infraestructura necesaria, ésta compensa en términos económicos y medioambientales.

### 3.3. Escenario 3: uso del hidrógeno verde en un EAF-DRI con electricidad renovable

El enfoque principal de este escenario es la sustitución del gas natural por hidrógeno verde en el proceso de obtención de DRI y la integración de la electricidad renovable; por lo que plantea un paso más, y determinante, a la ruta planteada en el escenario anterior. Se plantean dos variantes, por un lado, la introducción de un 50% de chatarra para reducir el consumo de DRI, y por otro, la decisión de comprar el hidrógeno verde en vez de producirlo internamente en la planta. Se analiza la viabilidad económica y ambiental de cada una de estas opciones.

El proceso productivo planteado comienza con la producción de hidrógeno verde mediante electrólisis en un electrolizador, que utiliza electricidad renovable. Este hidrógeno verde se utiliza como reductor en el horno de eje para producir DRI. El DRI es el insumo principal que se introduce en el EAF, también alimentado exclusivamente con electricidad renovable, para la producción de acero.

Este enfoque no solo maximiza la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que también aprovecha al máximo las fuentes de energía limpia disponibles, asegurando una producción más sostenible y eficiente. La combinación de estos procesos asegura que la producción de acero sea altamente eficiente desde el punto de vista energético y ambiental, alineándose con los objetivos de descarbonización a largo plazo.

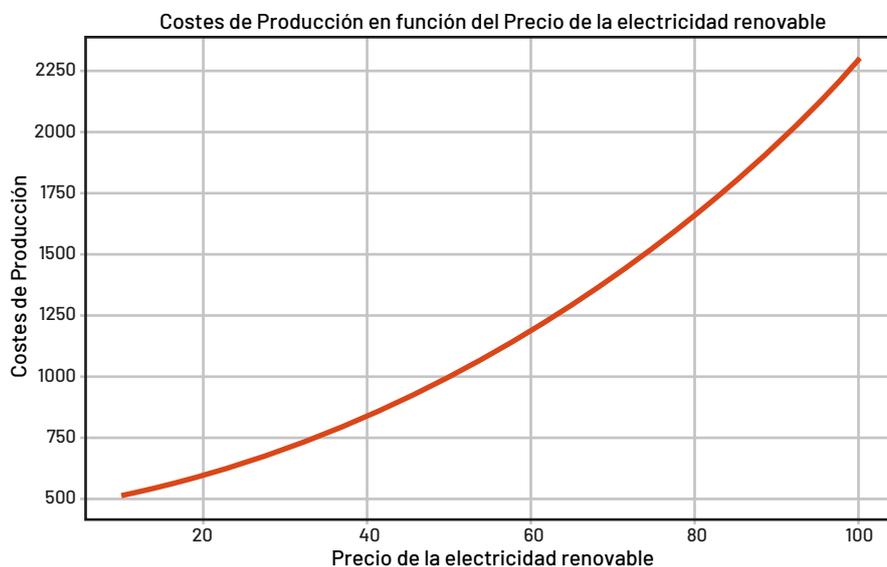
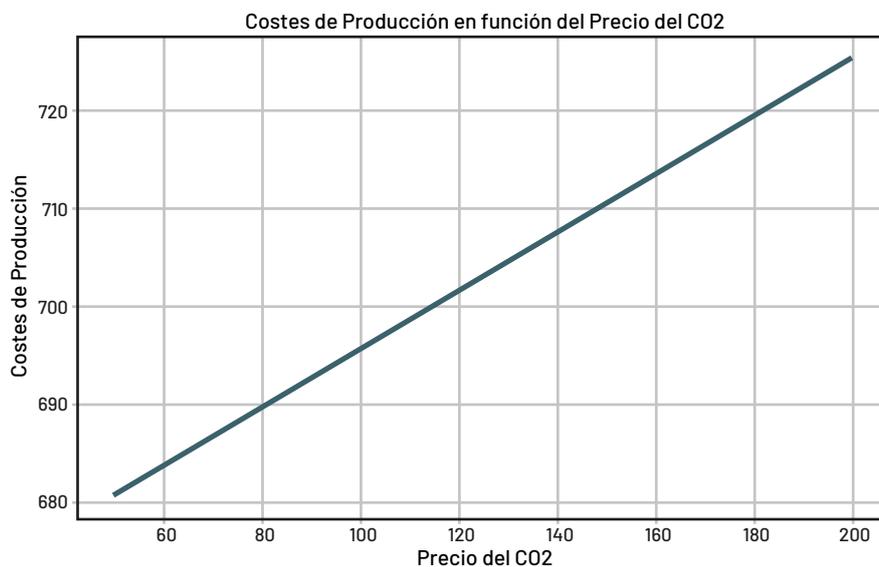
---

<sup>42</sup>. Según IRENA (2022), este coste es de 8.76\$/kw, es decir, 779,64€/kw. Considerando un factor de capacidad medio para instalaciones fotovoltaicas del 20% y 8.760 horas de funcionamiento al año, así como la conversión a €/MWh, se obtiene el coste de 445€/MWh. Con una vida útil de 25 años y una tasa de descuento del 5%, el CAPEX anualizado de la instalación de generación de energía renovable es de 31,57€/MWh/año.

<sup>43</sup>. Según NREL (2023), este coste es de 326\$/kw, es decir, 290€/kw. Considerando un factor de capacidad medio para baterías de almacenamiento de energía del 25%, una duración de descarga de 4 horas y un ciclo anual de descarga de 300 días, así como la conversión a €/MWh, se obtiene el coste de .2410,78€/MWh. Con una vida útil de 10 años y una tasa de descuento del 5%, el CAPEX anualizado de la batería de almacenamiento es de 29,36€/MWh/año.

### 3.3.1. EAF-DRI-hidrógeno verde

La primera gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio del CO<sub>2</sub>, con un precio de la electricidad renovable de 30€/MWh, mientras se hace variar el precio del CO<sub>2</sub> desde 50€/t hasta 200€/t. La segunda gráfica ilustra la relación entre los costes de producción y el precio de la electricidad renovable, haciendo variar el precio de la electricidad renovable desde 10€/MWh hasta 100€/MWh.



Como se puede observar en la gráfica anterior, que varía desde 500€/t hasta 2.250€/t, este escenario es altamente dependiente del consumo de electricidad, y por lo tanto de su precio. Sin embargo, las emisiones de CO<sub>2</sub> son muy bajas, por lo que se refleja poca sensibilidad del coste de producción ante variaciones del precio del CO<sub>2</sub>. **Para un precio de la electricidad renovable de 30€/MWh el coste de producción es de 704€/t**, mientras que si el precio de la electricidad renovable ascendiera hasta los 60€/MWh el coste de producción se elevaría hasta los 1.205€/t. Sin duda esta es la ruta más sensible al precio de la electricidad, por su alto consumo debido, en gran medida, al electrolizador que produce el

hidrógeno verde. Esto no hace sino más latente la necesidad de acceder a un precio estable y bajo de la electricidad renovable. Sin embargo, a pesar de esta alta sensibilidad y un notable coste productivo, la ruta emite casi un 80% menos de CO<sub>2</sub>, y si el precio de la electricidad renovable es de 30€/MWh, el coste de producción es más bajo que el del escenario 2A, en el que se empleaba gas natural para producir acero mediante un EAF empleando 100% DRI, a pesar de estar teniendo en cuenta también, para el caso de este escenario 3, el gasto de capital del electrolizador y de la electricidad renovable, así como unos costes variables operativos, junto al correspondiente gasto de capital en EAF y el horno de eje.

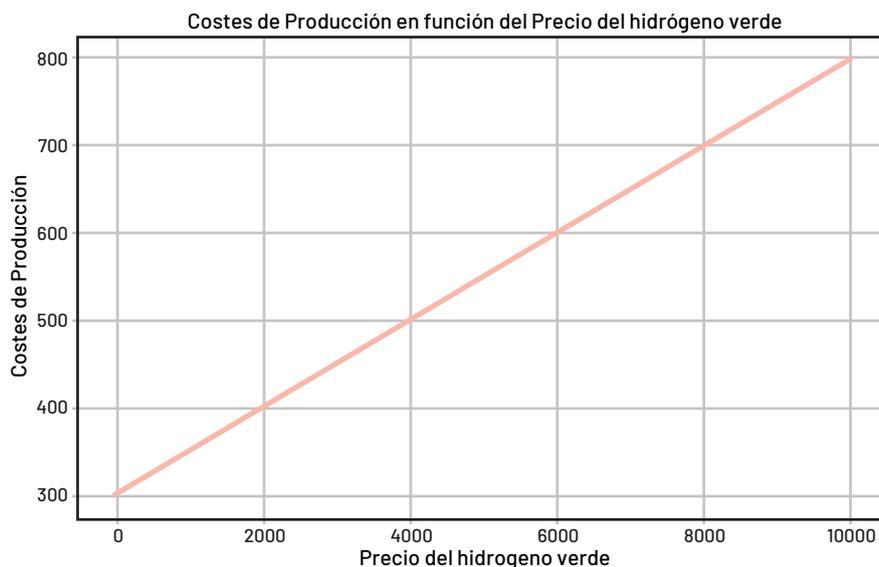
### Escenario 3: EAF-DRI con hidrógeno verde comprado y no producido en la planta

El hecho de comprar el hidrógeno verde en vez de producirlo in situ elimina la necesidad de la inversión inicial en el electrolizador, reduciendo también el consumo de electricidad, por lo que también reduce el impacto del gasto de capital asociado a la instalación del sistema de generación de energía renovable; sin embargo, introduce una nueva variable en la función: el precio del hidrógeno verde.

El mercado de este gas se encuentra en desarrollo, lo que hace difícil establecer un precio actual para el mismo. Las oscilaciones actuales se basan en un precio del hidrógeno entre 4€/kg y hasta 10€/kg<sup>44</sup>, sin embargo, "en los resultados de la primera subasta del Banco Europeo del Hidrógeno, el precio medio de producción de los proyectos de España es de 5,8€/kg"<sup>45</sup>. Lo que sí está más claro es que, precisamente todo el proceso de descarbonización y la posición estratégica que busca tener España en el sector podrá reducir ampliamente el precio del hidrógeno a medio y largo plazo, estimándose hasta por debajo de los 2€/kg<sup>46</sup>.

La siguiente gráfica muestra la relación entre los costes de producción y el precio del hidrógeno verde, haciéndolo variar desde 0€/t hasta 10.000€/t, es decir, desde 0€/kg hasta 10€/kg.

Es importante tener en cuenta que una función lineal no describe con la misma fidelidad el impacto de la variable sobre los costes de producción que como lo hace una función cuadrática, de modo que, si se pudiese emplear en una función de este tipo para el supuesto que nos ocupa, el efecto que mostraría



44. HidrógenoVerde (2021). <https://hidrogeno-verde.es/coste-del-hidrogeno-verde/>  
PWC (2023). <https://ideas.pwc.es/archivos/20230519/asi-sera-el-mercado-del-hidrogeno-verde/>

EEX (2024). <https://www.eex-transparency.com/hydrogen/germany>

45. ELPAÍS (2024). <https://elpais.com/proyecto-tendencias/2024-07-17/hidrogeno-verde-para-un-transporte-sostenible-por-tierra-mar-y-aire.html>

Comisión Europea (2024). [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_24\\_2333](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_24_2333)

46. GREEN HYDROGEN CATAPULT (2024): <https://greenh2catapult.com/>

IEA (2023). *Global Hydrogen Review 2023*.

sería mayor.; Por esto, no se puede hacer una comparativa exacta con la ruta principal de este escenario, en la que se plantea la producción interna del hidrógeno verde.

**Para un precio del hidrógeno verde de 1.800€/t, los costes de producción serían de 392€/MWh; sin embargo, subir el precio del hidrógeno verde a 5.000€/t implica un aumento en los costes de producción hasta 552€/t, y subirlo hasta 8.000€/t implica un aumento hasta 702€/t del coste de producción.** Sin duda se puede apreciar el impacto del precio del hidrógeno sobre esta ruta, pero también se puede observar, de nuevo, es la gran importancia que tiene la electricidad en este planteamiento, pues al comprar el hidrógeno en lugar de producirlo, se reduce en un 67% el consumo de electricidad, lo que se refleja claramente en los costes productivos.

Al generar hidrógeno verde internamente, la planta tiene un control total sobre el suministro, lo que disminuye la dependencia de proveedores externos y minimiza el riesgo de interrupciones por causas ajenas; además, ofrece una mayor estabilidad de costes a largo plazo, ya que los precios del hidrógeno en el mercado pueden ser volátiles, y el coste de producción puede ser optimizado con el tiempo a medida que se mejora la eficiencia del electrolizador y se reduce el coste de la electricidad renovable. Desde un punto de vista medioambiental, la integración completa de la producción de hidrógeno verde en la planta siderúrgica puede mejorar el perfil de sostenibilidad de la empresa y la inversión en esta tecnología puede otorgar a la empresa ventajas competitivas en el mercado. Sin embargo, está claro que la instalación de electrolizadores y la infraestructura asociada requiere de una inversión de capital significativa, y que, si el precio de la electricidad renovable aumenta, los costes operativos pueden ser altamente elevados.

Comprar el hidrógeno verde elimina la necesidad de inversión de capital para producirlo, simplifica la operación de la planta y flexibiliza la operatividad al poder adaptarse rápidamente a cambios en la demanda y ajustar las cantidades de hidrógeno según las necesidades de la producción. Pero también implica una alta dependencia de proveedores externos, algo arriesgado en caso de fluctuaciones del suministro o aumentos en los precios, puesto que el mercado del hidrógeno verde todavía es altamente volátil, no es maduro y no se puede determinar al 100% como va a evolucionar a largo plazo.

### **Escenario 3: EAF-DRI-HIDRÓGENO VERDE con un 50% chatarra y 50% DRI**

**Introducir un 50% de chatarra (0,536t) en esta ruta productiva del acero permite reducir:**

- Al 50% la carga de pellets de mineral de hierro que producen el DRI (0,738t), así como el hidrógeno verde requerido en dicho proceso (25kg).
- Un 38% de la electricidad requerida en el proceso productivo: 2,3 MWh.
- **Un 6% los costes de producción<sup>47</sup>: 659€/t.**

Sin embargo, aumenta un 33% las emisiones de CO<sub>2</sub> (0,4), pues, aunque se reduce el consumo de electricidad, se tienen en cuenta las emisiones de CO<sub>2</sub> que supone el uso de chatarra. Si bien es cierto que el aumento es de +0,1t.

La introducción de chatarra reduce el coste productivo de esta opción, a pesar de tener en cuenta un precio de la chatarra de 450€/t, que como ya se ha explicado anteriormente, es un precio bastante elevado. Si el precio de la chatarra estuviese a 300€/t, el coste productivo sería de 578€/t, un 18% más bajo que mediante la variante con 100% DRI. Sin embargo, la caída más significativa se da cuando se tiene en cuenta un precio de la electricidad renovable de 60€/MWh, puesto que mediante esta ruta en la que se emplea chatarra, el coste productivo es de 728€/t, un 40% menos que en la ruta 100% DRI cuando el precio de la electricidad renovable se subía también a 60€/MWh.

<sup>47</sup>. Estimados mediante una función lineal al no disponer de los datos de los costes de producción concretos de esta ruta ni de sus variantes.

Con esto, la introducción de chatarra tiene un gran impacto en esta opción tan dependiente de la electricidad porque el uso de chatarra reduce, precisamente, la necesidad de electricidad.

### **Escenario 3: EAF-DRI y la transición de utilizar gas natural a hidrógeno verde**

El proceso de producción de DRI en el horno de eje utilizando gas natural puede adaptarse para incluir hidrógeno verde. Este reemplazo se puede llevar a cabo hasta en un 30% sin realizar cambios en el proceso, aunque para una sustitución completa se requerirían modificaciones amplias.

La utilización de hidrógeno verde puede eliminar una cantidad significativa de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas con la fabricación del DRI: el uso de 100% hidrógeno verde reduce las emisiones a 142,8 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de acero frente a los 522 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de acero que supone el empleo del gas natural<sup>48</sup>.

El hidrógeno verde puede sustituir al gas natural en una proporción de 3:1 (3 m<sup>3</sup> de hidrógeno verde por 1 m<sup>3</sup> de gas natural). La calidad del hidrógeno y su pureza son factores determinantes para garantizar su eficacia. La etapa de precalentamiento y otros tratamientos previos a los que se tenga que someter el hidrógeno también dependerán tanto de esa calidad como de la cantidad utilizada.

La transición de gas natural a hidrógeno verde en la producción de DRI es técnicamente factible y ambientalmente beneficiosa. A pesar de los costes iniciales asociados con la modificación de la infraestructura y la producción de hidrógeno verde, la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> hace que la inversión sea valiosa a largo plazo. Además, esta transición puede posicionar a la industria siderúrgica a la vanguardia de la sostenibilidad.

### **Escenario 3: EAF-DRI-HIDRÓGENO VERDE y cómo afectan al CAPEX los diferentes puntos de partida**

El punto de partida desde el que se comienza la transición hacia el uso de hidrógeno verde y electricidad renovable en el proceso de producción del acero influye directamente en el coste de capital necesario para implementar las nuevas tecnologías.

La transición desde los altos hornos (BF-BOF, escenario 1A) hasta la producción en hornos de arco eléctrico con DRI e hidrógeno verde (EAF-DRI-HIDRÓGENO VERDE, escenario 3) es la más extrema y requiere de una transformación de la planta de manera completa, desde un proceso tradicional basado en carbón a un proceso moderno basado en hidrógeno y electricidad renovable. En este caso, el CAPEX debe comprender la instalación del EAF, del horno de eje para la producción de DRI, del electrolizador para la producción de hidrógeno, el sistema de generación de electricidad renovable y de la batería de almacenamiento. En total, el CAPEX requerido para pasar de BF-BOF a EAF-DRI-HIDRÓGENO VERDE es de 61€/t/año más 61€/MWh/año.

Sin embargo, si primero se da un paso desde la ruta BF-BOF (escenario 1A) a la ruta EAF-DRI-GAS NATURAL (escenario 2A), y años después de termina de pasar a la ruta con hidrógeno verde (escenario 3), además de la electricidad renovable, el gasto de capital necesario se reparte en momentos del tiempo diferentes. Además, el desarrollo tecnológico para la primera parte de la transición es mucho mayor que para la segunda, por lo que tendría sentido hacerlo en dos partes, asegurando la inversión y la producción.

Si, por otro lado, se parte desde la ruta EAF en el que se emplea 100% chatarra (EAF-100% CHATARRA, escenario 1B) o desde la misma ruta, pero con electricidad renovable (escenario 2B), el gasto de capital necesario es inferior a los puntos anteriores. Para pasar desde EAF-100% CHATARRA a

<sup>48</sup>. No se está teniendo en cuenta en la cuantía las emisiones que provienen del uso de electricidad: del horno de eje, del horno de arco eléctrico, ni del electrolizador, en su caso.

EAF-DRI-HIDRÓGENO VERDE, se tiene que invertir en el horno de eje para la producción de DRI y en el electrolizador, así como en el sistema de generación de electricidad renovable, esto es, 43€/t/año más 61€/MWh/año; mientras que, si se parte del escenario 2B en el que la electricidad renovable ya forma parte del proceso productivo, sería necesaria la primera parte de la inversión: 43€/t/año.

En base a esto, el punto de partida es crucial para determinar el CAPEX necesario para llegar a la producción de acero en un EAF con DRI a base de hidrógeno verde y utilizando electricidad renovable. Los costes de capital varían significativamente dependiendo de la infraestructura existente y la tecnología utilizada, la elección de cuándo y cómo hacer la transición es determinante no solo desde un punto de vista técnico y medioambiental, sino también económico. Adoptar una estrategia escalonada puede permitir a las empresas gestionar mejor los riesgos y los costes asociados con la implementación de nuevas tecnologías, facilitando la adaptación del personal y la optimización de los procesos y, minimizando la disrupción operativa. Esta aproximación no es solo financieramente prudente, sino que también promueve una transición más sostenible y manejable hacia la producción de acero con bajo impacto ambiental.



## 4. Análisis de la posible evolución del empleo en el sector siderúrgico en España a partir de los escenarios planteados

Uno de los aspectos más críticos en la transformación de la industria siderúrgica española hacia la descarbonización es su impacto en el empleo. El éxito en la transición hacia un modelo más sostenible dependerá en gran medida de la capacidad de la industria y de las políticas públicas para gestionar esta transformación de manera justa y equitativa, asegurando que las personas trabajadoras sean apoyadas y que se creen oportunidades de empleo en los sectores emergentes, al tiempo que se mantienen en el propio sector. En este contexto, a partir de los tres escenarios planteados en el apartado anterior es posible identificar diferentes implicaciones para el empleo, en función del rumbo que tomen las decisiones políticas y empresariales.

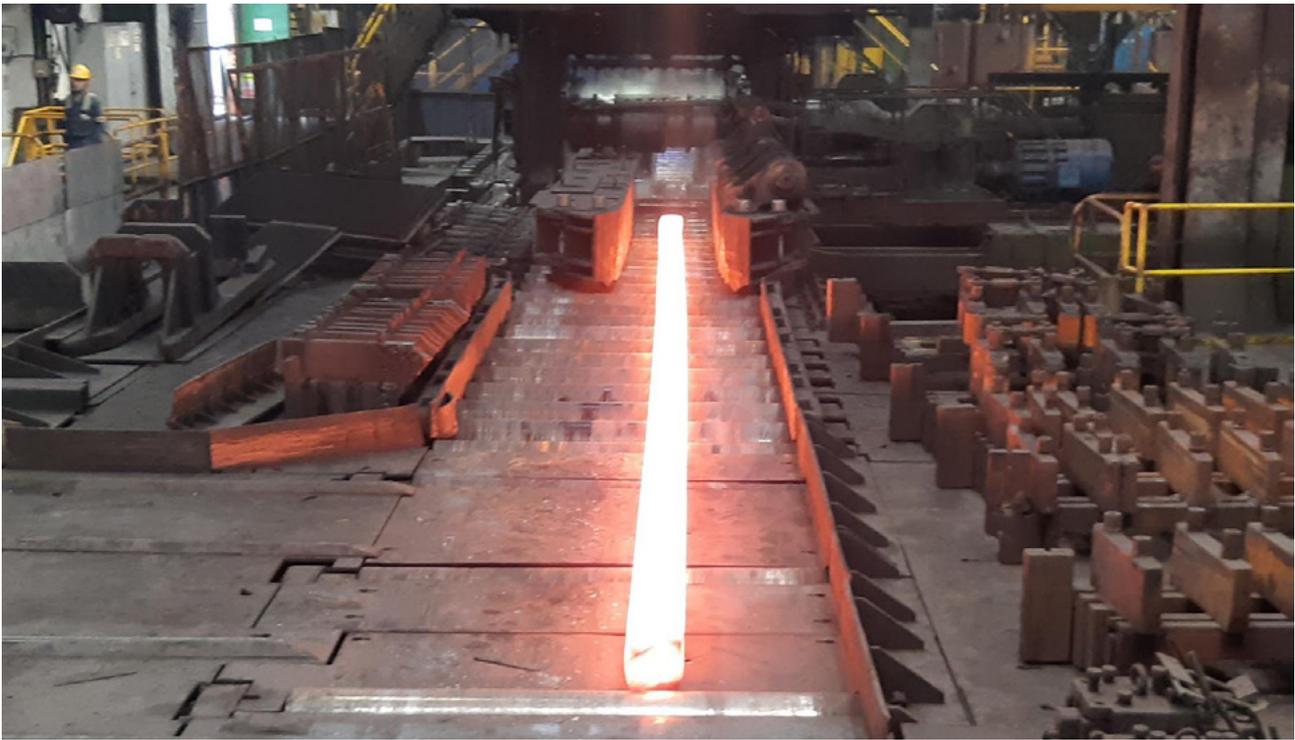
**En el primer escenario**, la continuidad de las tecnologías actuales ofrece una estabilidad a corto plazo, pero supone riesgos significativos de competitividad y sostenibilidad a largo plazo, que afectan al empleo. El mantenimiento de las tecnologías tradicionales garantiza la seguridad laboral a corto plazo, evitando cambios radicales en los procesos productivos, pero supone un riesgo importante. Las tecnologías contaminantes se volverán cada vez más costosas debido al aumento de los precios del CO<sub>2</sub> y de la electricidad no renovable, reduciendo la competitividad frente a alternativas más sostenibles. Las empresas que continúen utilizando altos hornos podrían volverse menos competitivas, afectando a la demanda y, en consecuencia, al volumen de empleo. Sin modernización y sustitución de las plantas de producción, estas compañías enfrentarán dificultades para adaptarse a nuevas normativas ambientales, lo que en último término podría llevar al cierre de plantas y con ello, a una pérdida total de los puestos de trabajo.

Además, este escenario puede llevar, y de hecho ya lo está haciendo, a acentuar el fenómeno de deslocalización de la producción hacia países fuera de Europa, donde las regulaciones ambientales son más laxas. La deslocalización ha sido un concepto teórico ampliamente estudiado en la historia de la industria<sup>49</sup>, y los recientes movimientos de inversión de los grandes grupos siderúrgicos<sup>50</sup> muestran que se trata de una práctica en plena vigencia. Este desplazamiento de la producción es un riesgo real, y uno de los efectos más dañinos de no implementar una estrategia de descarbonización. La deslocalización no solo implica la pérdida de empleos locales, sino también la pérdida de conocimiento técnico y capacidades productivas que, una vez trasladadas a otros países, es difícil recuperar. Puede parecer una opción racional desde el punto de vista económico para las empresas que buscan maximizar beneficios, pero sus efectos en las economías locales y nacionales son devastadores, sobre todo en términos de empleo. Además, plantea dilemas para los gobiernos, que deben equilibrar las políticas de atracción de inversiones con la necesidad de proteger el empleo nacional y cumplir con los objetivos climáticos. En el caso de no desarrollar estrategias claras y efectivas de descarbonización, España podría verse más vulnerable ante este fenómeno, lo que provocaría no solo una pérdida de puestos de trabajo, sino también una disminución de la capacidad industrial nacional, afectando a largo plazo a la competitividad del país.

---

**49.** La teoría de la deslocalización industrial hace referencia al traslado de actividades productivas desde países con altos costes de producción a países donde dichos costes son mejores, generalmente debido a una menor regulación ambiental, laboral o fiscal. Este concepto se ha vuelto central en los debates sobre la globalización y la competitividad industrial, ya que las empresas buscan maximizar beneficios reduciendo los gastos asociados a la producción.

**50.** La deslocalización también está estrechamente relacionada con las decisiones de inversión que toman las grandes multinacionales. Por ejemplo, en la actualidad, ArcelorMittal, uno de los principales actores de la industria siderúrgica mundial, y el único que opera con altos hornos en España, ha estado realizando movimientos de inversión fuera de Europa, lo que ejemplifica este fenómeno. La empresa ha optado por desarrollar proyectos y plantas en países donde los costes de operación son más bajos y las exigencias ambientales menos estructurales. En lugar de acometer las inversiones necesarias para modernizar todas sus instalaciones europeas y adaptarlas a los requisitos de descarbonización, ha encontrado una mayor rentabilidad en expandir sus operaciones en regionales con normativas más flexibles.



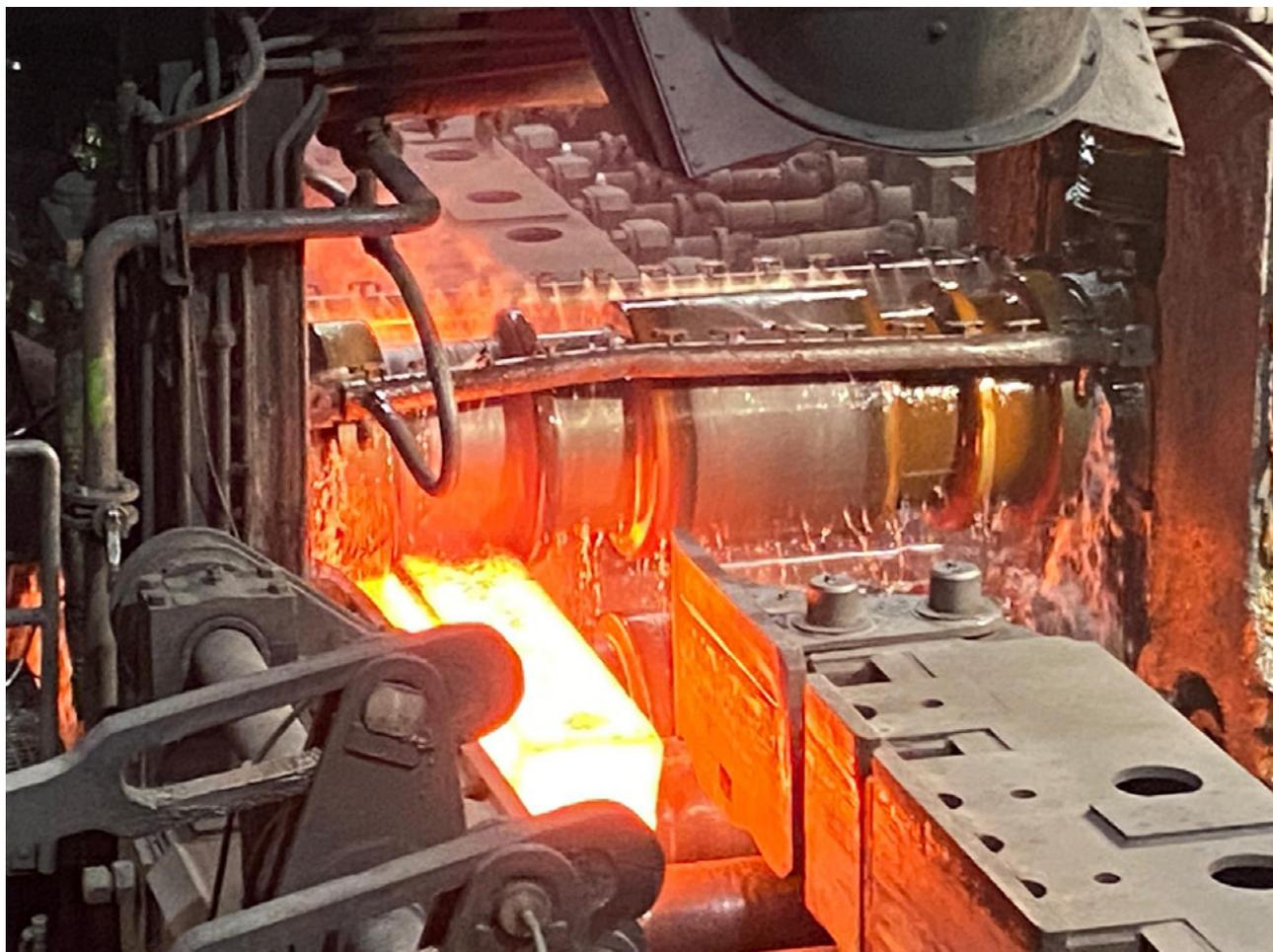
**El segundo escenario** propone una transición intermedia en el sector siderúrgico, donde uno de los cambios más significativos es el paso de la ruta BF-BOF a la ruta EAF. Este cambio conlleva una considerable pérdida de empleo, principalmente por la menor capacidad productiva de la vía EAF. La ruta BF-BOF, opera a mayor escala, y su proceso es más complejo (incluye etapas como la coquización y la sinterización) por lo que demanda más mano de obra. El reemplazo por la ruta EAF simplifica la producción, pero reduce drásticamente la necesidad de trabajadores en fábrica. La eliminación de procesos completos y la reducción de la cantidad de materias primas necesarias (como el carbón), supone la pérdida de una parte de la fuerza laboral asociada a estas actividades. El cambio de ruta siderúrgica es uno de los mayores desafíos laborales dentro de la descarbonización de esta industria. Los empleados que anteriormente operaban los altos hornos deberán adquirir nuevas competencias para poder manejar los hornos de arco eléctrico, que requieren habilidades distintas, particularmente en lo que respecta a la operación y mantenimiento de tecnologías más avanzadas. Esta formación o reciclaje profesional será fundamental para garantizar la continuidad laboral de una parte de la fuerza de trabajo, aunque no todos los empleados podrán beneficiarse de ella. La adquisición de nuevas competencias y habilidades supone un desafío que habrá que abordar desde los distintos ámbitos de actuación. Aquellos trabajadores que logren adaptarse a las nuevas tecnologías deberán familiarizarse con procesos más automatizados y con mayor dependencia de la electricidad renovable. Las pirámides de edades de las plantillas juegan un papel crucial para entender las implicaciones y la viabilidad de este reentrenamiento<sup>51</sup>.

En el caso de la única planta de siderurgia integral existente en España, propiedad de Arcelor Mittal, la pirámide de edad de los trabajadores concentra casi el 75% de la plantilla en los rangos de 35 a 54 años. A esas edades muchos trabajadores ya han desarrollado competencias específicas y una especialización considerable en las tareas propias de los altos hornos. En los escenarios donde se sustituirán los altos hornos por EAF, estos trabajadores serán los más afectados, ya que se verán forzados a adaptarse a nuevas tecnologías y sistemas de producción. Sin embargo, debido a su edad y experiencia, podrían ser los más adecuados para beneficiarse de programas de reciclaje profesional que les permitan adaptarse a las nuevas exigencias del sector. Esta adaptación dependerá de la calidad y la eficacia de los programas de formación que se implementen, así como de la disposición de los trabajadores a apren-

<sup>51</sup>. La información que se ha podido tener en cuenta incluye datos de empleo de ArcelorMittal del año 2022 diferenciando entre la plantilla de Asturias, Sagunto, Sestao y Gipuzkoa, pero sin diferenciar entre puestos de trabajo; datos de empleo de oficiales y sideros de Galvacolor Jerez; y datos de empleo de sideros, oficiales, oficiales de mantenimiento y peones ordinarios de Sidenor. El cómputo total de personal asciende a poco más de 14.000 personas trabajadoras, lo que se corresponde tan solo con una parte del empleo total de la siderurgia de España, tomado como muestra.

der nuevas habilidades en esta etapa de sus vidas. El rango de más de 55 años representa el 16% de la plantilla aproximadamente. En este grupo etario las personas se encuentran en una etapa avanzada de sus carreras, lo que plantea un reto considerable en términos de formación y adquisición de nuevas capacidades. La proximidad a la jubilación podría desincentivar a muchos de estos empleados a adaptarse a las nuevas tecnologías, especialmente si esto implica aprender competencias completamente nuevas o asumir riesgos adicionales asociados a los nuevos procesos. Para estas personas, la opción más viable podría ser una combinación de programas de prejubilación y de formación adaptados que les permitan mantenerse en el sector sin tener que asumir una reconversión completa. En la práctica, es probable que muchos de ellos opten por la prejubilación si se ofrecen los incentivos adecuados. Finalmente, los empleados más jóvenes representan el menor porcentaje de la plantilla, a pesar de ser quienes tienen la ventaja de estar en una etapa temprana de sus carreras, lo que los hace más flexibles y abiertos al aprendizaje de nuevas tecnologías y procesos y, por lo tanto, de ser los más susceptibles de beneficiarse de los programas de reentrenamiento en el caso de los escenarios de transición intermedia o avanzada.

Más allá de la plantilla vinculada a los altos hornos, un análisis más genérico en base a los datos de empleo a los que se ha podido acceder, en el sector de la siderúrgica en España el empleo se concentra en el rango de edad que va de los 35 a los 54 años, por lo que en líneas generales el análisis es el mismo que el presentado en el párrafo anterior para el caso concreto de ArcelorMittal. Por lo tanto en los escenarios que impliquen cambios significativos, este grupo se verá afectado directamente al ser el segmento más numeroso y con una trayectoria profesional consolidada, y la necesidad de capacitación en nuevas habilidades y competencias será fundamental para que puedan adaptarse a las nuevas exigencias; sin embargo, este reciclaje profesional debe ser efectivo y práctico, ya que estos empleados, aunque en edad de seguir formándose, podrían enfrentarse a barreras significativas si las nuevas habilidades requeridas son demasiado diferentes o si la capacitación no está bien estructurada; esto es, el éxito de las políticas de transición justa será crucial para integrar a este grupo en las nuevas dinámicas laborales del sector siderúrgico. Las personas trabajadoras por encima de los 55 años representan también



en torno al 16% de las plantillas, y son la parte más vulnerable ante procesos de descarbonización, ya que tienen menos incentivos para adaptarse a tecnologías nuevas y altamente especializadas, debido a la proximidad a su jubilación, por lo que se debe buscar herramientas para mitigar los efectos negativos en este grupo de edad, que podría no estar dispuesto o capacitado para reconvertirse completamente en nuevas tecnologías. Finalmente, los trabajadores por debajo de los 35 años, aunque minoritarios, son los que tienen una mayor oportunidad de formarse en las nuevas tecnologías desde una perspectiva temprana, lo que les permitirá crecer profesionalmente en un sector siderúrgico renovado y enfocado en la sostenibilidad.

El éxito para el mantenimiento del empleo en el proceso de descarbonización del sector dependerá en gran medida de la capacidad para implementar programas efectivos de reciclaje y adaptación profesional que permitan la recualificación de la mayor parte de la fuerza laboral, especialmente de aquellos en rangos de edad intermedios, quienes, por su experiencia y horizonte de vida laboral, se encuentran en una posición clave para beneficiarse de estas iniciativas. Para los trabajadores más cercanos a la jubilación, será necesario desarrollar políticas específicas que incluyan opciones de prejubilación o formación adaptada.

Además de la pérdida de empleo y la necesidad de formación en nuevas habilidades y competencias, este escenario también introduce la creación de nuevos empleos en sectores emergentes. La adopción de tecnologías como la reducción directa de hierro y el uso de electricidad renovable generarán puestos de trabajo en áreas como la gestión de infraestructuras energéticas y la operación de nuevas tecnologías de producción. También se espera que el aumento de la demanda de electricidad renovable para alimentar los procesos siderúrgicos estimule la creación de empleos en el sector de las energías renovables, particularmente en la construcción y operación de plantas solares, eólicas y de almacenamiento energético. No obstante, es crucial subrayar que estas oportunidades no reemplazarán de manera directa a los empleos perdidos en las fábricas siderúrgicas. Los nuevos puestos de trabajo, a menudo en áreas administrativas o técnicas, requieren competencias diferentes a las de los trabajadores desplazados por la desaparición de los altos hornos. Por tanto, el impacto sobre el empleo debe considerarse en su totalidad: la creación de nuevos empleos no compensa automáticamente la pérdida de puestos en el sector siderúrgico, y muchos de los trabajadores que pierden su empleo no podrán trasladarse directamente a estas nuevas oportunidades laborales.

**El tercer escenario**, el más ambicioso y transformador, ofrece oportunidades significativas en nuevos sectores verdes, pero requiere una inversión masiva en tecnología y capacitación de los trabajadores en activos en el sector y de las generaciones que se incorporan al mercado laboral. El uso de hidrógeno verde y electricidad renovable implicaría una transformación profunda en la industria, generando empleos en sectores como la producción y gestión del hidrógeno verde, así como en la instalación, mantenimiento y gestión de infraestructuras de energía renovable. Además, la implementación de estas tecnologías avanzadas crearía empleos en investigación y desarrollo, ingeniería avanzada y optimización de procesos productivos para mejorar la eficiencia y reducir costos.

Los trabajadores actuales necesitarán adquirir nuevas habilidades técnicas relacionadas con la gestión de energía, la producción de hidrógeno y la operación de plantas de DRI con hidrógeno verde. La producción de hidrógeno verde crearía nuevas oportunidades en la cadena de suministro, generando empleos en áreas como la construcción de infraestructuras de hidrógeno, el transporte, almacenamiento y la manufactura de componentes de electrolizadores. Las regiones con un fuerte enfoque en energías renovables o proyectos de hidrógeno verde en desarrollo podrían experimentar un aumento significativo en el empleo, mientras que las regiones dependientes de tecnologías convencionales podrían enfrentar desafíos económicos si no logran adaptarse rápidamente.

Ante esto, debe considerarse que el proceso de descarbonización no puede analizarse únicamente en términos netos de empleo. Si bien la sustitución del gas natural por hidrógeno verde no supone una eliminación de procesos productivos como tal, sí implica una reorganización de la mano de obra existente. Esta transición requiere una inversión considerable en la capacitación de los trabajadores, ya

que el manejo y la producción de hidrógeno, así como la adaptación de los sistemas de producción a este nuevo combustible, introducen nuevos desafíos técnicos y de seguridad. Los trabajadores deberán adquirir conocimientos sobre la gestión de energía renovable y sobre los sistemas de producción de hidrógeno, lo que representa un cambio profundo en las competencias necesarias en las plantas productivas.

Además, la automatización y digitalización asociadas a la introducción del hidrógeno verde y las tecnologías de EAF-DRI implican un cambio en la naturaleza del trabajo en las fábricas. Estos nuevos sistemas requieren menos mano de obra directa y más técnicos especializados en supervisión y mantenimiento de sistemas automatizados. Este cambio estructural, aunque puede ser positivo en términos de eficiencia y sostenibilidad, y en términos cuantitativos netos, deja a muchos trabajadores en una posición vulnerable, ya que aquellos que no logren adquirir las nuevas habilidades necesarias podrían quedar desplazados en el proceso.

Es crucial destacar que las personas que pierdan sus empleos no serán las mismas que se benefician de los nuevos puestos. Las habilidades requeridas para estos nuevos empleos suelen ser técnicas y altamente especializadas, lo que plantea una barrera considerable para los trabajadores que han dedicado su carrera a procesos industriales convencionales. Esta desconexión entre los empleos que se pierden y los que se crean implica que, aunque haya un aumento neto en el número de empleos, el impacto real en las personas existe, lo que evidencia la necesidad de políticas de reciclaje profesional y de formación en nuevas habilidades y competencias que sea efectivo y, paralelamente, apoyo estructural para los trabajadores que podrían quedar rezagados en el proceso de transformación hacia una industria más limpia y digitalizada.

**La conclusión de estos tres escenarios** planteados pasa por comprender que la transición hacia una siderurgia más sostenible y descarbonizada tiene implicaciones diversas sobre el empleo en el sector, dependiendo de las tecnologías adoptadas.

El paso de los altos hornos a los hornos de arco eléctrico representa un cambio que conlleva inevitablemente una reducción del empleo: en primer lugar, por la menor capacidad productiva de los EAF en comparación con los altos hornos y, en segundo lugar, por la eliminación de procesos intermedios como la coquización y la sinterización, lo que disminuye la necesidad de mano de obra.

En cuanto a los hornos de arco eléctrico que ya están operativos, los cambios necesarios para reducir emisiones, como la sustitución del gas natural por hidrógeno o biometano y la electrificación de los procesos, no implican una eliminación de empleos al no alterarse la estructura básica de los procesos productivos. Sin embargo, sí requieren una actualización en las competencias de los trabajadores como, por ejemplo, el manejo de nuevas tipologías de gases.

Lo que sí ocurre en muchos casos es que estas mejoras tecnológicas se aprovechan para implementar cambios más amplios en la digitalización y automatización de los procesos productivos. La transición hacia un modelo de producción más eficiente y automatizado implica que los trabajadores deberán adaptarse a nuevas formas de operar, con herramientas digitales más avanzadas y un mayor grado de automatización en la supervisión y control de los sistemas de producción. Este cambio en la manera de trabajar requiere de acciones formativas específicas para que los empleados puedan adaptarse a la nueva realidad productiva que, si bien no elimina sus funciones, sí transforma la forma en que interactúan con las máquinas y los procesos. La digitalización no solo mejora la eficiencia, sino que también introduce nuevas dinámicas laborales que los trabajadores deberán aprender a dominar.

Además, la incorporación de estrategias de descarbonización y medidas medioambientales no solo afecta a las plantas de producción, sino también a la estructura organizativa de las empresas. Uno de los impactos más evidentes es la creación de nuevos puestos de trabajo en áreas administrativas y de gestión, especialmente vinculados a la sostenibilidad y al cumplimiento de normativas medioambien-

tales. Estas áreas, centradas en la planificación estratégica, la monitorización de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la gestión de la transición hacia fuentes de energía renovable, generan nuevas oportunidades laborales, aunque principalmente en oficinas y departamentos de gestión. Estos nuevos puestos de trabajo contrastan con lo que ocurre en las fábricas, donde la clave está en la formación y actualización de los trabajadores en lugar de en la creación de nuevos empleos.

Por otro lado, puede darse la desaparición de parte del proceso productivo en función de las decisiones que se tomen en cada planta o grupo siderúrgico en relación con la gestión de las materias primas (como el DRI o el hidrógeno verde, e incluso las energías renovables). En lugar de producirlas o generarlas internamente, estas podrían adquirirse a terceros, lo que implicaría la pérdida de la gestión de estas etapas en la cadena de valor. Si bien esto podría aumentar el empleo en otros sectores emergentes, como el de las energías renovables o la logística de materias primas, el análisis de impacto debe centrarse en el sector siderúrgico en sí, donde estas decisiones podrían reducir significativamente el número de empleos ligados a la producción directa de materias primas y otros procesos industriales.

Uno de los aspectos fundamentales de este análisis es comprender que no se puede evaluar el impacto del proceso de descarbonización exclusivamente en términos de empleo neto. Aunque en cifras globales el empleo podría aumentar debido a la creación de nuevos puestos en sectores emergentes este enfoque no refleja la realidad de las personas que perderán sus trabajos en los procesos industriales tradicionales. Resulta crucial no solo enfocarse en la creación de nuevos empleos, sino también en implementar soluciones efectivas para apoyar a aquellos que podrían quedar desplazados por estos cambios. Esto incluye planes de reentrenamiento, políticas de transición justa y apoyo para la reintegración laboral en sectores relacionados o emergentes, asegurando que la transformación hacia una industria más sostenible no deje a nadie atrás.



# PARTE 3. IMPACTOS SOBRE EL EMPLEO EN LA SIDERURGIA ESPAÑOLA

## 5. Impactos sobre el empleo en la cadena de valor

La cadena de valor del sector siderúrgico comprende muchas actividades que, directa o indirectamente, son necesarias para llevar a cabo la producción y la comercialización del acero. En este epígrafe nos referiremos a las asociadas a la recuperación y aprovechamiento de la chatarra férrea, la producción de hidrógeno verde y la fabricación de DRI con hidrógeno verde.

### 5.1. La chatarra férrea y el empleo

Las actividades de recuperación de chatarra de hierro y acero tuvieron, en sus orígenes, un carácter eminentemente comercial y asociado a pequeños recuperadores. En los últimos años el negocio se ha visto empujado a una profunda transformación para convertirse a otro de tipo industria con capacidad de acometer no sólo la recuperación y manipulación de los materiales metálicos sino también de su clasificación, descontaminación, densificación y preparación conforme a las exigencias de calidad de la industria del acero. Además, se han establecido algunas grandes plantas con una capacidad de tratamiento muy elevada. Esto ha supuesto la progresiva incorporación de medios tecnológicos adecuados y costosos<sup>52</sup> destinados a mejorar la eficiencia y la eficacia de sus procesos, lo que ha llevado a lograr, en algunos casos, recuperaciones de hasta del 99% de los metales ferrosos contenidos en los residuos brutos.

Uno de los aspectos más destacados en cuanto a la incorporación de avances tecnológicos en las actividades de recuperación y reciclado está siendo la digitalización en los procesos de descontaminación y separación. Estas nuevas tecnologías mejoran la discriminación de residuos peligrosos y son especialmente importantes en la separación de impurezas, contribuyendo a obtener con mayor eficiencia un producto adecuado a los requerimientos de la industria siderúrgica.

El funcionamiento del sector requiere de muy diferentes profesiones que van desde oficios tradicionales, como sopletistas, soldadores y expertos en oxicorte, hasta perfiles más tecnológicos orientados hacia la automatización y digitalización de los procesos. A estas ocupaciones se están sumando, en los últimos años, titulaciones universitarias que capaciten en el manejo de normativa ambiental y tramitación de documentación relacionada. Esto último obedece a que en las últimas décadas el sector se ha visto afectado por diversas normativas vinculadas a la gestión de residuos que implican una carga burocrática y de gestión de información elevada. Ello ha implicado la necesidad de contar con personal para llevar a cabo estas labores de contabilización, caracterización, trazabilidad, etc. de los residuos recogidos y tratados.

Paralelamente a la tecnificación, el sector ha experimentado un aumento de su diversificación evolucionando hacia un servicio integral de recogida y gestión del residuo, arrastrado por las exigencias del

52. Revista Profesional de Maquinaria para Deconstrucción y Valorización de Residuos, nº 24, enero-febrero-marzo de 2016, págs. 5-14

mercado en el que los clientes tienden a buscar un único proveedor que se ocupe del manejo de todos sus desechos industriales con el fin de reducir costes de gestión. De este modo las compañías cuyo núcleo de negocio es la recuperación de metales se reservan la fracción metálica de estos residuos, reenviando el resto a otras empresas de tratamiento y/o reciclaje. El interés del sector de la recuperación y clasificación de metales se encuentra en los dos flujos básicos de este tipo de desechos: los residuos de hierro y acero, con un valor relativamente bajo, pero demandado en grandes cantidades por la siderurgia, y los residuos no férricos (aluminio, cobre...), más valiosos en sí mismos. Cuanta más orientación y dedicación tenga la empresa hacia la recuperación de un flujo y/o un metal concreto mayor es la remuneración que puede obtener de la industria siderometalúrgica.

### **Perfiles profesionales asociados al sector de la chatarra**

---

Sopletistas

Soldadores

Clasificación y gestión de residuos

Especialistas de oxicorte

Operarios de maquinaria pesada

Técnicos de mantenimiento de maquinaria

Especialistas en digitalización, automatización y robotización de procesos

Manejo, mantenimiento y reparación de autómatas

Técnicos y operarios de sistemas de depuración

Titulados especializados en normativa ambiental y gestión de residuos

---

En base a lo expuesto anteriormente, se puede establecer que el sector ha alcanzado un alto grado de madurez tecnológica y eficiencia, presentando en muchos casos una capacidad instalada de tratamiento mucho mayor a la disponibilidad actual de chatarra. Ello implica que los volúmenes de crecimiento futuro de empleo en el sector son muy limitados, en comparación con las perspectivas de otros sectores del ámbito de la gestión de residuos (por ejemplo, tratamiento de residuos urbanos).

Como se señalaba, la disponibilidad de chatarra está muy vinculada a los ciclos económicos y de consumo. Se puede ejemplificar con el caso del achatarramiento masivo de vehículos, asociados a planes específicos de apoyo a la compra de nuevas unidades.

Pero como también se mencionaba con anterioridad, el incremento de disponibilidad de chatarra en el mercado, si bien sí es garantía de suministro de un insumo de calidad al sector de la siderurgia, no implica que vaya a haber un relevante aumento del empleo en el sector de la chatarra. La sobrecapacidad de la mayoría de las plantas actuales permitirá la gestión de este aumento de material sin grandes necesidades de contratación de personal. Sí podría haber incrementos en actividades de transporte y en personal de menor cualificación (separación en campa, por ejemplo), pero el grado de automatización de las instalaciones gestionaría la entrada de nuevos recursos sin importantes necesidades de personal. En todo caso, si es necesario señalar que el perfil de las nuevas contrataciones sí exigiría competencias específicas, dadas las características altamente tecnificadas y digitalizadas de estas tareas.

Por su parte, la incorporación de personal administrativo y de control de calidad sí podría seguir aumentando paulatinamente hasta implantarse totalmente en el sector, como consecuencia de las mayores exigencias burocráticas y de trazabilidad de residuos señaladas anteriormente.

El mantenimiento y desarrollo futuro de esta rama de actividad en España se enfrenta, principalmente, a retos derivados de su relación con las Administraciones públicas, la disponibilidad de mano de obra debidamente cualificada, los cambios tecnológicos y la creciente digitalización.

Desde el punto de vista de la Federación Española de Reciclaje (FER), organización que agrupa a las principales empresas de este ámbito, las dificultades más importantes a las que se enfrenta el sector serían:

- La lentitud de la Administración en la tramitación de la solicitud de autorizaciones para la puesta en marcha de empresas de reciclaje. Se estima en dos años la media de tiempo de espera para poder comenzar a operar una instalación, un periodo demasiado prolongado teniendo en cuenta los costes de inversión, alquileres, etc.
- Las dificultades de acceso a líneas de ayudas públicas al sector industrial y al desarrollo de la economía circular, consecuencia de su situación en cuanto a su clasificación dentro del CNAE 2009, que vincula a las actividades de recuperación y clasificación de metales al ámbito medioambiental; y del impuesto de actividades económicas (IAE), que las vincula al comercio al por mayor.
- La falta de relevo generacional. Se observa un envejecimiento de las plantillas debido a la percepción por parte de la juventud de este tipo de actividades que son asociadas con ocupaciones físicamente exigentes y mal remuneradas, haciendo poco atractivo al sector. Actualmente los perfiles profesionales que requieren las empresas comprenden ocupaciones tradicionales, como los especialistas en oxicorte, soldadura o maquinista, con otras relacionadas con la digitalización creciente de los diferentes procesos. La oferta pública de formación profesional en estas profesiones no se encuentra adaptada a las necesidades reales de la industria del reciclaje. Por ello, desde la FER, se organizan y proporcionan cursos de formación dirigidos a sus asociados, focalizándose en los especialistas más demandados.
- La escasa o nula colaboración en materia de transferencia de novedades tecnológicas desde el mundo académico y la gran empresa.

Un eslabón imprescindible en la cadena de valor de la chatarra dentro del actual modelo de aprovisionamiento de material es el del transporte. Mantener un suministro de chatarra en la cantidad y con la regularidad que exige el funcionamiento de la industria del acero requiere de un flujo elevado de los vehículos que la transportan desde las plantas de recuperación y reciclado hasta las factorías (en algunos casos de hasta 200 o 250 viajes diarios). Esta necesidad de garantizar el transporte de materia prima secundaria hasta las plantas de producción de acero se puede considerar como un posible nicho de creación de empleo.

Para concluir, remarcar que no es esperable que, en el corto o medio plazo, el sector de la recuperación y clasificación de metales férricos pueda experimentar un crecimiento cuantitativo ni en términos de producción ni de nuevos puestos de trabajo. Sus costes, beneficios, producción y empleo se encuentran bastante ajustados dentro de unos márgenes estrechos, dependientes de la disponibilidad del residuo metálico bruto dentro del país y de las fluctuaciones del precio de la chatarra en el mercado internacional.

## 5.2. Un nuevo ecosistema industrial alrededor del Hidrógeno Verde

La creación de un ecosistema industrial alrededor de la producción, distribución y comercialización del hidrógeno renovable se espera que lleve asociada la generación de miles de puestos de trabajo, con necesidades de perfiles profesionales específicas, que podría compensar las posibles pérdidas de empleo en algunos sectores industriales derivadas de los procesos de descarbonización y transición energética. Según el estudio *Las moléculas verdes: la inminente revolución del mercado del empleo en Europa*<sup>53</sup> España creará 181.000 empleos relacionados con el hidrógeno hasta 2040. De ellos, 116.000 para esta década, sumando 65.000 en la siguiente década hasta alcanzar los 181.000 para 2040.

53. Este estudio lleva a cabo un profundo análisis cuantitativo y cualitativo del impacto económico y laboral que tendrán en España y Europa el hidrógeno verde y los biocombustibles. <https://www.manpowergroup.es/estudios/las-moleculas-verdes-la-inminente-revolucion-del-mercado-del-empleo-en-europa-realizado-por-manpowergroup-y-cepsa>

En este escenario previsto, la red SHYNE (Spanish Hydrogen Network), el consorcio multisectorial más grande de España en el ámbito del hidrógeno renovable<sup>54</sup> prevé la generación de más de 13.000 empleos para desarrollar tecnologías competitivas alrededor de este vector energético.

El desarrollo de los HUBs o Valles de Hidrógeno para dar servicio, entre otros usos, a las necesidades del sector siderúrgico, llevará aparejado la creación de miles de puestos de trabajo directos e indirectos. Entre sus objetivos figuran el de desarrollar las capacidades tecnológicas e industriales locales, constituyéndose en una oportunidad de desarrollo económico y social del territorio, pudiendo ser un nicho de reubicación profesional de algunos de los perfiles profesionales y empleos que mermen como consecuencia de los procesos de transición y transformación industrial.

Se pueden dar algunos ejemplos de ello:

El **Corredor de Hidrógeno del Ebro**, conformado por más de 411 entidades y 215 proyectos asociados, generará más de 1.340 puestos de trabajo directos y 6.700 indirectos<sup>55</sup>. Es un proyecto que busca potenciar la coordinación interterritorial entre las iniciativas regionales que ya se encuentran en marcha en el noreste de España. Aglutina el Corredor Vasco del Hidrógeno (BH<sub>2</sub>C), el Valle del Hidrógeno de Cataluña (H<sub>2</sub>ValleyCat), el Valle del Hidrógeno de Aragón (GetHyGA) y la Agenda Navarra del Hidrógeno Verde.

### Corredor de Hidrógeno del Ebro



Fuente: <https://www.shyne.es/proyecto/el-corredor-del-hidrogeno-del-ebro>

54. <https://www.shyne.es/proyecto/el-corredor-del-hidrogeno-del-ebro>

55. <https://www.energias-renovables.com/hidrogeno/el-corredor-del-ebro-aspira-a-convertirse-20221107>

El **Corredor Vasco del Hidrógeno** tiene una estimación de creación de empleo asociado de casi 8.000 puestos de trabajo, de los cuales 2.101 serían directos, 3.918 indirectos y 1.734 inducidos<sup>56</sup>.

### Corredor Vasco del Hidrógeno



Fuente: <https://www.bh2c.org/es/bh2c-cifras>

Por su parte, el **Valle Andaluz del Hidrógeno**<sup>57</sup>, llevará asociado la creación de 10.000 puestos de trabajo, 1.000 de ellos directos.

### Valle Andaluz del Hidrógeno



Fuente: <https://www.moevegloal.com/es/negocios/commercial-clean-energies/hidrogeno-verde/valle-andaluz>

**Asturias H<sub>2</sub> Valley**<sup>58</sup>. A través de esta iniciativa, se pretende la transformación de la central térmica de Aboño en un green hub para producir y suministrar hidrógeno renovable. Este proyecto transformará la actual central eléctrica de carbón de Aboño en una planta de hidrógeno. Se estima que el proyecto generará 55 empleos directos durante su implementación y más de 400 empleos directos en la fase de construcción.

**Green H<sub>2</sub> Los Barrios**<sup>59</sup>, pretende la transformación de la central térmica de Los Barrios (Cádiz) en una instalación de producción de hidrógeno verde. La previsión es crear 400 puestos de trabajo, 300 en la fase de construcción y 100 directos e indirectos, una vez esté en marcha. Con este tipo de iniciativas se pretende que el cierre de las centrales termoeléctricas de carbón tenga el menor impacto posible en la actividad económica y el empleo en el territorio.

56. <https://www.energias-renovables.com/hidrogeno/el-corredor-del-ebro-aspira-a-convertirse-20221107>

57. <https://www.moevegloal.com/es/negocios/commercial-clean-energies/hidrogeno-verde/valle-andaluz>

58. <https://espana.edp.com/es>

59. <https://hidrogeno-verde.es/edp-green-h2-los-barrios/>

Por último, volver a mencionar un proyecto estrechamente ligado a la siderurgia, como es el de *Hydnum Steel*<sup>60</sup>, primer proyecto de siderurgia de acero verde de la península ibérica. Esta planta se comenzará a construir el año que viene para que empiece a producir en 2026. La planta se alimenta de energías limpias para todas sus operaciones y procesos productivos. La tecnología de reducción directa de hierro alimentada por hidrógeno verde es una pieza clave en este proceso.

En concreto, *Hydnum Steel* proyecta la creación de un total de 509 puestos de trabajo directos, mientras que el empleo indirecto alcanzará los 2.528 puestos de trabajo y el empleo inducido de esta actividad económica se estima en 1.167 puestos de trabajo.



Fuente: <https://hydnumsteel.com/es/>

En las futuras ampliaciones de la planta, además, se estima que se puedan incrementar en más de 500 el número de empleados, llegando a contar con más de 1.100 empleos directos, 5.484 indirectos y 2.531 empleos inducidos. El 20% de esos empleos directos serán cubiertos con personal titulado, principalmente de Ingeniería; el 70%, con personal de Formación Profesional de diversas ramas, oficios y profesiones; y el 10 % restante podrá ser cubierto con personal sin cualificación al que se dotará de la formación necesaria.

Por último, hay que mencionar el impacto sobre el empleo industrial asociado a la fabricación de hidrógeno renovable en otros elementos de su cadena de suministro. Por poner un ejemplo de ello, en octubre de 2024 ha empezado a funcionar en Guadalajara la mayor fábrica de electrolizadores de Europa. Esta planta, propiedad de *Accelera by Cummins*<sup>61</sup>, impulsará la producción de hidrógeno verde a gran escala a través de la fabricación de este dispositivo esencial para este proceso. La planta ha supuesto la creación de 150 empleos directos, con un 30% de mujeres en plantilla.

Más allá del impacto en el empleo industrial, la fabricación de hidrógeno verde tendrá un impacto tractor para toda la cadena de valor productiva. El 88% de los nuevos empleos generados por el hidrógeno verde a 2040 en Europa (1,7 millones) se darán en el sector servicios y comercio, en el industrial, la construcción o la educación. El otro 12% estará en el sector energético<sup>62</sup>.

60. <https://hydnumsteel.com/es/>

61. <https://www.energetica21.com/noticia/accelera-inaugura-en-guadalajara-una-nueva-planta-de-electrolizadores-con-una-capacidad-de-500-mw-anuales>

62. <https://www.manpowergroup.es/estudios/las-moleculas-verdes-la-inminente-revolucion-del-mercado-del-empleo-en-europa-realizado-por-manpowergroup-y-cepsa>

### 5.3. Empleo en la producción de DRI

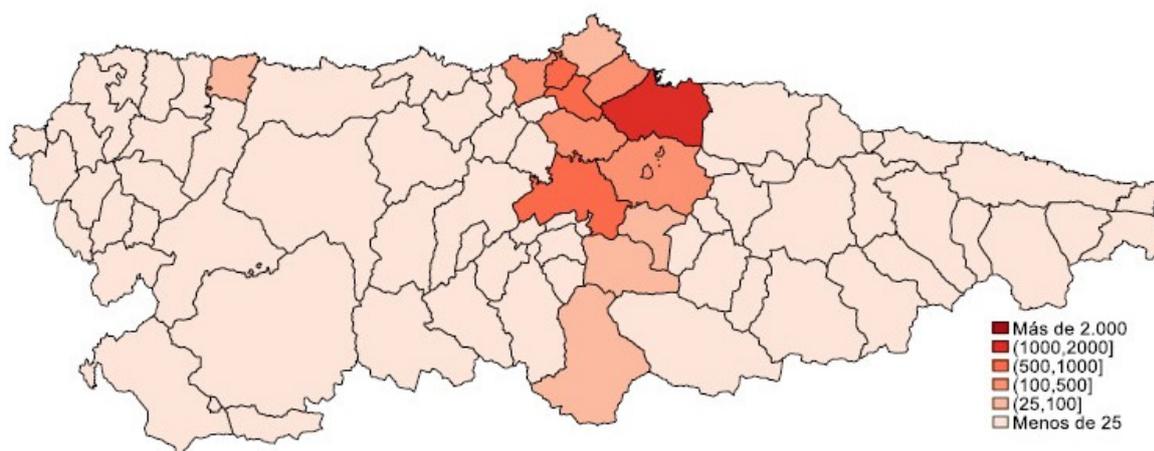
Actualmente no existe ninguna planta de fabricación de acero alimentada por H<sub>2</sub>DRI y funcionando con fuentes de energía de origen 100% renovable, por lo que no hay datos concretos sobre el tipo y cantidad de personas trabajadoras que demanda la producción de este “acero verde”. Desde el punto de vista de los perfiles profesionales requeridos, las plantas de DRI operativas indican que estas cualificaciones no se diferencian sustancialmente de las requeridas para la siderurgia integral, a excepción de determinados aspectos específicos que sean propios del proceso MIDREX. El salto a la integración del hidrógeno probablemente suponga contar con algunos especialistas en el manejo de este gas o bien complementar y ampliar la formación de los técnicos y operarios siderúrgicos actuales.

Hasta la fecha las dos iniciativas más destacables serían la correspondiente a Arcelor Mittal España S.A. para la descarbonización de su factoría de siderurgia integral en Asturias, y el proyecto de Hydnum Steel de acometer la construcción de un nuevo complejo siderúrgico en Puertollano (Ciudad Real) para la obtención de un acero cero emisiones.

Como se mencionaba con anterioridad en otro apartado de este informe, ArcelorMittal tiene pendiente la ejecución de un proyecto de Hidrógeno circular-DRI en su factoría de Gijón (Asturias) para el que el PERTE de descarbonización industrial concedió subvenciones por un valor de 450 millones de euros. Recientemente ha anunciado que paraliza todos los proyectos de DRI en Europa, incluido el de Gijón<sup>63</sup>. No se dispone de información, por parte de la empresa, del impacto que esta iniciativa tendría sobre la cantidad y tipología del empleo.

Según los cálculos del laboratorio de análisis económico regional REGIOlab de la Universidad de Oviedo<sup>64</sup>, publicados a raíz de la decisión de ArcelorMittal, la economía asturiana dejaría de generar un valor añadido equiparable a más del 1,6 por ciento de su producto interior bruto (PIB) y una cantidad de empleo superior a los 4.000 puestos de trabajo si finalmente la multinacional decide paralizar el horno de reducción directa de mineral de hierro (DRI) previsto para la factoría de Gijón.

#### Empleo que se dejaría de general en Asturias por la no inversión en DRI



Fuente: <https://regiolab.es/observatorio-no-72-impacto-del-frenazo-a-las-inversiones-en-dri-empleo-y-valor-anadido/>

Según este observatorio económico, más de 2.000 empleos se verían afectados en el sector siderúrgico, pero también habría efectos indirectos en otras ramas de actividad como las de energía, materias primas, minerales o servicios de transporte y auxiliares, que a su vez afectarían a otras ramas

63. <https://www.lne.es/gijon/2024/11/27/decision-arcelormittal-deja-futuro-acero-112083580.html>

64. <https://regiolab.es/observatorio-no-72-impacto-del-frenazo-a-las-inversiones-en-dri-empleo-y-valor-anadido/>



y procesos de fabricación en un efecto multiplicador. Por tanto, las consecuencias no se circunscriben a la propia empresa o sector metalúrgico, sino que acabarían afectando a todo el tejido productivo de la región y prácticamente a la totalidad de sus municipios de una forma u otra<sup>65</sup>.

Un segundo proyecto destinado a obtener acero descarbonizado, y en el que sí se detalla el volumen y tipología de empleo que se podría crear es el planteado por la compañía del grupo siderúrgico multinacional *Russula Hydnum Steel*, en Puertollano (Ciudad Real)<sup>66</sup>, al que nos hemos referido anteriormente, y que llevaría asociado la creación de 4.204 empleos, 509 directos, 2.528 indirectos y 1.167 inducidos. El proyecto tiene como finalidad la puesta en marcha de una planta de fabricación de acero laminado de alta calidad mediante la utilización de energías limpias, que se ejecutará en dos fases. Durante la primera fase se construirá la acería y el tren de laminación, elementos auxiliares (sistemas de depuración, una subestación eléctrica, redes de suministro eléctrico y de agua...), parques eólicos y fotovoltaicos y un electrolizador de pequeña potencia para consumo de la acería. Como fuentes de hierro se emplearán DRI y chatarra adquiridos a terceros. En esta etapa se crearían 423 empleos directos. Durante la segunda fase, se construiría la planta de DRI y un gran electrolizador para proveerla de hidrógeno y se generarían 86 empleos directos más. El 20% de esos empleos corresponderían a titulados superiores, especialmente en ingeniería, un 70% a personal con Formación Profesional en distintas ramas, y un 10% a personal sin cualificación específica que sería formado por la misma empresa. El proyecto tendrá una capacidad de producción de 1,5 millones de toneladas anuales, ampliable a 2,6 millones en el futuro. Se estima que la planta podría estar operativa en 2026 con una producción de 750.000 toneladas. En julio de 2024 el Gobierno de Castilla-La Mancha otorgó a esta iniciativa la consideración de "Proyecto prioritario", lo que supone la reducción de plazos en los trámites administrativos para su ejecución e incluye medidas de incentivación económica y financiera<sup>67</sup>.

65. <https://regiolab.es/wp-content/uploads/2024/11/Observatorio-72.pdf>

66. <https://www.lacomarcadepuertollano.com/articulo/puertollano/son-todos-detalles-imponente-proyecto-acero-verde-que-plantea-convertir-puertollano-referente-industria-futuro/20240521233328547296.html>

67. <https://hydnumsteel.com/es/prensa/hydnum-declaracion-de-proyecto-prioritario/>

## 6. Perfiles profesionales y necesidades formativas del sector de la siderurgia

### 6.1. Breve descripción metodológica del análisis cualitativo de la posible evolución del empleo

La necesaria descarbonización del sector siderúrgico pasa por cuestiones como la electrificación de los procesos y la incorporación del hidrógeno verde, la gestión energética integrada de los procesos industriales, la reducción y optimización del uso de los recursos naturales y la captura de carbono.

Asimismo, la transición de una siderurgia integral a una siderurgia de arco eléctrico implica estructurar la cadena de valor y las operaciones relacionadas con la chatarra, con el fin de garantizar su suministro en las mejores condiciones, dado que esta es el principal insumo para la producción de acero eléctrico; además, es previsible que su uso vaya en aumento como consecuencia de la transición hacia una economía baja en carbono. De ahí la necesidad de articular adecuadamente la parte de recogida y tratamiento de la misma para garantizar su calidad y disponibilidad. Esto incluye, obviamente, una mano de obra especializada y debidamente formada. En paralelo, el sector lleva ya tiempo incorporando procesos de digitalización y automatización, con evidente impacto en las condiciones de trabajo y en los perfiles profesionales, fenómeno que se prevé se intensifique en los próximos años.

En este contexto, el empleo en la siderurgia se verá afectado, no sólo en términos cuantitativos sino también en términos cualitativos, particularmente en relación con las necesidades de cualificación y formación de los trabajadores para adquirir las competencias necesarias para poder implantar tecnologías más limpias y adaptarse a las necesidades de digitalización y automatización de la industria.

Es muy probable que determinados perfiles o familias profesionales que actualmente existen en este sector desaparezcan porque ya no sean necesarios en el futuro escenario tecnológico. Este riesgo es evidente en el sector de la siderurgia integral, donde la transformación del modelo productivo va a ser más profunda.

De igual modo, las nuevas necesidades derivadas de la descarbonización industrial abrirán la puerta a nuevas cualificaciones y perfiles profesionales, como también es previsible que genere un impacto sobre el empleo en la cadena de suministro, en la industria accesoria y en otros sectores industriales (tecnología, I+D+i, valorización y reciclaje de residuos, subproductos y materias primas auxiliares, comercialización, etc.).

Para abordar estas y otras cuestiones, en el marco del presente estudio se llevaron a cabo más de 20 entrevistas en profundidad, abarcando a todos los informantes clave, organismos e instituciones vinculados a la industria siderúrgica<sup>68</sup>, con el fin de recabar su opinión sobre los procesos de transformación y transición que afronta este sector, en particular en lo relacionado con los cambios y necesidades en materia de cualificación, recapacitación, formación, etc.

También, se desarrolló un grupo de trabajo con personas trabajadoras pertenecientes a de diversas empresas siderúrgicas<sup>69</sup>, con el fin de recabar su opinión sobre el posible impacto de las transiciones en su sector.

Como resultado del trabajo de análisis y entrevistas llevado a cabo, se presentan en los siguientes apartados algunos de los elementos clave que conforman el escenario de la posible evolución cualitativa del empleo en la industria del acero.

<sup>68</sup>. Entre los organismos e instituciones se encuentran Unión de Empresas Siderúrgicas (UNESID), Centro Nacional del Hidrógeno, Asociación Clúster de Siderurgia (SIDEREX), Comisionado para el PERTE de descarbonización industrial, IDAE, Corredor Vasco del hidrógeno (BH<sub>2</sub>C), SPRI( Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial), Acerinox, Universidad de Deusto, Universidad de Oviedo, Universidad de León, Xunta de Galicia-Subdirección de FP, Formación Profesional de Navarra, Centro de Referencia Nacional de la familia profesional de fabricación mecánica, área de construcciones metálicas y fundición, Centro FP Laudío Álava, Centro de FP Somorrostro, Federación Española de Recuperación y Reciclaje, Ecologistas en Acción.

<sup>69</sup>. Arcelor Etxebarri, ACB Sestao, Tubos Reunidos, Nervacero y Tubacex

## 6.2. La doble transición en el sector siderúrgico: Descarbonización y digitalización

La doble transición, la ecológica, estrechamente ligada en este ámbito a alcanzar la descarbonización del sector y la neutralidad climática, y la digital va a conllevar cambios en los procesos productivos que habrá que tener en cuenta para ajustar la demanda y la oferta de empleo.

A nivel industrial la extensión y profundización de las denominadas industrias 4.0 y 5.0 como nuevos paradigmas productivos, y la implementación de medidas y prácticas para cumplir con los objetivos de cero emisiones establecidos a nivel europeo para 2050 va a suponer un cambio significativo.

La industria 4.0 surge como consecuencia de las innovaciones tecnológicas de los últimos años. Su finalidad es la transformación digital de toda la cadena de valor industrial: cadena de suministro, procesos productivos y relación con clientes, socios y proveedores. Se trata de un modelo productivo caracterizado por la flexibilidad en la producción, fabricando según requisitos del cliente; conectado; con un proceso de toma de decisiones estratégicas basado en el análisis y la interpretación de datos; inteligente; configurable y securizado, esto es que garantice que todas las operaciones realizadas a través de medios digitales sean seguras<sup>70</sup>.

El proceso intensivo de digitalización asociado a este modelo industrial implica, entre muchas otras cuestiones, un impacto en toda la cadena de valor del sector industrial, con la implementación en las empresas y en sus sistemas de producción de un amplio abanico de tecnologías como las soluciones en la nube, los robots autónomos, el internet de las cosas (IoT), el análisis Big Data, la ciberseguridad aplicada a la protección de información y de activos físicos, el incremento de la automatización para reducir o suprimir carga de trabajo, la automatización de procesos y toma de decisiones en tiempo real; el control unificado de los procesos de la cadena de suministro o las técnicas de blockchain, entre otras variables<sup>71</sup>.

Quando hablamos de digitalización hablamos de sostenibilidad y de la necesidad de las empresas de adaptarse a las nuevas tecnologías en torno a la descarbonización. El uso de nuevos materiales y equipos, la valorización de residuos por nuevas normativas europeas, etc., requieren que el sector tenga una formación adaptada a estos nuevos requisitos.

**SIDEREX**

El despliegue de estas tecnologías en el sector siderúrgico podría contribuir a disminuir los riesgos laborales para las y los trabajadores, en especial los de orden físico, reduciendo su exposición a situaciones de riesgo, minimizando la componente del esfuerzo corporal y aumentando la eficiencia de las tareas. Al igual que la transición hacia la descarbonización, va a incidir, de manera acusada, sobre el perfil de los puestos de trabajo demandados por esta área de actividad.

La industria 4.0 se encuentra actualmente en fase de expansión y coexistirá en el tiempo con la aún incipiente 5.0.

La industria 5.0 iría un paso más allá que su predecesora. Partiendo de la implantación generalizada de la digitalización, busca emplear tecnologías avanzadas para fusionar las capacidades de computación cognitiva con el talento humano, focalizándose en aspectos tales como la hiperpersonalización, los productos interactivos, los robots colaborativos, la resiliencia y la sostenibilidad.

70. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/61/principios-generales-de-la-politica-industrial-de-la-union>

71. <https://es.nttdata.com/documents/smart-industry-40-2023-v4.pdf>

Como se señalaba anteriormente, estos modelos industriales se engarzan en la transformación digital de la economía, estableciendo sinergias y complementándose con la transición hacia la descarbonización, proceso desarrollado en paralelo a la transición digital. Ambas transiciones van a incidir de manera destacada en el tipo de capacidades requeridas por el sector industrial, en diferente medida, según la naturaleza y dimensiones de las diferentes ramas industriales.

La transformación digital y la sostenibilidad en las grandes empresas que ya han emprendido este proceso les otorga, en este momento, una cierta ventaja competitiva (acero verde). El problema sería para las pequeñas empresas que giran alrededor, en esa cadena de valor, o pequeños fabricantes, que pudiese tener problemas a corto plazo. Hablamos de muchas inversiones, de capacitaciones, y no es sencillo.

Con la digitalización, a través de la inteligencia artificial generativa, se intenta que las empresas grandes sean mucho más eficientes en sus procesos, eso va a ser un gran cambio. En el caso de las pequeñas se intenta sensorizar los procesos, analizar algunos datos para la toma de decisiones, mantenimientos preventivos, predictivos en pocos casos todavía... todo esto se va generando y tiene mucho recorrido, estamos en la punta del iceberg.

**CENTRO DE FORMACIÓN PROFESIONAL SOMORROSTRO**

La llegada de nuevos procesos, de nuevas inversiones, cambiará la fuerza laboral. Más automatización, labores más cualificadas. Descarbonización y digitalización llevará a corto plazo a menos puestos de trabajo sin especialización, si no hay recualificación en las empresas. Si hay recualificación mejorará la vida de los trabajadores en cuanto que habrá más seguridad, mejores posibilidades de cambiar de puestos o de empresas, etc.

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

### 6.3. Barreras ante el proceso de transición

Se pueden identificar una serie de elementos comunes, presentes en el sector que pueden dificultar, en cierta medida, su transformación.

En primer lugar, parece existir en la industria siderúrgica un problema generalizado con el traspaso generacional de conocimiento. Como en muchos otros campos, este traspaso en el seno de las empresas entre personas con amplia experiencia y de mayor edad a personas jóvenes es fundamental para reforzar y apuntalar el proceso formativo de estos últimos. Tal y como se desprende de la opinión de varios informantes clave, esta transferencia se está perdiendo por la marcha del personal más experimentado que está siendo sustituido por personal joven que aún no habría completado su necesaria preparación previa y tutelado por aquellos que tienen un profundo conocimiento de los procesos. Esta situación deriva en ocasiones por la propia competencia entre empresas para retener o contratar a determinadas personas con amplia experiencia en el puesto ante la ausencia de perfiles con los que cubrir tales necesidades.

No hay una transferencia de conocimientos de los veteranos a las nuevas incorporaciones.

**UNIVERSIDAD DE DEUSTO**

Asimismo, y como sucede también en otros ámbitos de la actividad industrial y productiva, hay un desinterés generalizado entre la juventud hacia el sector, que parece ser visto como poco atractivo ante los cambios en sus preferencias laborales (más flexibilidad, habilidades digitales, menos intensivo).

Han cambiado los gustos y las necesidades de los jóvenes, lo que se traduce en que no están interesados en trabajar en el sector industrial en general, ni en el sector siderúrgico en particular.

**GRUPO DE TRABAJO DELEGADOS SINDICALES DEL SECTOR**

La principal barrera de la Formación Profesional para ofrecer titulaciones o itinerarios formativos es encontrar alumnado interesado en el sector siderúrgico. No hay gente suficiente para cubrir algunos ciclos. Incluso hay alumnos que, acabando el ciclo y trabajando en este sector, prefieren marchar a otro ciclo y trabajar en otras áreas sectoriales, sectores donde hay mayor flexibilidad y calidad de vida en el trabajo, aunque se gane menos.

**FORMACIÓN PROFESIONAL XUNTA DE GALICIA**

Este hecho también ha sido puesto de manifiesto por informantes clave vinculados al área de la formación profesional, señalando que hay ciertas dificultades para encontrar alumnado interesado en campos relacionados con la siderurgia, lo que implica en ocasiones que no se puedan cubrir los cupos de determinados ciclos formativos. Este hecho dificulta al ámbito educativo el abordar y oficializar algunas de las necesidades formativas actuales y previstas dentro de la industria siderúrgica.

Hay pocos estudiantes y eso implica carencias y dificultades para poder generar cátedras, cursos o másteres especializados dirigidos al sector siderúrgico. La universidad no puede financiar cursos para pocas personas. Hay escasez de alumnado para multitud de proyectos en las empresas.

**UNIVERSIDAD DE DEUSTO**

Tenemos que hacer un esfuerzo en erradicar el gran paro juvenil existente, cuando hay tanta oferta en este sector. No estamos transmitiendo bien las ideas y las necesidades de los sectores, hay que redirigirlos.

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

También es importante subrayar que, a pesar de los esfuerzos para incrementar la presencia de la mujer en el sector, actualmente ésta sigue siendo mínima. En opinión de fuentes sindicales implicadas en la aplicación de políticas y planes de igualdad en la industria siderúrgica, de momento no se están consiguiendo grandes avances en este sentido. Hablamos, por tanto, de un sector muy masculinizado (el 90-95% del empleo es desempeñado por hombres<sup>72</sup>), con una infrarrepresentación femenina y con una cierta segregación ocupacional en función del sexo.

<sup>72</sup>. Estimación realizada a partir del análisis de los datos de empleo facilitados por las principales empresas del sector.

## 6.4. Las profesiones del sector siderúrgico actual

Atendiendo a las operaciones y tareas desempeñadas en el sector siderúrgico, las ocupaciones a día de hoy más características se pueden englobar en dos grandes grupos: operarios y técnicos.

Los operarios ejecutan labores relacionadas con la producción, bien directamente, actuando en el proceso productivo, o en labores de mantenimiento, transporte u operaciones auxiliares, pudiendo realizar tareas de supervisión o coordinación.

Entre sus funciones se pueden señalar:

- Manejo de maquinaria pesada.
- Utilización de altos hornos, hornos de arco eléctrico y hornos de coque.
- Carga de materiales.
- Vigilancia de los procesos.
- Mantenimiento de maquinaria.

El personal técnico se ocupa de tareas de elevada cualificación y complejidad, entre las que se encuentran las de diseño, desarrollo de proyectos, planificación, coordinación, supervisión, dirección y gestión de todos los procesos que componen la fabricación del acero dentro de una factoría.

Junto a estos grupos, hay una categoría de trabajadores y trabajadoras cuyas competencias, en general, son comunes a otros sectores productivos. Se trata de personal que realiza tareas administrativas, comerciales, organizativas, de informática, de laboratorio y, en general, las propias de puestos de oficina que permiten informar de la gestión, de la actividad económica, de la contabilidad, o realizar labores auxiliares que impliquen la atención a las personas<sup>73</sup>.

La opinión de los informantes entrevistados es que, con excepciones vinculadas en su mayoría a la siderurgia integral, los perfiles tradicionales del sector anteriormente señalados seguirán siendo clave, pero deberán ir adaptándose a la realidad de los cambios que ya están aconteciendo, con mayores necesidades de cualificación, principalmente asociadas a los cambios en los procesos productivos, en las maquinarias, fuentes de energías empleadas, etc., así como también a todos aquellos aspectos relacionados con la prevención de riesgos laborales asociados a todos estos factores. Previsiblemente, estos puestos de trabajo tradicionales a pie de máquina o de primera línea, serán paulatinamente sustituidos o convivirán con elementos más automatizados y sensorizados. Algunos entrevistados han señalado que estos perfiles profesionales tendrán cada vez un mayor nivel de autonomía, iniciativa y responsabilidad, siempre referenciado a su nivel o categoría en cada empresa, y con las tareas técnicas asociadas que deban realizar en su ejecución.

También se ha señalado que, tanto para los perfiles de operario como para los que tienen un marcado carácter técnico, en adelante se tendrán bastante en cuenta las llamadas "soft skills" o habilidades blandas, una mezcla de competencias sociales, atributos personales, cualidades y actitudes adaptativas que, combinadas con los conocimientos técnicos y profesionales resultan de gran valor para alcanzar las metas establecidas<sup>74</sup>. Entre estas habilidades se encuentran la capacidad de trabajar en equipo, poseer sentido crítico, empatía, dotes comunicativas y organizativas, saber gestionar las horas de trabajo, tener facilidad para aprender nuevas competencias, saber trabajar de forma independiente, autocontrolada, etc.

<sup>73</sup>. *IV Convenio colectivo estatal de la industria, las nuevas tecnologías y los servicios del sector del metal.*

<sup>74</sup>. <https://www.anahuac.mx/blog/que-son-las-soft-skills-y-por-que-son-tan-importantes>

## 6.5. Nuevos perfiles demandados por el sector siderúrgico

Los nuevos perfiles profesionales demandados por la industria siderúrgica se enmarcan, por un lado, en las necesidades de la Industria 4.0 anteriormente aludida, y que está caracterizada, entre otros elementos, por la digitalización de los procesos, el intercambio de información a tiempo real y la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA); por otro lado, estos nuevos perfiles están asociados a la descarbonización de las etapas del proceso productivo

En el marco de la digitalización, cabe en primer lugar señalar los perfiles profesionales asociados al Big data y al análisis de datos, con habilidades para programar y aplicar sistemas inteligentes que optimizan la gestión de la información y la explotación de datos masivos, garantizando el acceso a los datos de forma segura. Algunos de los perfiles solicitados en este campo corresponden a analistas de datos, expertos en análisis preventivo y predictivos, científicos de datos, y expertos en algoritmos, matemáticas y estadística.

Se requieren nuevos perfiles profesionales, con más peso en la sostenibilidad, gestión del dato, procesos de producción, inteligencia artificial, clasificadores de chatarra, ...

**SIDEREX**

Entre los empleos emergentes en el sector siderúrgico, vinculados a los cambios producidos por la digitalización se pueden citar los relacionados con análisis de datos, decisiones en base a modelos perfiles técnicos de FP con competencias adquiridas de decisión en pequeñas parcelas de los puestos.

**CENTRO DE FORMACIÓN PROFESIONAL SOMORROSTRO (EUSKADI)**

Otro ámbito de nuevos perfiles y empleos será el asociado a la tecnología de procesos, con demandas de operadores de planta, ingenieros de tecnología, operadores de controles de procesos, ingenieros de monitorización y modelización.

La automatización y robótica industrial está ya requiriendo perfiles profesionales capacitados para el desarrollo y gestión de proyectos de montaje y mantenimiento de instalaciones automatizadas de medida, regulación y control de procesos, así como supervisión, ejecución, mantenimiento y puesta en marcha de dichos sistemas.

Faltan exoesqueletos, robots de asistencia, en la industria para la realización de algunos trabajos específicos, para hacer operaciones delicadas, a mano, muy finas. Son necesarias esas ayudas mecánicas y tener perfiles operativos de este tipo. Hacen falta softwares de formación, de entrenamiento, áreas de nuevas tecnologías; necesitamos esas competencias.

**EMPRESA DEL SECTOR**

Asociado al empleo de las TIC y a la creciente necesidad en temas de programación, ciberseguridad y seguridad digital, se pueden señalar algunas áreas de capacitación y conocimiento objeto de demanda de nuevos perfiles profesionales:

- Diseño en fabricación mecánica.
- Programación y producción en la fabricación: planificar, programar y controlar la fabricación por mecanizado y montaje de bienes de equipo.
- Ciberseguridad en entornos de las tecnologías de operación: definir e implementar estrategias de seguridad en las organizaciones e infraestructuras industriales realizando diagnósticos de ciberseguridad, identificando vulnerabilidades e implementando medidas necesarias.
- Digitalización del mantenimiento industrial, implantar y gestionar proyectos de digitalización del mantenimiento en entornos industriales, aplicando las tecnologías de última generación.

Empleo en auge, todo lo relacionado con el algoritmo y el dato. La matemática también, al igual que puestos tecnológicos cualificados para entender bien todo el proceso. Habrá una adaptación de las ingenierías.

**UNIVERSIDAD DE DEUSTO**

Junto a la digitalización, el otro gran factor impulsor para la recapitación profesional y los nuevos perfiles profesionales es el relacionado con la descarbonización de la fabricación de acero, que incluye, en primer lugar, la implantación de procesos de producción apoyados en vectores de energía eléctrica e hidrógeno verde.

En este sentido, los perfiles de expertos en tecnologías del hidrógeno renovable y sus aplicaciones o en energías renovables son ya objeto de la formación profesional, universitaria y másteres impartidos para cubrir las necesidades formativas del sector siderúrgico.

El empleo en el hidrógeno necesitará de perfiles como los ingenieros industriales y técnicos medios de FP (soldadores, sopletistas, etc.).

**CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO**

Una acería descarbonizada necesitará diferentes perfiles de ingeniería adaptada a las nuevas tecnologías en soldadura, válvulas, quemadores...

**COMISIONADO PARA EL PERTE DE DESCARBONIZACIÓN INDUSTRIAL**

Hay otra serie de aspectos derivados de la creciente presión por una mayor sostenibilidad en el sector siderúrgico, no sólo en términos de descarbonización, sino derivados de la exigencia de una mayor eficiencia en el uso de la energía y de los recursos o de la aplicación de políticas de circularidad y divulgación de información, que está generando la demanda de perfiles concretos asociados a la gestión ambiental, las auditorías energéticas, el ecodiseño, la gestión de la logística, la clasificación y gestión de residuos, la comunicación ambiental, la gestión y tratamiento de información ambiental, etc.

Hemos hecho entrevistas a jóvenes que se dedican a la innovación, por ejemplo, a todo lo que es la fabricación aditiva, temas de digitalización, inteligencia artificial, sostenibilidad, descarbonización, energías renovables.

#### **EMPRESA DEL SECTOR**

Por su parte, la creciente tendencia del sector hacia la diferenciación del producto y nuevas calidades lleva asociada también la necesidad de profesionales con conocimiento sobre fabricación aditiva y productos sintéticos, o requisitos para un mayor control de la composición química del acero.

Igualmente, la logística y el transporte son actividades señaladas como demandantes de empleo para ajustarse a las nuevas necesidades del sector, en cuestiones tales como el acopio de materias primas y subproductos o distribución de la fabricación.

El sector de transportistas sí es un nicho de creación de empleo, con el modelo actual de aprovisionamiento de materia prima y chatarra, con una frecuencia diaria de centenares de camiones.

#### **GRUPO DE TRABAJO DELEGADOS SINDICALES**

## 6.6. Profesiones siderúrgicas con mayores posibilidades de afectación

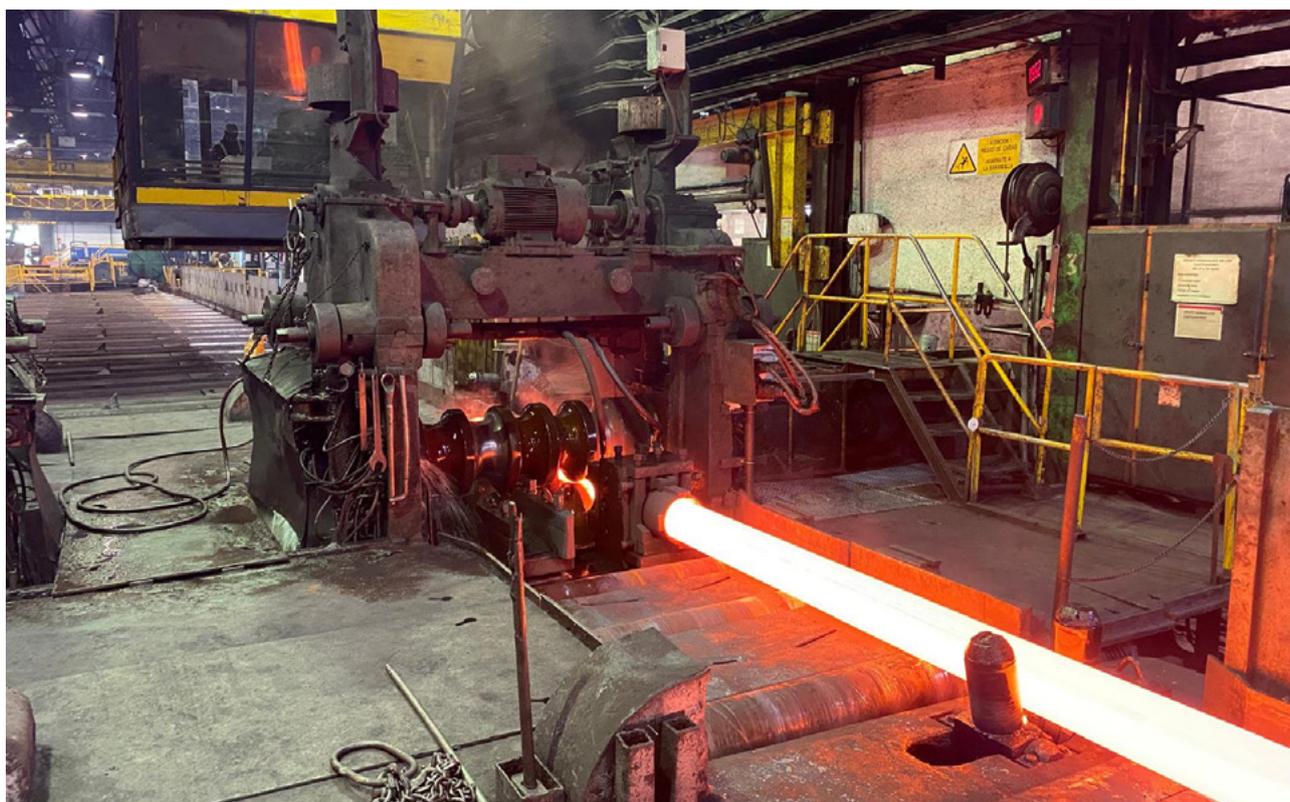
La incorporación de la doble transición probablemente afecte al desempeño laboral de todas las personas trabajadoras del sector siderúrgico, si bien lo hará en diferente grado. Existirán ocupaciones en las que esta afectación se limite a la necesidad de ampliar destrezas en el manejo de modificaciones a sus herramientas de trabajo habituales, mientras que en otras los trabajadores necesitarán recibir cualificaciones que les hagan competentes en tecnologías nuevas e incluso que les permitan la adaptación a nuevos perfiles profesionales debido a la desaparición de sus actuales puestos de trabajo.

Se va a requerir una gran formación, nuevos proyectos con nuevas necesidades, digitalización absoluta. Lo que era antes manual ahora debe ser más "cerebral". Los elementos no habituales en una empresa requerirán nuevos conocimientos. El hidrógeno requiere también nuevos elementos de seguridad que los trabajadores/as tendrán que conocer.

### CENTRO NACIONAL DEL HIDRÓGENO

Los puestos de trabajo sobre los que previsiblemente vaya a tener un mayor impacto esta doble transformación tecnológica serían los que reúnan una o varias de las siguientes características:

1. Los correspondientes a la **siderurgia integral**, especialmente aquellos más relacionados con los elementos del proceso más específicos de esta vía de producción de acero objeto de descarbonización.
2. Los que requieran de un **menor nivel de capacitación**, más centrados en tareas manuales y repetitivas y demandantes de esfuerzo físico.
3. Los relacionados con ocupaciones desarrolladas a **pie de proceso**.



### 6.6.1. Ocupaciones de la siderurgia integral potencialmente más afectadas

La descarbonización de la siderurgia resulta incompatible con la existencia de este tipo de instalación, de modo que los perfiles profesionales que la operan deberán adaptarse a las necesidades de la tecnología de sustitución.

Las plantas de siderurgia integral son grandes factorías constituidas por diferentes unidades en las que se verifican los procesos necesarios para la fabricación de acero. Para su funcionamiento se apoyan en una serie de instalaciones complementarias sin cuyo concurso no sería posible el correcto desarrollo del proceso siderúrgico<sup>75</sup>.

Las principales instalaciones que conforman el núcleo de una factoría de este tipo son:

- El parque de minerales.
- Las plantas de sinterización.
- Las baterías de Cok.
- Los hornos altos.
- La acería.
- Los trenes de laminación.

Las instalaciones complementarias pueden consistir en embalses, que almacenan y proporcionan agua al conjunto de la factoría, las áreas para el depósito y/o tratamiento de residuos, y el parque de carbones.

La transición de una planta siderúrgica integral a una factoría de arco eléctrico que emplee como principales insumos energéticos y de proceso, la electricidad de origen renovable, el hidrógeno verde y el DRI conducirá a transformar, reducir e incluso suprimir la actividad de algunos de sus componentes y, en consecuencia, los puestos de trabajo correspondientes a las labores que en ellos se desarrollan. Dentro del núcleo de la factoría, las instalaciones probablemente más afectadas serían el parque de minerales, las plantas de sinterización, las baterías de Cok y los Hornos Altos, y en cuanto a instalaciones complementarias, el parque de carbones.

El parque de minerales tiene como funciones recibir, almacenar, homogeneizar y suministrar materias primas (mineral de hierro, fundentes, carbón, etc.) a las distintas partes de la planta. Suelen disponer de una red de cintas transportadoras, tolvas, rotapalpas y reclaimers con los que ejecutar estas funciones. Los puestos de trabajo que se sitúan en ellos incluyen maquinistas, rotopalistas, técnicos de preparación, mecánicos y electricistas de mantenimiento, e inspectores de producción y mantenimiento. La descarbonización de la factoría no eliminaría este elemento, pero posiblemente reduciría su carga de trabajo.

Las plantas de sinterización se ocupan de aglomerar los finos minerales para que la carga del horno alto tenga la permeabilidad necesaria. Esto finos consisten en mineral de hierro, recuperaciones (materiales rechazados en otras plantas consecuencia de sus procesos productivos, como polvo de botellón, cascarilla de laminación, barreduras, lodos de depuradora...), fundentes (caliza, olivino, cal viva, dolomía...), combustible (cok o antracita) y agua. Los finos minerales son sometidos a tratamientos térmico y mecánico para obtener el sinter acabado. Las plantas de sinterización están dotadas de tolvas dosificadoras, parrillas, soplantes, hornos, rompedores, enfriadores, cribas y sistemas de depuración de dioxinas y partículas. Estos equipos son manejados por técnicos y operarios de producción y mantenimiento especializados. La desaparición del horno alto implicará la eliminación de la planta de sinter o bien su radical transformación para ser empleada en el pretratamiento de las materias primas que demande la nueva tecnología de producción de acero. Las tareas desempeñadas por sus profesionales especializados podrían encontrar alguna equivalencia en el desarrollo de las primeras etapas de fabricación de acero verde.

<sup>75</sup>. Arcelor Mittal, Planes de autoprotección de la Planta de Siderurgia Integral de Gijón y Avilés.

Las baterías de Cok son un conjunto de hornos donde se lleva a cabo la destilación a alta temperatura del carbón para la obtención de un combustible exento de compuestos volátiles, el Cok, que alimenta el alto horno. Se acompaña de una planta de subproductos en la que se trata el gas generado en el proceso obteniéndose alquitrán, azufre líquido, y gas de cok que puede reincorporarse al horno. Se trata de una instalación compleja con numerosos elementos que incluyen hornos, torres de apagado, molinos, cribas, sistemas de lavado y depuración, y redes de agua y de diferentes tipos de gases. El personal que se ocupa de su manejo y mantenimiento está formado por maestros de operaciones y operarios de baterías, subproductos y calentamiento, maestros panelistas, mecánicos, electricistas, electromecánicos, y técnicos y operarios de sistemas de depuración. De todas estas ocupaciones, las más específicas del proceso de coquificación desaparecerán con la implementación de tecnologías descarbonizadas.

Los hornos altos forman parte de las instalaciones de cabecera o primeras etapas de la obtención del acero. En ellos se lleva a cabo la reducción y fusión del mineral de hierro para obtener un material intermedio, el arrabio, que suele ser conducido aún en caliente, mediante vagones torpedo, hasta las acerías, en las que se somete a tratamientos de desulfuración y ajuste de contenidos en carbono para la obtención de diferentes productos de acero (chapa, alambrón, carril, hojalata...). Su funcionamiento necesita de una serie de elementos auxiliares como son tolvas, estufas de calentamiento de aire, molinos de carbón, plantas de inyección de carbón, sistemas de limpieza del gas generado en el alto horno, circuitos y bombas de refrigeración, sistema de inyección de gas de Cok, sistemas de depuración y redes de distribución de diferentes tipos de gases (oxígeno, gas natural, hidrógeno, aire, propano...) y líquidos (agua, gasoil para motores de equipos auxiliares...). Para que el proceso funcione se requiere de técnicos especializados con diferentes niveles de responsabilidad, operarios de producción, técnicos y operarios de mantenimiento mecánico y eléctrico, y técnicos y operarios de sistemas de depuración. La sustitución del horno alto por el horno de arco eléctrico supondrá la supresión de los perfiles más especializados y con menor capacidad de adaptación o encaje a la nueva realidad tecnológica.

Los parques de carbón tienen como función abastecer de carbón a las plantas de siderurgia integral. En ellos se lleva a cabo la recepción y el almacenamiento del carbón desde sus lugares de origen, su dosificación y molienda, la mezcla y homogenización, y el envío a planta. Estas labores se llevan a cabo mediante rotapalas, cintas transportadoras, estaciones de dosificación, molinos, apiladoras, lechos de homogeneización, reclaimers e instalaciones ferroviarias. Los trabajadores que ejecutan y controlan el proceso son técnicos y operarios de producción, y personal de mantenimiento, mecánicos y electricistas. Es posible que estas profesiones, cuyo ejercicio, aunque ligado al carbón, no está condicionado por éste en cuanto a destrezas y conocimientos técnicos, puedan obtener correspondencia en las etapas de recepción y pretratamiento de materias primas del proceso de fabricación de acero verde.

### 6.6.2. Ocupaciones con menos nivel de cualificación

Los profesionales que prestan sus servicios en las empresas siderúrgicas se encuentran clasificados, conforme señalan los convenios colectivos sectoriales y los alcanzados con las respectivas empresas<sup>76</sup>, en divisiones funcionales y grupos profesionales. Los criterios de clasificación se basan en la consideración conjunta de diferentes elementos interrelacionados como son el tipo de tareas a desempeñar dentro de la organización, las responsabilidades que conllevan, el nivel de cualificación requerido y la experiencia. Funcionalmente se establecen tres divisiones:

- Técnicos, personal con alto grado de cualificación y/o experiencia que desempeñan tareas de elevada cualificación y complejidad.
- Empleados, trabajadores cuya formación les habilita en la realización de tareas administrativas, comerciales, organizativas, de informática, de laboratorio y, en general, de oficina, y que posibilitan la gestión socioeconómica y de producción de la empresa.

76. BOE nº10, 12 de enero de 2022.

- Operarios, personal cuyos conocimientos les permite realizar operaciones relacionadas con la producción, directamente interviniendo en el proceso productivo, o indirectamente en tareas complementarias y auxiliares como el mantenimiento o el transporte.

El convenio colectivo estatal contempla siete grupos profesionales, de mayor a menor nivel de independencia, responsabilidad y cualificación.

De ellos, los grupos que requieren una menor formación son:

- **Grupo profesional 6:** formación equivalente a Enseñanza Secundaria Obligatoria (ESO) y conocimientos obtenidos durante el ejercicio de su profesión.
- **Grupo profesional 7:** ESO o certificado de escolaridad o equivalente.

Ambos están compuestos, desde el punto de vista funcional, exclusivamente por empleados y personal de operaciones. Estas colocaciones serían las potencialmente más afectadas por la implementación de los cambios tecnológicos, tanto digitales como de sustitución del proceso de descarbonización en la fabricación del acero, debido a que sus tareas habituales podrían ser cubiertas, en muchas ocasiones, mediante nuevas tecnologías.

Van a verse especialmente afectadas aquellas plantillas que no tengan o no adquieran competencias digitales, así como aquellas en las que su trabajo era muy manual, frente a la creciente automatización o implantación de técnicas especializadas...  
Todo va a estar hiperconectado.

**SIDEREX**

El mayor problema será en aquellas personas sin formación, en puestos más prescindibles; debe hacerse un esfuerzo en esa recualificación, recualificación encaminada a las prioridades de la empresa. El dinero público y privado debe ir destinado en parte a estas cuestiones.

**UNIVERSIDAD DE OVIEDO**

### 6.6.3. Ocupaciones desarrolladas a pie de proceso

Los perfiles profesionales en los que la mayor parte o la totalidad de las tareas que componen su desempeño tienen lugar “a pie de máquina” muy posiblemente se vean sustituidos por robots y automatismos que permitan una ejecución de tareas más eficiente bajo condiciones ambientales de riesgo propias del proceso siderúrgico, con independencia del nivel de formación del operario<sup>77</sup>. Entre estas ocupaciones se encontrarían los puestos de inspección y control de materiales “in situ” que pueden ser sustituidos mediante cámaras y sensores.

<sup>77</sup>. Joaquín Barreiro, catedrático de ingeniería mecánica de la Universidad de León.

## 6.7. Oferta formativa adaptada a las necesidades de la doble transición del sector siderúrgico: formación profesional y grados universitarios

El camino iniciado hacia la descarbonización del sector de la siderurgia en España llevará a las acerías y sus empresas subsidiarias hacia una transición laboral en términos de una nueva creación de empleos y/o la recualificación y adaptación de los puestos de trabajo existentes.

Como se señalaba con anterioridad, el sector siderúrgico tiene una necesidad formativa vinculada a las siguientes áreas de conocimientos:

- Big data y análisis de datos
- Tecnología de procesos,
- TIC, ciberseguridad y seguridad digital.
- Descarbonización, sostenibilidad y gestión medioambiental.

### 6.7.1. Formación profesional

En este marco, los centros de Formación Profesional (FP) constituyen una pieza fundamental para la formación y el aprendizaje de los nuevos técnicos y técnicas que requiere la industria del acero, así como para la recualificación y adaptación de las personas trabajadoras actualmente trabajando en el sector.

Los ciclos básicos, medios, superiores o de especialización vinculados a la siderurgia y que pueden servir de referencia a la hora de valorar la adaptación de la oferta formativa a las necesidades de esta industria son, en función de las áreas de conocimiento señaladas previamente, las siguientes:

- **Big Data**
  - **Inteligencia artificial y Big Data:** orientado a la programación y aplicación de sistemas inteligentes que optimizan la gestión de la información y la explotación de datos masivos.
- **Tecnología de procesos**
  - **Soldadura y calderería:** ejecución de los procesos de fabricación, montaje y reparación de elementos de calderería, tuberías, estructuras metálicas y carpintería metálica aplicando las técnicas de soldeo, mecanizado y conformado.
  - **Mantenimiento electromecánico:** montaje y mantenimiento de maquinaria y equipo industrial y líneas automatizadas de producción.
  - **Administración y finanzas/gestión:** organización y ejecución de operaciones de gestión y administración en los procesos comerciales, laborales, contables, fiscales y financieros de una empresa.
  - **Mecanizado:** mecanizado y fabricación de piezas con máquinas convencionales (tornos, fresadoras...) y con máquinas CNC.
  - **Actividades comerciales:** actividad en cualquier sector productivo dentro del área de comercialización o en las distintas secciones de establecimientos comerciales realizando actividades de venta de productos y/o servicios a través de diferentes canales de comercialización o bien realizando funciones de organización y gestión de su propio comercio.

- **Automatización y robótica industrial:** desarrollo y gestión de proyectos de montaje y mantenimiento de instalaciones automáticas de medida, regulación y control de procesos en sistemas industriales, así como supervisión, ejecución, mantenimiento y puesta en marcha de dichos sistemas.
  - **Construcciones metálicas:** Diseñar, calcular, planificar, presupuestar y ejecutar construcciones metálicas singulares.
  - **Mecatrónica industrial:** configuración y optimización de sistemas mecatrónicos industriales. Planificación, supervisión y ejecución en su montaje y mantenimiento.
  - **Sistemas electrotécnicos y automatizados:** desarrollo de proyectos, gestión y supervisión del montaje y mantenimiento de instalaciones electrotécnicas para baja tensión.
  - **Fabricación inteligente:** desarrollo y gestión de proyectos de adaptación de procesos productivos y aplicando tecnologías avanzadas de control de la producción.
  - **Transporte y mantenimiento de vehículos.** El transporte podría ser un nicho de creación de empleo en el corto plazo, con el modelo actual de aprovisionamiento de materia prima (chatarra fundamentalmente).
- **Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)**
    - **Diseño en fabricación mecánica:** diseño de productos de fabricación mecánica, fundición, forja, estampación y pulvimetalurgia, utillaje de procesamiento de chapa y moldes y modelos para polímeros.
    - **Programación y producción en la fabricación:** planificación, programación y control de la fabricación por mecanizado y montaje de bienes de equipo.
    - **Ciberseguridad en entornos de las tecnologías de operación:** definición e implementación de estrategias de seguridad en las organizaciones e infraestructuras industriales realizando diagnósticos de ciberseguridad, identificando vulnerabilidades e implementando medidas necesarias.
    - **Digitalización del mantenimiento industrial:** implantación y gestión de proyectos de digitalización de operaciones de mantenimiento en entornos industriales.
- **Sostenibilidad**
    - **Auditoría energética:** capacitación para la auditoría y asesoramiento en el uso y consumo de energía y coste asociado en edificios, instalaciones u operaciones industriales o comerciales, transporte vinculado a la actividad o servicio privado o público, con el objetivo de identificar e informar sobre los flujos de energía y de su potencial de mejora.
    - **Acopio, clasificación y almacenamiento inicial de residuos** (Familia Profesional de Seguridad y Medio Ambiente).
    - **Gestión de Residuos:** recogida, transporte, valorización y eliminación de los residuos industriales, según protocolos, adoptando las medidas de prevención de riesgos laborales y conservación del medio ambiente.
    - **Máster interuniversitario en Tecnologías de Hidrógeno:** formación en tecnologías del hidrógeno y sus aplicaciones, para empresas que están introduciendo o prevean introducir en un futuro tecnologías de hidrógeno en sus productos o servicios.



Junto a esta oferta académica, los centros de Formación Profesional suelen disponer de un catálogo de **Cursos de Formación** específicos e intensivos adaptados a las necesidades o requerimientos de empresas, trabajadores, trabajadoras o personas en situación de desempleo, interesados en la recualificación o reciclaje, en las diferentes familias profesionales de mecánica, electricidad o administración (cursos de soldadura, mecanizado en máquina herramienta convencional, diseño asistido por ordenador, instalaciones eléctricas, automatismos industriales, informática en el área administrativa, contabilidad....). Se trata de una vía de formación continua de carácter intersectorial o sectorial, cuyo objetivo es mejorar las competencias de las personas para su inserción o reinserción en el mercado laboral en los puestos de trabajo que requiera, en cada momento, el sistema productivo.

Igualmente, en los centros de FP se pueden obtener los Certificados de Profesionalidad (CP), que son formaciones que aportan una acreditación oficial de competencias según el Catálogo Nacional de Cualificaciones Profesionales.

El CP es un documento que tiene validez en todo el territorio español y capacita a la persona para desarrollar una actividad laboral específica a través de los diferentes módulos formativos, incluyendo prácticas formativas en centros de trabajo. A través de la realización de los CP, se pueden convalidar de forma parcial estudios de Formación Profesional.

### **6.7.2. Formación universitaria**

En el ámbito universitario encontramos la segunda relación de puestos de trabajo emergentes, anteriormente más vinculados a otros sectores, pero con mayor desarrollo a corto y medio plazo en la industria siderúrgica. En el transcurso de las entrevistas realizadas, los informantes clave nos señalaron aquellos puestos que consideran claves para el desarrollo de unas acerías más especializadas, vinculadas a la transformación digital y al proceso de descarbonización, a procesos de producción orientados a los vectores de energía eléctricos o de hidrógeno y productos sintéticos, y a un mayor control de la composición química del acero, orientándose a la fabricación de piezas más diferenciales.

Los grados y másteres con mayor empleabilidad serían los ya mencionados en apartados anteriores y que estarán ligados al análisis de datos (preventivos y predictivos), algoritmo, matemática, estadística, sostenibilidad, inteligencia artificial, puestos tecnológicos cualificados para entender bien todo el proceso y las claves del negocio (management), ciberseguridad, programación, seguridad digital, gestión medioambiental, energías renovables, transporte y logística, fabricación aditiva, investigación de procesos e innovación, ingeniería industrial...

A modo de ejemplo incluimos algunos de los grados, cursos y másteres que se están impartiendo a nivel universitario, universidades por áreas de conocimientos:

- **Big Data**

- **Grado en Ciencia e Ingeniería de datos:** conjunto de técnicas exploratorias y estadísticas que permiten elaborar, representar e interpretar los datos obtenidos de la observación simultánea de varias variables estadísticas.
- **Grado en Ingeniería de Datos e Inteligencia Artificial:** tratamiento, adquisición y extracción de datos y la Ingeniería Artificial.
- **Máster universitario en Análisis de Datos, Ciberseguridad y Computación en la Nube:** aplicación de la inteligencia artificial para extraer todo el potencial de los datos, identificar las necesidades de ciberseguridad y diseñar, desarrollar y emplear medidas para proteger la información, así como las infraestructuras y productos software que lo soportan, diseñar, aprovisionar y gestionar infraestructuras en la nube de alta disponibilidad.
- **Computación Cuántica:** aplicaciones de esta modalidad para el futuro de la tecnología.
- **Grado en Economía:** herramientas matemático-estadísticas para la elaboración de diagnósticos.

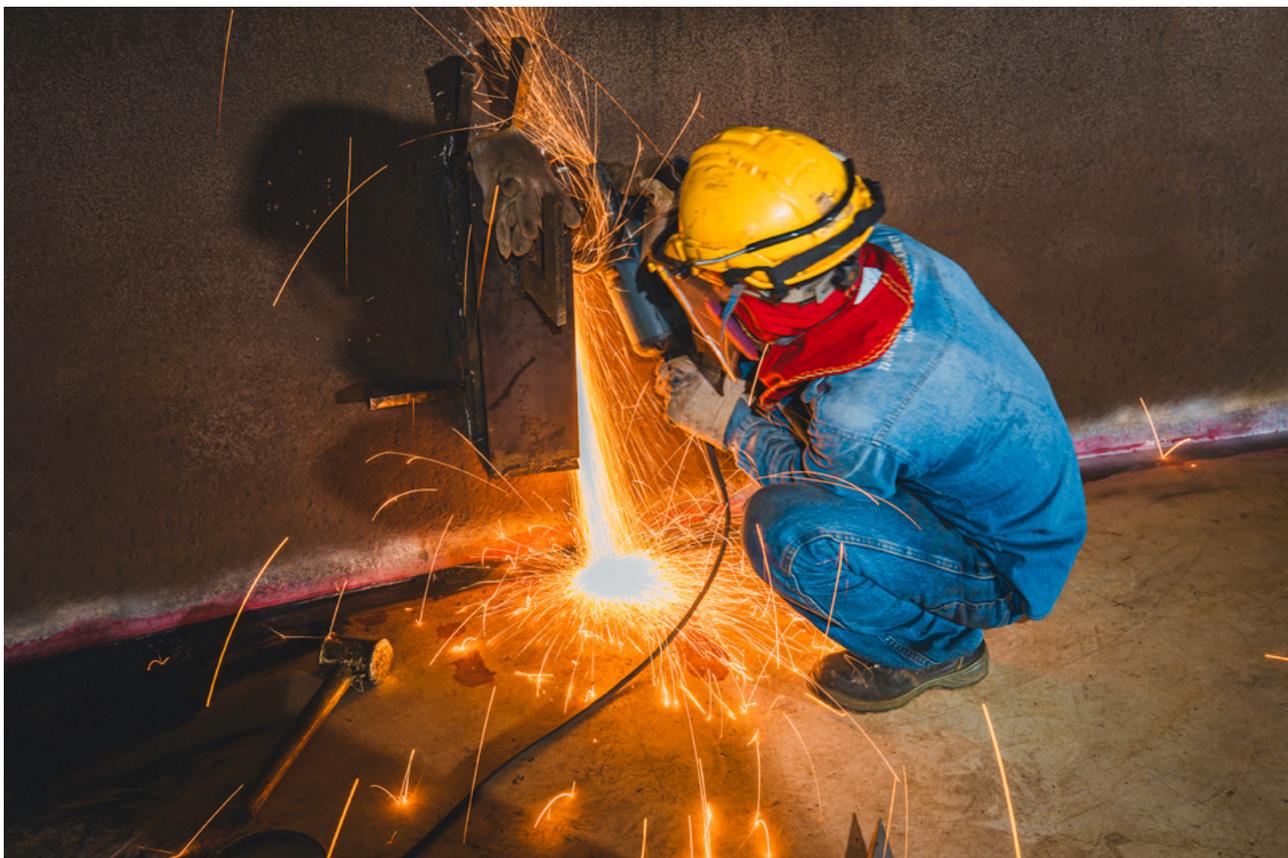
- **Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC)**

- **Grado en Matemáticas:** empleo como técnico, asesor, consultor, jefe de equipos y dirección de trabajos en empresas del campo de la informática.
- **Doble Grado en Ingeniería Informática del Software/Grado en Matemáticas:** forma a profesionales e investigadores que dominan la base conceptual para la resolución de diversos problemas y una gran capacidad para aplicarla e incorporarla en desarrollos software.
- **Grado en Ingeniería Informática:** capacitación para ocupar puestos de responsabilidad en empresas del sector de las TIC y departamentos de informática de empresas.

- **Tecnologías de Procesos**

- **Doble grado en Física y Matemáticas:** preparan a los egresados en trabajos multidisciplinares y colaboran en distintos campos, incluido el medioambiental (efecto invernadero, accidentes radioactivos, contaminación ambiental y acústica...).
- **Grado en Administración y Dirección de Empresas:** planificar, dirigir y poner en marcha proyectos empresariales.
- **Máster en Innovación Empresarial y Dirección de Proyectos:** desarrollo de habilidades en el ámbito de la gestión de personas, así como una visión de los modelos organizacionales de las empresas excelentes.
- **Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto:** diseño de productos, de manera creativa, innovadora y respetuosa con el medio ambiente.
- **Grado en Ingeniería de Organización Industrial:** hacer más competitivas y sostenibles las actividades industriales, ocupando puestos técnicos que promuevan la innovación y la mejora de los modelos organizativos.
- **Grado en Ingeniería Mecatrónica:** proceso ingenieril que considera el diseño y la fabricación de productos o sistemas inteligentes integrando diferentes funciones, haciendo uso de las diferentes herramientas mecánicas, electrónicas o informáticas.
- **Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales:** visión completa de todas las tecnologías industriales, desde la mecánica hasta la electrónica y la automatización, pasando por la eléctrica y sin olvidar aspectos de la organización industrial.

- **Máster en Industria 4.0:** conocimientos necesarios para dar solución a problemáticas reales surgidas por la digitalización de las organizaciones industriales, fabricación aditiva, etc.
- **Grado en Gestión del Transporte y Logística:** gestión sostenible de infraestructuras y servicios de transporte asociados a la cadena de suministro, la logística empresarial y la movilidad urbana e interurbana.
- **Sostenibilidad**
  - **Grado en Ingeniería de Energías Renovables:** profesional interdisciplinar con conocimientos sólidos en ingeniería industrial y en las tecnologías específicas de las energías renovables.
  - **Competitividad Empresarial y Territorial, Innovación y Sostenibilidad:** Enfatiza la innovación como factor crítico de competitividad y la sostenibilidad como elemento clave.
  - **Máster Medio Ambiente, Sostenibilidad y ODS:** formación de conocimientos, actitudes y valores para proporcionar soluciones a los problemas de sostenibilidad.
  - **Máster Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo:** uso racional de los recursos energéticos y materiales, investigar en la utilización de nuevas fuentes de energía y desarrollar nuevas tecnologías más eficientes.
  - **Grado en Ingeniería Química:** estudio, diseño, manutención, evaluación, optimización, simulación, construcción y operación de todo tipo de elementos en la industria de procesos, que es aquella relacionada con la producción industrial de compuestos y productos cuya elaboración requiere de sofisticadas transformaciones físicas y químicas de la materia.
  - **Grado en Física:** estudio de aspectos relacionados con la energía, la materia y sus interacciones. Formación centrada en los fenómenos físicos y los modelos y las leyes que los explican,
  - **Grado en Ingeniería de Tecnologías de Minas y Energía:** trabaja con los recursos geológicos, marítimos y terrestres, para la obtención de recursos energéticos y productos de transformación para la industria.



Asimismo, las Universidades, a través del Ministerio de Ciencias, Innovación y Universidades, han creado el Plan Microcreds, un sistema que permite financiar tanto la producción de micro credenciales, como becas y ayudas para personas en desempleo, baja renta o situación de vulnerabilidad social, así como para actividades de intermediación entre la universidad y los sectores productivos. Las micro credenciales consagran la formación a lo largo de la vida como una función básica de la universidad.

Las micro credenciales universitarias son credenciales derivadas de formaciones breves; focalizadas en la adquisición de conocimientos, habilidades o competencias específicos; de formato flexible y adaptable a las diversas necesidades y limitaciones de disponibilidad del alumnado adulto, incluyendo el uso de la modalidad virtual o semi virtual, y con una estructura modular por la que cada formación puede tener sentido de forma independiente, y al mismo tiempo, acumularse y combinarse en credenciales más amplias, en el marco de un itinerario formativo personalizado.



# PARTE 4. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS PARA UNA INDUSTRIA SIDERÚRGICA SOSTENIBLE

## 7. Conclusiones y propuestas para una industria siderúrgica sostenible y descarbonizada

**La situación actual de la siderurgia en España exige una respuesta estratégica y decidida** que garantice su viabilidad a largo plazo, al mismo tiempo que refuerce su competitividad y sostenibilidad en el contexto de la transición energética global. Ante los desafíos que plantean la descarbonización y la competencia internacional, resulta imperativo adoptar un enfoque basado en el hidrógeno verde como elemento clave para transformar la industria siderúrgica, posicionando a España como referente en este ámbito. Este compromiso, que debe iniciarse de manera inmediata y sin dilaciones, debe ir más allá de esperar iniciativas europeas, adaptándose a las características específicas del país, aprovechando sus ventajas competitivas y recursos disponibles. La urgencia de actuar radica en el poco tiempo restante para cumplir los objetivos climáticos y la necesidad de establecer las bases de una industria sólida y sostenible que garantice el futuro del sector.

El riesgo de deslocalización de la industria siderúrgica, uno de los sectores más afectados por las políticas climáticas y la globalización, ya es una realidad que está impactando negativamente en el sector, exigiendo una acción urgente y decidida. Implementar un modelo que combine hidrógeno verde, electricidad renovable y el aprovechamiento de la red consolidada de hornos de arco eléctrico del país permitirá no solo prevenir este fenómeno, sino también consolidar a España como un centro estratégico para la producción de acero sostenible.

**El hidrógeno verde se perfila como un elemento esencial para la transformación de la siderurgia española** y, en particular, para avanzar hacia un modelo de producción sostenible y competitivo. Su producción, basada en la electrólisis del agua utilizando energía renovable, convierte a España en un país con un potencial único gracias a su capacidad instalada en fuentes como la solar y la eólica. La amplia disponibilidad de estas energías permite no solo garantizar la producción de hidrógeno verde a gran escala, sino también hacerlo de manera competitiva frente a otros países europeos.

El desarrollo de esta estrategia requiere una planificación exhaustiva que contemple, en primer lugar, la inversión en infraestructuras adecuadas para la producción, almacenamiento y transporte del hidrógeno. Es fundamental modernizar las actuales redes de gas natural para adaptarlas a este nuevo recurso, al tiempo que se desarrollan nuevos hidrodutos que conecten los centros de generación renovable con los polos industriales siderúrgicos. Además, proyectos estratégicos como H<sub>2</sub>Med, que busca interconectar las redes de hidrógeno de la península ibérica con Europa, deben recibir un apoyo decidido para posicionar a España no solo como productor, sino también como exportador clave en el mercado europeo del hidrógeno.

En paralelo, es imprescindible establecer un marco regulatorio claro y estable que fomente la inversión privada en la cadena de valor del hidrógeno verde. Esto incluye desde incentivos fiscales hasta la creación de mercados de hidrógeno que promuevan su integración en sectores industriales estratégicos, como el siderúrgico. Asimismo, la cooperación entre los sectores público y privado será crucial para el desarrollo de tecnologías innovadoras que reduzcan los costos de producción y aumenten la eficiencia del proceso de electrólisis.

Resulta asimismo esencial el **apoyo e impulso a las políticas, públicas y privadas, en I+D+i** para responder a las importantes necesidades tecnológicas y de producto del sector (integración del H<sub>2</sub>V, fabricación del DRI, nuevas calidades de acero, etc.).

Adicionalmente, y de manera imprescindible, **la estrategia debe incluir un enfoque específico en la formación y especialización de la fuerza laboral** para que pueda adaptarse a las demandas tecnológicas y operativas del uso del hidrógeno en la siderurgia. Solo mediante una acción coordinada y urgente en estas áreas será posible transformar la industria siderúrgica española en un referente global de sostenibilidad y competitividad, mientras se sientan las bases para una economía robusta y alineada con los objetivos climáticos internacionales.

Por ello, un elemento central de esta transformación debe ser el diseño de políticas de empleo que integren la realidad demográfica de la industria siderúrgica en España, donde la edad media de las personas trabajadoras es elevada y el relevo generacional plantea un desafío inminente. Esta circunstancia, lejos de ser un obstáculo, puede convertirse en una oportunidad estratégica si se implementan programas de reentrenamiento ambiciosos que permitan adaptar las competencias laborales a las necesidades de un sector en transición. Además, se debe seguir impulsando la integración de la mujer en el sector, actualmente infrarrepresentada y relegada a áreas y actividades muy específicas.

Esta recualificación debe abordar de forma específica la capacitación en el manejo de tecnologías relacionadas con la producción y el uso del hidrógeno verde, así como con la operación de infraestructuras renovables y los nuevos sistemas de producción siderúrgica, como los hornos de arco eléctrico y los procesos de reducción directa del hierro (DRI). Este enfoque no solo permitirá preservar el empleo en un sector tradicionalmente intensivo en mano de obra, sino que también contribuirá a preparar a las nuevas generaciones para liderar la industria en un entorno marcado por la digitalización y la sostenibilidad.

Además, es fundamental que estos programas estén diseñados teniendo en cuenta la diversidad de perfiles laborales en la siderurgia. La formación debe ser accesible para todas las categorías profesionales, desde los operarios hasta los mandos intermedios y los técnicos especializados. Para ello, será necesario establecer colaboraciones entre los centros de formación profesional, las universidades, los sindicatos y las empresas, garantizando una oferta formativa alineada con las demandas del mercado y adaptada a las características de las personas trabajadoras.

La elevada edad media de la plantilla exige, asimismo, un enfoque que facilite la transición hacia el retiro de las personas trabajadoras de mayor edad, al mismo tiempo que promueve la incorporación de jóvenes talentos al sector. Esto puede lograrse mediante planes específicos de jubilación flexible que permitan el traspaso de conocimiento intergeneracional, así como mediante incentivos para la contratación de personal joven y cualificado en áreas clave para la transformación tecnológica y energética.

Un aspecto crucial es que este proceso de recualificación y modernización del empleo debe inscribirse en el marco de una transición justa, que no solo busque minimizar los impactos negativos del cambio, sino también maximizar las oportunidades para las comunidades y territorios más dependientes de la siderurgia. Esto implica invertir en programas de desarrollo regional que generen alternativas económicas para las zonas más afectadas, al tiempo que se refuerzan los servicios públicos esenciales para garantizar el bienestar de las personas trabajadoras y sus familias.

La integración de estas medidas en una estrategia nacional de hidrógeno verde y siderurgia sostenible permitiría no solo asegurar la viabilidad y la competitividad del sector, sino también construir un modelo industrial socialmente inclusivo y ambientalmente responsable, posicionando a España como un referente global en la transición hacia una economía descarbonizada.

**La adopción del escenario basado en el uso de hidrógeno verde es una apuesta ambiciosa, pero realista.** España cuenta con un contexto particularmente favorable para su implementación, no solo por su capacidad instalada en energías renovables, sino también por disponer de una red de hornos de arco eléctrico (EAF) significativamente superior a la de otros países europeos. Esta infraestructura, que ya supone una ventaja competitiva en términos de descarbonización y eficiencia energética, sitúa al país en una posición única para liderar la transformación siderúrgica hacia procesos más sostenibles. Además, la experiencia acumulada en reciclaje de acero refuerza esta ventaja, ofreciendo una base industrial sólida que puede adaptarse con relativa rapidez a los nuevos retos tecnológicos que exige la transición.

**Esta combinación de factores convierte a España en un candidato idóneo para establecer un modelo propio que atienda sus necesidades específicas y aproveche al máximo sus fortalezas.** Si bien es deseable avanzar de manera coordinada dentro del marco europeo, es imprescindible que España no dependa exclusivamente de las dinámicas continentales, especialmente si éstas no desarrollan una estrategia pertinente y acorde con las características y ventajas competitivas del país. En este sentido, adoptar una perspectiva nacional permitirá consolidar un liderazgo en la producción de acero bajo en carbono, atrayendo inversiones estratégicas, creando empleo de calidad y garantizando una ventaja competitiva sostenible frente a otros mercados internacionales.

**La acción inmediata es imprescindible.** Estando ya en el año 2025, queda poco margen para alcanzar los objetivos fijados para 2030. Por ello, es fundamental desplegar una estrategia nacional que abarque desde inversiones en infraestructuras, incentivos fiscales y apoyo a la innovación tecnológica, hasta el diseño de políticas públicas que faciliten esta transición. Este enfoque debe estar respaldado por una colaboración estrecha entre el Gobierno, las Administraciones Públicas, el sector privado y los agentes sociales, asegurando una planificación eficiente y una ejecución efectiva.

En conclusión, España se encuentra en una encrucijada decisiva para el futuro de su industria siderúrgica. La oportunidad de liderar una transformación hacia un modelo sostenible basado en el hidrógeno verde, combinado con su capacidad instalada en energías renovables, su red de hornos de arco eléctrico y su experiencia en reciclaje de acero, coloca al país en una posición única. Sin embargo, aprovechar este potencial requiere actuar de inmediato. No es posible esperar a que la Unión Europea articule soluciones comunes; España debe diseñar e implementar una estrategia nacional que responda a sus características y fortalezas específicas.

Este camino exige una acción coordinada que contemple la inversión en infraestructuras, el desarrollo de un marco regulatorio claro y el impulso de la colaboración público-privada. Al mismo tiempo, es **fundamental poner a las personas en el centro de este cambio, promoviendo una transición justa que recualifique a las actuales plantillas siderúrgicas, facilite la entrada de jóvenes al sector y garantice oportunidades económicas para los territorios más dependientes de esta industria.** La edad media elevada de las personas trabajadoras no debe percibirse como una debilidad, sino como una oportunidad para gestionar un cambio intergeneracional que asegure la transferencia de conocimientos y fortalezca la resiliencia del sector.

La apuesta por el hidrógeno verde no solo es una respuesta a los desafíos climáticos, sino una estrategia para revitalizar la industria, atraer inversiones, generar empleo de calidad y consolidar una ventaja competitiva sostenible. En este contexto, **España tiene la responsabilidad de demostrar que es posible construir un modelo industrial socialmente inclusivo, ambientalmente responsable y económicamente competitivo.** Liderar esta transición no solo garantizará el futuro del sector siderúrgico, sino que posicionará al país como un referente global en la lucha contra el cambio climático y la construcción de una economía baja en carbono. El momento de actuar es ahora, y España tiene todos los recursos necesarios para hacerlo con éxito.

## 8. Bibliografía y fuentes de información

- Alianza por la competitividad de la industria española. (s.f.). *Alianza por la competitividad de la industria española*. <https://www.alianzaindustria.es/>
- Arcelor Mittal. *Planes de autoprotección. Planta de Siderurgia Integral de Gijón y Avilés*. <https://europeanprocurementorg-avileshub.arcelormittal.com/Asturias%20Documentation/Seguridad%20y%20Salud/Emergencias/>
- Centro de Formación Somorrostro. (s.f.). *Somorrostro centro formación*. <https://www.somorrostro.com/>
- Centro Público Integrado de Formación Profesional Pirámide. (s.f.). *CPIFP Pirámide*. <https://www.cpippiramide.com/>
- Comisión Europea (30 de abril de 2024). *La subasta del Banco Europeo del Hidrógeno proporciona 720 millones EUR para la producción de hidrógeno renovable en Europa*. (Comunicado de prensa). [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_24\\_2333](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_24_2333)
- Coralís. (s.f.). *Simbiosis industrial en industrias de uso intensivo de energía*. <https://www.coralis-h2020.eu/>
- Cordina, C. (mayo 2024). *Principios generales de la política industrial de la Unión*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/61/principios-generales-de-la-politica-industrial-de-la-union>
- Cuartas, J. (27 de noviembre de 2024). *La decisión de Arcelor Mittal que deja el futuro del acero en el aire: claves, contexto y lo que realmente implica*. *La Nueva España*. <https://www.lne.es/gijon/2024/11/27/decision-arcelormittal-deja-futuro-acero-112083580.html>
- Chiavegatto, M. (10 de julio de 2024). *Hydnum Steel obtiene la declaración de "Proyecto Prioritario" por la Junta de Castilla – La Mancha para convertirse en la primera acería verde de España*. <https://hydnumsteel.com/es/prensa/hydnum-declaracion-de-proyecto-prioritario/>
- De Aragón, E. (30 de noviembre de 2021). *Ursula Von der Leyen ha afirmado que el coste del hidrógeno verde podría bajar de 1,8 euros/kg en 2030*. *Hidrógeno verde*. <https://hidrogeno-verde.es/coste-del-hidrogeno-verde/>
- Derichebourg España. (5 de octubre de 2021). *Clasificación de la chatarra*. <https://www.derichebourgespana.com/clasificacion-de-la-chatarra-cuantos-tipos-de-chatarra-existen/>
- Edp. (s.f.). *Edp*. <https://espana.edp.com/es>
- EEX. (s.f.). *EEX HYDRIX index. Hydrogen*. Recuperado el 20 de octubre de 2024 de <https://www.eex-transparency.com/hydrogen/germany>
- Enagas. (28 de noviembre de 2023). *H<sub>2</sub>med y la Red Troncal Española de Hidrógeno, incluidos en la lista de Proyectos de Interés Común de la Comisión Europea*. <https://www.enagas.es/es/sala-comunicacion/actualidad/notas-prensa/h2med-red-troncal-espanola-hidrogeno-pci/>
- Enagas. (s.f.). *Una red de transporte para suministrar hidrógeno*. <https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/transporte-hidrogeno/>
- Energética. (3 de octubre de 2024). *Accelera inaugura en Guadalajara una nueva planta de electrolizadores con una capacidad de 500 MW anuales*. <https://www.energetica21.com/noticia/accelera-inaugura-en-guadalajara-una-nueva-planta-de-electrolizadores-con-una-capacidad-de-500-mw-anuales>

- Energías Renovables. (7 de noviembre de 2022). El corredor del Ebro aspira a convertirse en el polo del Hidrógeno Verde del sur de Europa. *Energías Renovables*. <https://www.energias-renovables.com/hidrogeno/el-corredor-del-ebro-aspira-a-convertirse-20221107>
- Eurostat. Electricity prices for non-household consumers-bi-annual data (from 2007 onwards). [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_pc\\_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg\\_price.nrg\\_pc](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_205/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_price.nrg_pc)
- Fan, Z., & Friedmann, S. J. (2021). Low-carbon production of iron and steel: Technology options, economic assessment, and policy. *Joule*, 5(4), 829-862
- FEAF. (s.f.). *Materias Primas*. Recuperado el 23 de septiembre de 2024 de <https://feaf.es/materias-primas/>
- Fernández, C. (19 de mayo de 2023). *Así será el mercado del hidrógeno verde*. Ideas pwc. <https://ideas.pwc.es/archivos/20230519/asi-sera-el-mercado-del-hidrogeno-verde/>
- Gonzalo, A. (14 de julio de 2024). Hidrógeno verde para un transporte sostenible: por tierra, mar y aire. *El País*. <https://elpais.com/proyecto-tendencias/2024-07-17/hidrogeno-verde-para-un-transporte-sostenible-por-tierra-mar-y-aire.html>
- Green Hydrogen Catapult. (s.f.). *Launching a new era of renewables-based hydrogen production*. <https://greenh2catapult.com/>
- Hydnum Steel. (s.f.). *Hydnum Steel*. <https://hydnumsteel.com/es/>
- Instituto Conde de Rius. (s.f.). *Institut comte de Rius*. <https://comtederius.cat/>
- Instituto Escuela del Trabajo de Barcelona. (s.f.). *Institut Escola del Treball de Barcelona*. <https://escoladeltreball.org/es/>
- Audioalde Lanbide Eskola. (s.f.). *Laudioalde Lanbide Eskola*. <https://www.laudioalde.eus/>
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico. *Boletín Oficial del Estado*, 310, de 27 de diciembre de 2013. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/12/26/24/con>
- López de Benito, J. (27 de agosto de 2024). *Un paso más para hacer realidad el valle del hidrógeno renovable del Campo de Gibraltar*. <https://hidrogeno-verde.es/edp-green-h2-los-barrios/>
- ManpowerGroup. (16 de enero de 2024). *El hidrógeno verde y los biocombustibles crearán 1.1 millones de empleos en Europa hasta 2040*. (Nota de prensa). <https://www.manpowergroup.es/estudios/las-moleculas-verdes-la-inminente-revolucion-del-mercado-del-empleo-en-europa-realizado-por-manpowergroup-y-cepsa>
- Máquinas de derribos y rcds, *Revista Profesional de Maquinaria para Deconstrucción y Valorización de Residuos*, nº 24, enero-febrero-marzo de 2016, págs.5-14
- Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (s.f.). *Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades*. <https://www.ciencia.gob.es/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Sistema Español de Inventario de Emisiones. Metodología de estimación de emisiones. (2022). *Carga de hornos altos y coladas de arrabio*. Ficha técnica. [https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/040202-hornosaltos-arrabio\\_tcm30-446948.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/040202-hornosaltos-arrabio_tcm30-446948.pdf)
- Moeve. (s.f.). Valle Andaluz del Hidrógeno Verde. Moeve. <https://www.moeveglobal.com/es/negocios/commercial-clean-energies/hidrogeno-verde/valle-andaluz>
- Mondragón Unibertsitatea. (s.f.). *Mondragón Unibertsitatea*. <https://www.mondragon.edu/es/>

- NTTData. (2023). *Smart Industry 4.0 los retos en el camino hacia la Transformación Digital*. (IV Edición). <https://es.nttdata.com/documents/smart-industry-40-2023-v4.pdf>
- Omie. (s.f.). <https://www.omie.es/>
- Observatorio de la Fundación Laboral de la Construcción. (2023). *Informe sobre el sector de la construcción*. <https://www.observatoriodelaconstruccion.com/>
- Proyecto H<sub>2</sub>med. (s.f.). *El primer gran corredor de hidrógeno verde de Europa*. <https://h2medproject.com/>
- Red eléctrica. (s.f.). *Generación*. <https://www.ree.es/es/datos/generacion>
- Red de Universidades Anáhuac. (26 de marzo de 2021). ¿Qué son las soft skills y por qué son tan importantes? *Blog de la Red de Universidades Anáhuac*. <https://www.anahuac.mx/blog/que-son-las-soft-skills-y-por-que-son-tan-importantes>
- Re4industry. (s.f.). *100% Renewable Energies for Industries*. <https://re4industry.eu/>
- Regiolab. (27 de noviembre de 2024). *Observatorio nº72 Impacto del frenazo de las inversiones en DRI: empleo y valor añadido*. <https://regiolab.es/observatorio-no-72-impacto-del-frenazo-a-las-inversiones-en-dri-empleo-y-valor-anadido/>
- Residuos profesional. (16 de julio de 2021). *El uso de materias primas recicladas, clave para la reducción de emisiones en la UE*. <https://www.residuosprofesional.com/reciclaje-reduccion-emisiones/>
- Resolución de 29 de diciembre de 2021, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el IV Convenio colectivo estatal de la industria, las nuevas tecnologías y los servicios del sector del metal. *Boletín Oficial del Estado*, 10, de 12 de enero de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/res/2021/12/29/7>
- Rubio, J. (21 de mayo de 2024). Estos son todos los detalles del proyecto de acero verde que se propone convertir Puertollano en “referente de la industria del futuro”. *La Comarca de Puertollano*. <https://www.lacomarcadepuertollano.com/articulo/puertollano/son-todos-detalles-imponente-proyecto-acero-verde-que-plantea-convertir-puertollano-referente-industria-futuro/20240521233328547296.html>
- Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczyk, D., ... & Wisser, R. (2014). Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In *Climate change 2014: Mitigation of climate change: Contribution of working group III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1329-1356). Cambridge University Press
- Shahabuddin, M., Brooks, G., & Rhamdhani, M. A. (2023). Decarbonisation and hydrogen integration of steel industries: Recent development, challenges and techno-economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136391
- SHYNE. (s.f.). *Proyectos. El Corredor del Hidrógeno del Ebro*. <https://www.shyne.es/proyecto/el-corredor-del-hidrogeno-del-ebro>
- Sidenor. (s.f.). *Cambio climático*. <https://www.sidenor.com/es/sostenibilidad-asg/medioambiente/cambio-climatico/>
- Sigrauto. (s.f.). *Evolución histórica de los vehículos tratados*. <https://www.sigrauto.com/cuantos-vehiculos-fuera-de-uso-se-tratan-al-ano/evolucion-historica>
- Stages, L. C. (2012). Life cycle greenhouse gas emissions from solar photovoltaics. *J. Ind. Ecol*, 16, S122

- UNESID. (2023). La industria siderúrgica española 2023. *Revista UNESID*. <https://unesid.org/>
- UNESID. (entrada de blog). Datos de producción de acero en 2023. *El blog de UNESID*. <https://unesid.org/blog/4/>
- UNESID. (s.f.). *Plantas de producción y transformación de acero en España*. Recuperado el 23 de septiembre de 2024 de <https://unesid.org/produccion-de-acero>
- Universidad de Deusto. (2024). *Universidad de Deusto*. <https://www.deusto.es/es/inicio/estudia>
- Universidad de León. (s.f.). *Universidad de León*. <https://www.unileon.es/>
- Universidad de Oviedo. (s.f.). *Universidad de Oviedo*. <https://www.uniovi.es/>
- Universidad del País Vasco. (s.f.). *Euskal Herriko Unibertsitatea*. <https://www.ehu.eus/es/>
- Worldsteel Association. (9 de abril de 2024). *Short Range Outlook overview*. <https://worldsteel.org/es/media/press-releases/2024/worldsteel-short-range-outlook-april-2024/>
- Worldsteel Association. (s.f.). *World Steel in Figures 2024*. <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2024/#world-crude-steel-production-%3Cbr%3E1950-to-2023>

