ACADEMIA ASTURIANA DE CIENCIA E INGENIERÍA

LOS RETOS TECNOLÓGICOS ACTUALES EN LA ENERGÍA Y EL PAPEL DE LA INGENIERÍA

CONFERENCIA IMPARTIDA
EN LA ACADEMIA ASTURIANA DE CIENCIA E INGENIERÍA
POR EL ACADÉMICO CORRESPONDIENTE

PROF. ELOY IGNACIO ÁLVAREZ PELEGRY

EL DÍA 30 DE OCTUBRE DE 2026

OVIEDO

Contenido

1. AGRADECIMIENTOS Y RECUERDOS 1

2. PROPÓSITO Y ALCANCE 2

3. CAMBIOS EN EL ENTORNO ENERGÉTICO 2

Consideraciones globales 4

De lo global a lo local 6

La nueva relevancia de las materias primas minerales 6

Europa. Autonomía estratégica, disminución de emisiones y desarrollo industrial 9

La innovación: elemento fundamental para la productividad y la competitividad 11

4. TECNOLOGÍAS PARA AFRONTAR LOS CAMBIOS 12

Sobre tecnologías 13

Cambios en la estructura energética y retos tecnológicos 13

La industria ante los retos tecnológicos de la descarbonización y la competitividad 14

Mis recuerdos sobre algunos cambios tecnológicos 15

5. SOBRE EL PAPEL DE LA INGENIERÍA 17

Visiones sobre la ingeniería 17

El papel de la ingeniería en el entorno energético actual 19

1. AGRADECIMIENTOS Y RECUERDOS

Ilustrísimo presidente de la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería, señoras y señores académicos, vicerrectora, autoridades; señoras y señores, amigos: antes de comenzar deseo unirme expresamente a las palabras de solidaridad del presidente de la Academia con las víctimas del trágico accidente ferroviario de Urda.

He de comenzar manifestando mi más sincero agradecimiento a esta Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería por el honor que me hace al elegirme académico correspondiente; Academia que, además, en su título añade la ingeniería a la ciencia.

Deseo agradecer en especial a su presidente, Mario Díaz, su propuesta y su apoyo, al igual que a los miembros que han suscrito formalmente mi candidatura, así como al conjunto de la corporación que me ha elegido. Siento una gran satisfacción por formar parte de esta academia, lo que para mí supone también el compromiso de aportar ideas, proponer iniciativas y contribuir con trabajos a la misma.

Esta elección es para mí una gran alegría. Como asturiano, nacido en Oviedo, esta fue mi ciudad de la infancia y de los estudios del bachillerato que para mí fueron importantes y que nos imprimieron carácter. Tengo buen recuerdo de mis profesores y compañeros de bachillerato; los sigo viendo y les agradezco su amistad. Algunos de ellos me acompañan en este acto, lo que aprecio sinceramente.

Recuerdo también una Asturias cuyos paisajes y gentes fui descubriendo y admirando, sobre todo en las salidas del grupo de montaña, en una Asturias que, entonces, en un programa de radio, se denominaba “un tanto olvidada, pero nunca perdida” y que hoy es reclamo para el turismo como “paraíso natural”. Asturias, a la que vuelvo y que trato de conocer más y mejor. Este mes de agosto he estado en Los Oscos para rememorar excursiones de montaña y he vuelto por la costa asturiana, lo que siempre me llena de recuerdos y emociones.

Asturias, en mis tiempos de bachillerato y de carrera, estaba mal comunicada, tanto dentro como hacia afuera, y era muy industrial, con un gran empuje y dinamismo, en la que prevalecían valores y estilos de vida, algunos de los cuales han cambiado mucho.

Mis estudios en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo fueron exigentes, pero me abrieron al mundo de la técnica y la ingeniería y me permitieron que, con trabajo, esfuerzo y suerte, desarrollase una actividad profesional interesante y activa. Igualmente agradezco a mis compañeros de carrera y de profesión, su asistencia a este acto, tan importante para mí.

No quisiera dejar de señalar que esa vida profesional no habría sido posible sin el apoyo y el cariño de mi familia y de mis compañeros de profesión. De todos he aprendido y a todos soy deudor. En esta ocasión me gustaría mencionar expresamente a dos muy buenos jefes, ambos ingenieros asturianos: José Antonio Suárez Estrada y Elías Velasco García, con los que trabajé bastantes años y de los que aprendí mucho.

Recientemente, en 2025, celebramos los cincuenta años de la X promoción de minas y tuvimos la ocasión de rememorar los estudios y la Asturias de aquella época, así como de hablar sobre la situación actual de los estudios de ingeniería y, en particular, de la de ingeniero de Minas y Energía[i], que, en mi opinión, fue muy positiva para Asturias y para su desarrollo industrial y energético. Estudios, y me parece oportuno recordarlo aquí, que en 2027 celebrarán los 250 años de su creación por Carlos III.

Como asturiano que he desarrollado mi carrera fuera de Asturias, la llevo en el corazón, en la memoria y es un honor haber sido elegido académico correspondiente e impartir esta conferencia.

2. PROPÓSITO Y ALCANCE

Mi propósito es aportar mi punto de vista sobre el panorama energético, sus perspectivas y las implicaciones para las tecnologías, así como el papel de la ingeniería en el presente y en el futuro. Es decir, abordaré los cambios y retos tecnológicos en el entorno energético actual.

Para ello, en una primera parte me referiré a la situación global y señalaré una serie de factores que, en mi opinión, la caracterizan.

Sin duda es necesario abordar el entorno europeo, en el que estamos, y para ello hablaré de autonomía estratégica, disminución de emisiones y desarrollo industrial. Como consecuencia de lo anterior pondré de manifiesto la nueva relevancia de las materias primas minerales, así como la ineludible necesidad de mejorar la productividad y la competitividad; para lo que la innovación tiene un papel clave.

Dada la amplitud del mundo energético, abordaré algunas tecnologías que suponen retos en el entorno energético actual y en particular las relacionadas con la industria. No trataré específicamente las renovables en generación eléctrica; que es objeto de un trabajo separado sobre el que indicaré la referencia[ii]; si bien me referiré en varias ocasiones a ellas.

En los retos tecnológicos, no debemos olvidar que intervienen aspectos de costes, regulatorios, administrativos o sociales, por ello el enfoque se centra en los retos tecnológicos e ingenieriles y dedicaré un cierto tiempo a identificar lo que entendemos por tecnologías. Este planteamiento dará pie a reflexionar sobre los cambios tecnológicos lo que me llevará a identificar algunos que he vivido.

El uso tan generalizado de la palabra tecnología lleva a que en bastantes ocasiones la ingeniería y el papel del ingeniero no tengan la visibilidad adecuada. Por ello trataré la ingeniería como disciplina y como profesión necesaria para concebir, diseñar, fabricar, operar y mantener equipos e instalaciones. Tratemos ahora sobre los cambios en el entorno energético.

3. CAMBIOS EN EL ENTORNO ENERGÉTICO

Hoy los cambios en las estructuras de energía primaria y final; están dirigidos e inducidos por políticas globales, y/o regionales, fundamentalmente desde el Acuerdo de París de 2015; lo que supone una gran diferencia con la evolución de las estructuras energéticas del pasado. De ahí que, en la actualidad, hablemos de transición global o de transiciones por regiones o países.

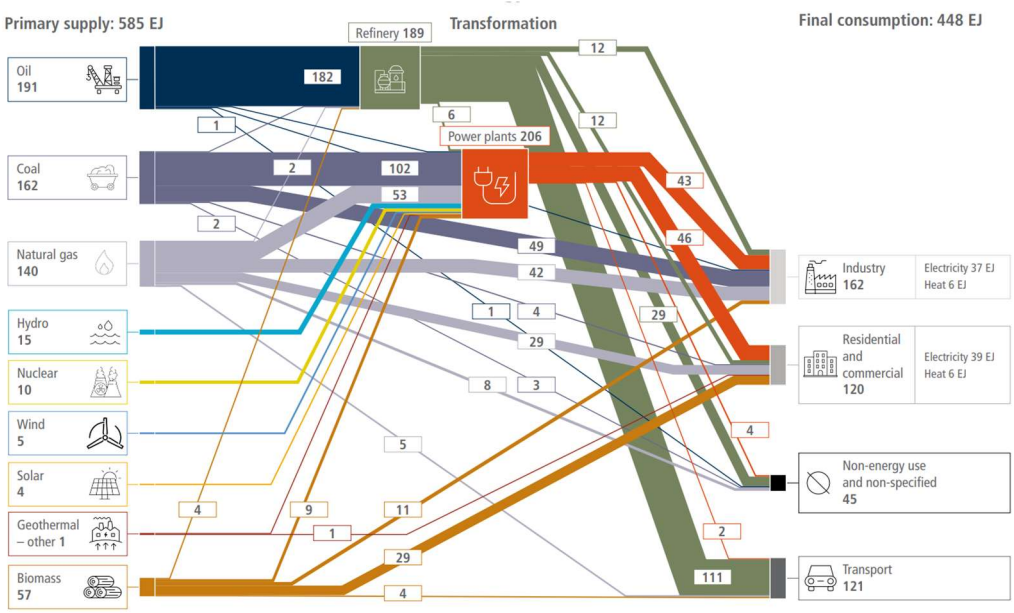
Según la prospectiva de DNV (2026)[iii] al horizonte de 2060 se prevén cambios estructurales en las energías primarias y finales muy sustanciales, con una fuerte disminución del petróleo y del carbón como energías primarias y un mayor peso de la electricidad en los usos finales.

Por su parte, el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) identifica la situación reciente global como se refleja en la Figura 1 donde ya se puede apreciar el peso de las energías fósiles y el reducido peso de las renovables. Asimismo, puede apreciarse, en los sectores finales en el caso de la industria. el peso equilibrado del carbón, el gas y la electricidad.

Sin embargo, en los escenarios de emisiones netas cero a mediados de siglo, sería necesario un fortísimo aumento de renovables, y además se considera una reducción global del consumo de energía, que se puede apreciar en la Figura 2, lo que no parece realista.

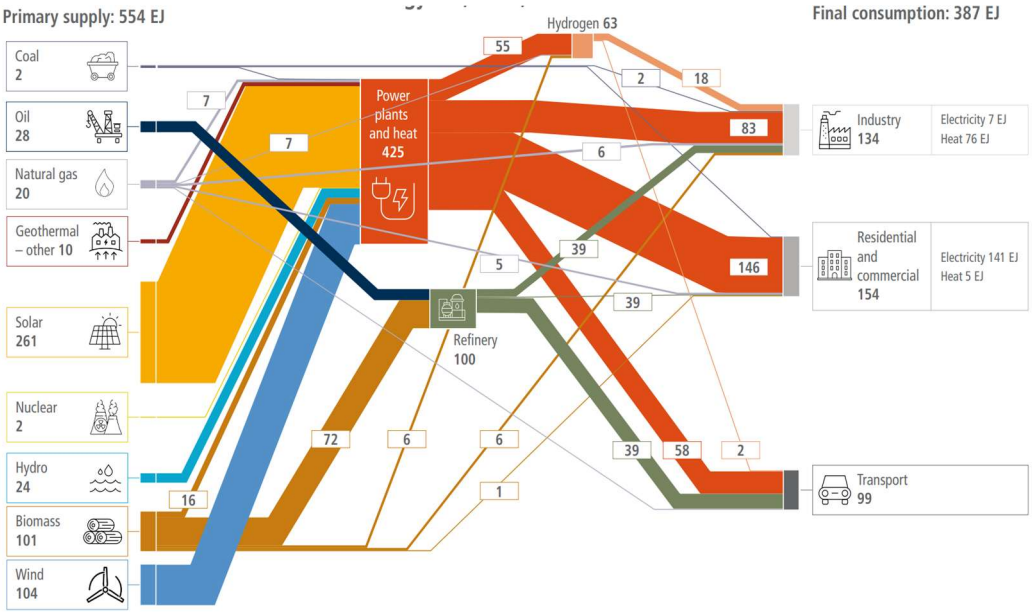
En la Figura 3 se puede ver el escenario es de emisiones netas cero en 2070.[iv] En el mismo se aprecian incrementos en el consumo de energía total y en renovables, y disminuciones en energías fósiles, que en conjunto siguen teniendo un fuerte peso.

FIGURA 1. USO DE LA ENERGÍA A NIVEL GLOBAL (2019)



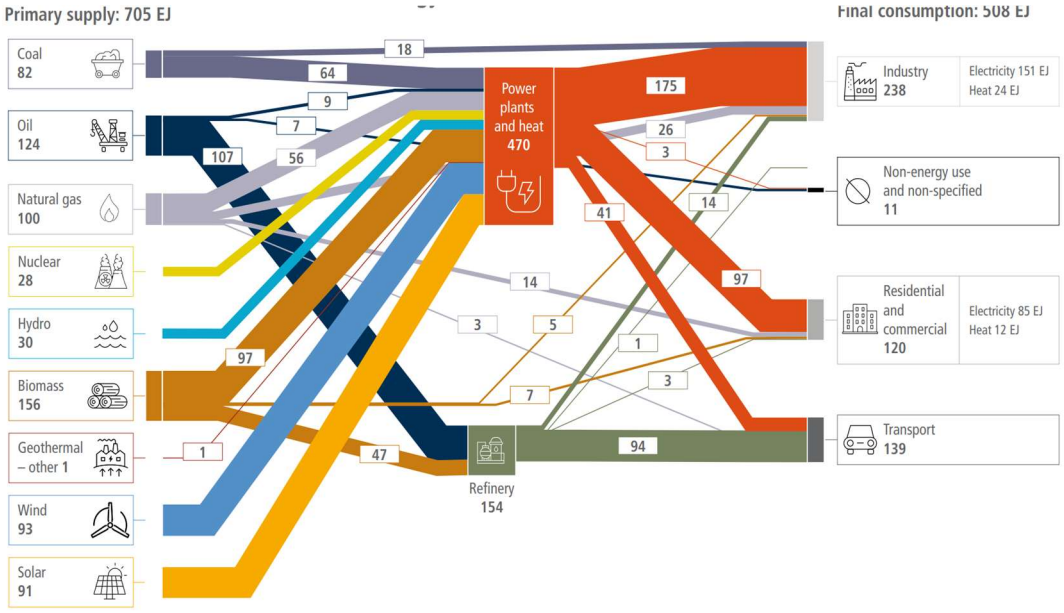
Fuente: Phatak et al. (2022).

FIGURA 2. USO DE LA ENERGÍA A NIVEL GLOBAL (2060)



Fuente: Phatak et al. (2022).

FIGURA 3. USO DE LA ENERGÍA A NIVEL GLOBAL (2070)

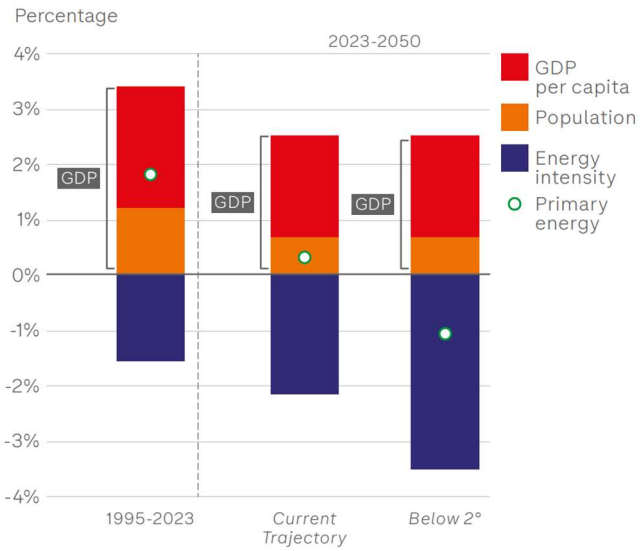


Fuente: Phatak et al. (2022).

Consideraciones globales

Uno de los principales retos a nivel global es la satisfacción de las necesidades de energía a una población mayor y a una economía que crece; y en la que, incluso con medidas de eficiencia, la demanda total se incrementará como puede verse en la Figura 4[v].

FIGURA 4. CRECIMIENTO PROMEDIO ANUAL DE LA DEMANDA PRIMARIA DE ENERGÍA



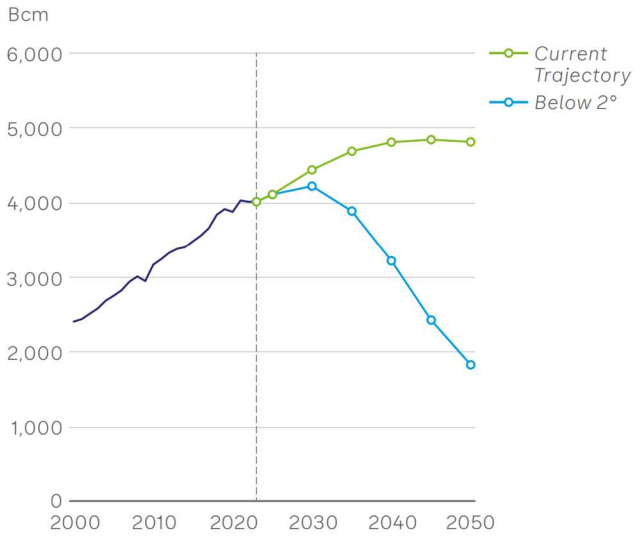
Fuente: bp (2025).

La reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), consecuencia de tratar de cumplir con el Acuerdo de París, es un motor fundamental, pero la seguridad de suministro se configura hoy como una prioridad en varias regiones, no solo en Europa. Por ello, hay que conjugar la necesidad de equilibrar y conciliar los objetivos del Acuerdo de París con la seguridad de suministro de energía y con la continuidad y la calidad de los suministros de los diferentes tipos de energía, a precios asequibles.

Ello, además, se da en un contexto geopolítico muy distinto al de hace 10 años. Algunos analistas e instituciones, como el Fondo Monetario Internacional, destacan que se está produciendo una reestructuración de la economía global. En un entorno aún más incierto, con menor previsibilidad del crecimiento económico, el *business as usual* ya no es el escenario, ni la trayectoria habitual.

En el contexto global, el gas seguirá teniendo un peso creciente, en valores absolutos, en las proyecciones de las trayectorias existentes (ver la Figura 5). Si bien en el escenario de fuerte descarbonización la tendencia es claramente decreciente y, en cualquier caso, en valores absolutos sigue siendo muy relevante.

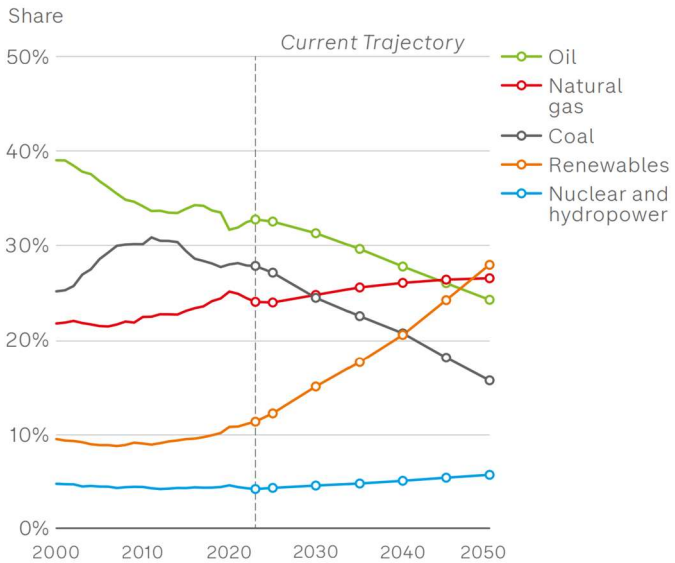
FIGURA 5. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE GAS NATURAL (BCM)



Fuente: bp (2025).

Estos análisis y otros muestran que, a medio plazo y a nivel global, en términos porcentuales las energías renovables, en particular en escenarios de fuerte descarbonización, experimentarán un fuerte crecimiento, como se puede ver en la Figura 6 y ganarán cuota de mercado, pero las energías fósiles seguirán teniendo un peso determinante[vi].

FIGURA 6. EVOLUCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MIX DE ENERGÍA PRIMARIA



Fuente: bp (2025).

De lo global a lo local

Podemos abordar los retos mirando al mundo o a áreas o regiones, entre ellas Europa; y si descendemos de lo global a lo más local desde la época de mis estudios en la Escuela de Minas de Oviedo al momento actual, el mundo de la energía en España ha cambiado muy sustancialmente. En el periodo entre 1973 y 2023, hemos pasado de un 92 % de energías fósiles (petróleo, carbón y gas) a un 70 %, habiéndose multiplicado la energía total por 2,3, como puede apreciarse en la tabla 1[vii]. Si bien estos cambios de cuota suponen variaciones medias anuales en el período de 0,5% y 0,25%.

TABLA 1. EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA BRUTA DISPONIBLE PARA CONSUMO (KTEP Y PORCENTAJE)

	Carbón + Petróleo + Gas natural		Renovables		Nuclear		Total
1973	50.124	92	2.489	5	1.705	3	54.318
1980	64.974	94	2.544	4	1.351	2	68.869
1990	71.870	78	6.222	7	13.999	15	92.090
2000	106.607	82	6.813	5	16.046	12	129.465
2010	107.751	78	15.044	11	16.135	12	138.930
2015	98.087	75	17.008	13	14.903	11	129.998
2020	86.759	72	19.090	16	15.174	13	121.023
2023	88.205	70	22.447	18	14.778	12	125.430

Fuente: Álvarez Pelegry (2025).

En cuanto a las energías finales, ver Tabla 2[viii], las energías fósiles perdieron un 22 % de cuota en 50 años; las renovables, que eran inexistentes, alcanzaron el 10 % y la electricidad aumentó en 12 puntos porcentuales. De nuevo variaciones porcentuales medias anuales, similares a las de las energías primarias.

TABLA 2. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (KTEP Y PORCENTAJE)

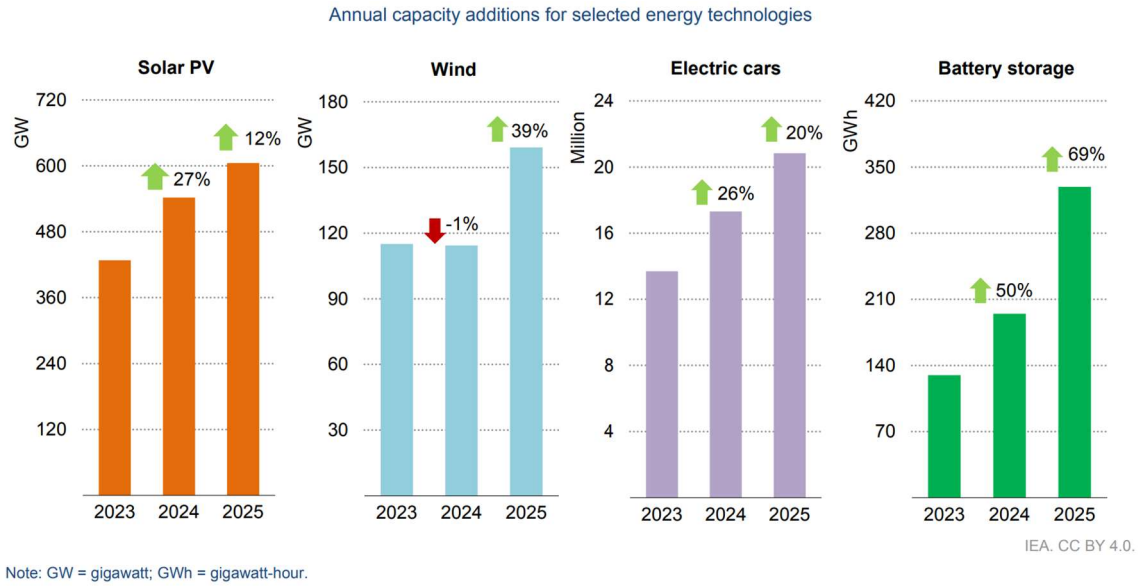
	Carbón + Productos petrolíferos + Gas		Electricidad		Renovables, Biocombustiles y Residuos		Total
1973	35.125	87	5.124	13	0	0	40.249
1980	42.481	85	7.748	15	0	0	50.229
1990	39.235	73	10.817	20	3.933	7	53.985
2000	56.344	74	16.205	21	3.467	5	76.016
2010	58.785	69	21.049	25	5.363	6	85.197
2015	50.792	66	19.952	26	5.844	8	76.588
2020	47.515	65	18.887	26	6.664	9	73.066
2023	50.358	65	19.146	25	8.067	10	77.571

Fuente: Álvarez Pelegry (2025).

La nueva relevancia de las materias primas minerales

El fuerte crecimiento de las renovables (eólica y solar fotovoltaica) y los elementos necesarios para la flexibilidad en los sistemas eléctricos de potencia, como las baterías, así como la creciente demanda de estas para el despliegue de vehículos eléctricos, llevaron, ya en el año 2017, al Banco Mundial[ix] y a la Agencia Internacional de la Energía[x] (IEA, por sus siglas en inglés), a poner de relieve la importancia de las materias primas minerales para la transición energética como se colige de la Figura 7.

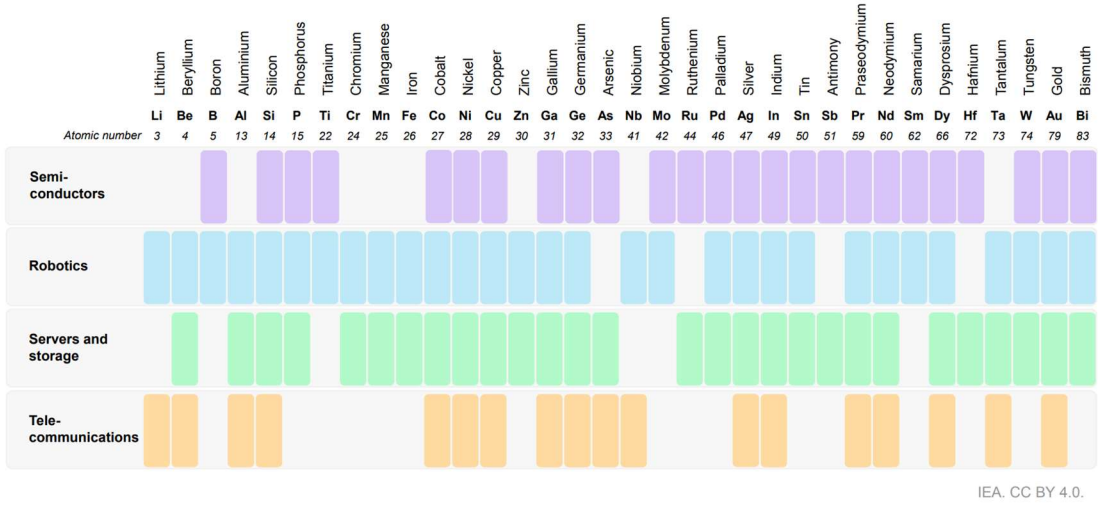
FIGURA 7. DESPLIEGUE DE RENOVABLES, VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, BATERÍAS DE ALMACENAMIENTO: NUEVA CAPACIDAD AÑADIDA



Fuente: IEA (2026).

Asimismo, la IEA también pone de relieve la relevancia de las materias primas minerales y los metales en las nuevas tecnologías e industrias aeroespacial y de defensa[xi]. Ver Figura 8 en la que se identifican los semiconductores, la robótica, los centros de datos y las telecomunicaciones.

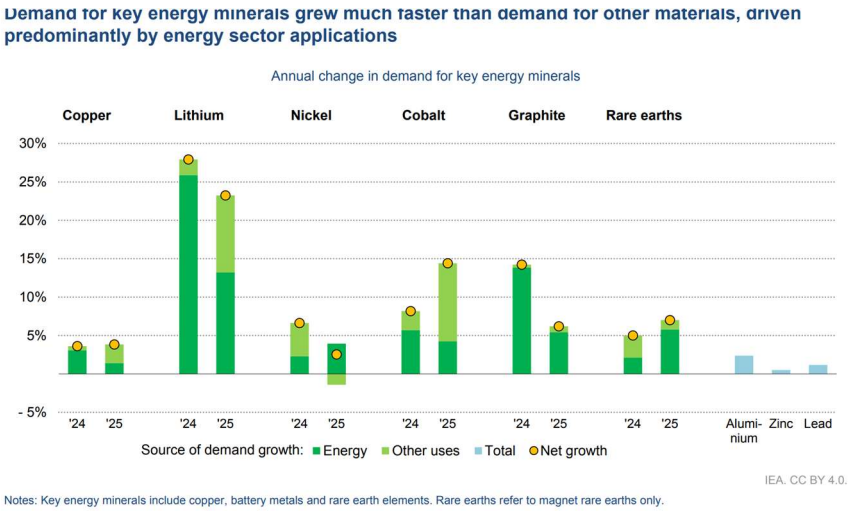
FIGURA 8. INDUSTRIAS HIGH-TECH PARA LAS QUE LAS MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS SON ESTRATÉGICAS



Fuente: IEA (2026).

Todo ello ha llevado a un fuerte incremento de la demanda de materias primas minerales críticas, impulsada fundamentalmente con los usos en la energía; y que en su conjunto presentan crecimientos relacionados con esta, como se puede ver en la Figura 9[xii].

Figura 9. Cambios anuales en la demanda de minerales clave para la energía y otros usos



Fuente: IEA (2026).

La Comisión Europea ha desarrollado diferentes iniciativas ante el aumento de la relevancia de las materias primas minerales para la transición energética y el resultado ha sido el reglamento de materias primas fundamentales (Critical Raw Materials Act, en inglés), que ha definido los proyectos estratégicos e implica que los Estados miembros establezcan programas de exploración[xiii].

En España, se ha analizado la demanda de minerales para la transición energética y la digitalización, abordando las cadenas de valor y el papel de la minería, la metalurgia y la innovación[xiv] en el libro cuya portada puede verse en la Figura 10.

Figura 10. Las materias primas minerales. El papel de la minería y la metalurgia y cadenas de valor



En nuestro país, desde 1987 no se cuenta con una planificación del sector minero correspondiente a la última revisión del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales. Recientemente, y fruto del reglamento comunitario, se ha lanzado el plan de acción para la gestión sostenible de las materias primas minerales 2026-2030[xv].

Es importante destacar el énfasis en la cadena de suministro de las materias primas fundamentales desde la investigación minera, la minería, la metalurgia y la fabricación de componentes y equipos, hasta el reciclaje, mediante la creación de cadenas de valor, en gran parte ligadas a la creación de clústeres minero-industriales[xvi]. En este sentido, son muy relevantes los casos de Suecia y Francia.

Una conclusión relevante es que, en el contexto de la seguridad, aparece una nueva fase de minería y metalurgia presidida por la innovación y la sostenibilidad, con énfasis en la economía circular. De ahí la importancia de los estudios de ingeniería de minas que deberían ser promovidos y estimulados por las autoridades académicas, animando a los jóvenes a cursarlos.

Por otra parte, la búsqueda de materiales más sostenibles, innovadores y avanzados es uno de los retos actuales que la Comisión Europea está también analizando. En ese sentido, el informe de SAPEA (2026) [xvii] liderado por la asociación europea de academias de ingeniería y tecnología (Euro-CASE) es de interés.

Europa. Autonomía estratégica, disminución de emisiones y desarrollo industrial

En Europa tenemos unas líneas de actuación y unos objetivos claros y ambiciosos que afectan a todos los sectores económicos, a la industria y a la sociedad, Los numerosos objetivos podrían resumirse en lograr la neutralidad climática en 2050 y, por tanto, reducir las emisiones de GEI. Para ello, ha desplegado una amplia normativa, que prácticamente no deja sector económico y energético sin regular, desde la generación eléctrica hasta la industria y el transporte.

El cumplimiento de estos objetivos comunitarios y del Acuerdo de París se tradujo en los Planes Integrados de Energía y Clima. En esta línea, se debe señalar el mercado de derechos de emisión, que, si bien su intención era incentivar la descarbonización, de facto está incrementando los costes para la industria.

En febrero de 2022, Rusia invadió Ucrania y pasó a primer plano la seguridad de suministro energético, en particular en lo relacionado con los suministros de gas.

Por otra parte, el cero eléctrico del 28 de abril de 2025 generó una aguda situación en España que nos debería enseñar que la continuidad del suministro eléctrico no puede darse por sentada y, de nuevo, puso de manifiesto la necesidad de incluir la seguridad del suministro como un objetivo clave y necesario en los retos energéticos. Esto, unido a la importancia de las materias primas minerales, mencionada anteriormente, consolida la idea de la autonomía o soberanía estratégica, que además venía siendo destacada por la política de defensa y por la industria relacionada con ella.

En septiembre de 2024 se publicó el conocido como informe Draghi, cuya portada se puede ver Figura 11, que, entre otras cosas, dejaba muy claro que el objetivo no debe ser únicamente descarbonizar, sino que hay que tener en cuenta la competitividad. En paralelo ha ido creciendo una corriente de opinión que considera que afrontar únicamente el pilar de la descarbonización pone en riesgo la industria y que debe promoverse y reforzarse la ligada a las energías limpias.

Figura 11. Informe Draghi. El futuro de la competitividad europea



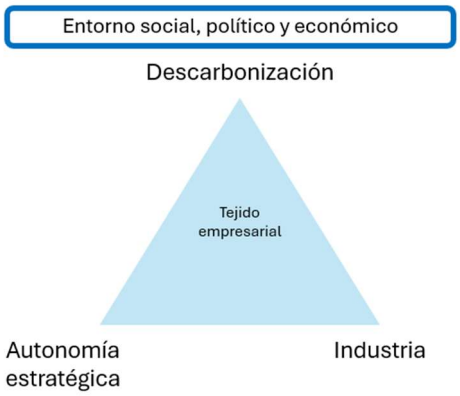
Las respuestas de la Comisión Europea al mencionado informe fueron las comunicaciones "Brújula para la competitividad para la UE", "Plan de acción para una energía asequible. Explotar el verdadero valor de nuestra Unión de la Energía para garantizar una energía asequible, eficiente y limpia para todos los europeos" y el "Pacto por una industria limpia: una hoja de ruta conjunta para la descarbonización y la competitividad". No obstante, estos documentos no parecen cambiar significativamente el rumbo ni ajustan los plazos; por lo que la descarbonización sigue constituyendo un factor fundamental que implica retos tecnológicos y económicos.

En el ámbito de la estrategia de autonomía estratégica hay que señalar el *Clean Industrial Deal* y el *Net Zero Industry Act*; que busca que se implanten tecnologías que, además de descarbonizar, creen industria. Y más recientemente, la Comisión publicó la comunicación "Accelerate EU-Unión Energética: energía asequible y segura mediante acciones aceleradas".

En esta búsqueda de que el diseño, la fabricación y la manufactura de los equipos y componentes se lleven a cabo en Europa, también se pone de relieve la necesidad de contar con una cadena de suministro en el continente.

Así pues, en mi opinión, el objetivo de la descarbonización se ha ido conformando más bien con el propósito de conciliar fundamentalmente tres objetivos, que podemos visualizar en la Figura 12 a) Descarbonización/Disminución de las emisiones de GEI, b) Autonomía/Soberanía Estratégica y c) Industria existente y nueva. Todo ello en un entorno social, político y económico global complejo e incierto.

FIGURA 12. CLAVES DE LA DESCARBONIZACIÓN EUROPEA



Fuente: elaboración propia.

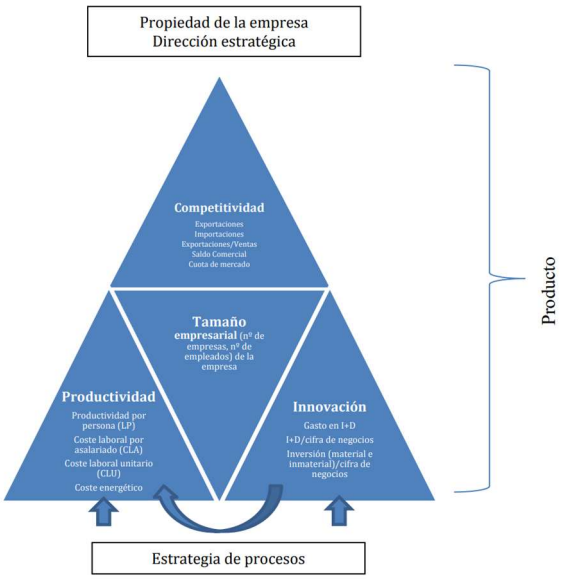
Para finalizar este apartado, me gustaría destacar que la normativa europea es, lógicamente, aplicable a los países de la UE, pero el grado de desarrollo y penetración de las diversas tecnologías de descarbonización difiere sustancialmente entre ellos, así como las barreras y dificultades que encuentran en su implantación o desarrollo. Por ello, se puede decir que existen numerosas transiciones energéticas.

De hecho, en un estudio de Euro-CASE se ponen de manifiesto los diferentes enfoques, donde los diversos países ponen el énfasis en el desarrollo según sectores energéticos o económicos de acuerdo con sus posibilidades y recursos reales[xviii].

La innovación: elemento fundamental para la productividad y la competitividad

El informe Draghi aboga por la competitividad. En este sentido, es importante contar con un marco conceptual que permita entenderla y explicarla, para poder actuar en pos de mejorarla. Esto es lo que se trata de reflejar en la Figura 13, en la que se muestra que la competitividad, además de otros factores, está estrechamente ligada a la productividad y esta, a su vez, a la innovación.

FIGURA 13. ESQUEMA DE COMPETITIVIDAD E INDICADORES



Fuente: Álvarez Pelegry (Coord.) et al. (2016)[xix].

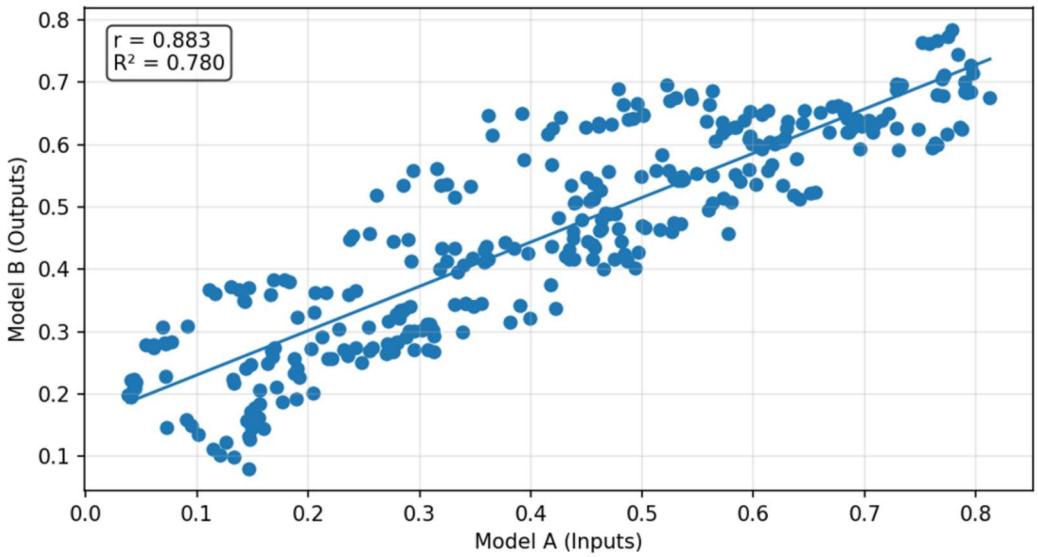
La innovación es un elemento clave y con frecuencia se considera una palanca para la productividad y la competitividad, pero, como se pone de relieve en la Figura 13, es un elemento de apoyo necesario y no deberíamos verla como un fin en sí mismo. En este sentido, en ocasiones se considera que la innovación tecnológica va a "resolver" los problemas de descarbonización en particular en aquellas industrias en las que la reducción de emisiones es técnicamente compleja o tiene costes elevados. Por ello, la innovación y la tecnología deberían verse más bien como motores, impulsores o palancas de la productividad y de la transición energética[xx].

En la innovación tecnológica en la energía se ha pasado del enfoque lineal de la investigación, desarrollo, demostración y despliegue a una visión más sistémica en la que la innovación se convierte en un proceso interactivo que involucra a las empresas, centros de investigación, otros agentes económicos, y a las instituciones ya que las políticas influyen sobre la innovación en su adopción y ejecución.

Volviendo a una visión más amplia de la innovación, en un reciente trabajo de Euro-CASE[xxi] se presenta un ranking de países europeos ordenados según su nivel de innovación. En una clasificación de innovadores (líderes, fuertes, moderados y emergentes), España se encuentra entre los moderados.

Para la elaboración de este ranking se consideran una serie de inputs (e.g., recursos humanos, sistemas de investigación atractivos, grado de digitalización y formación en tecnologías de la información y comunicación) y los resultados de la innovación (por ejemplo, incorporación de productos innovadores, innovaciones de procesos y de negocio). Los resultados se pueden medir en términos de incremento de las ventas, aumento de las exportaciones y de la productividad. En la Figura 14 se observa una buena correlación entre los factores causa de la innovación y sus resultados.

FIGURA 14. RELACIÓN ENTRE INPUTS Y RESULTADOS DE INNOVACIÓN



Fuente: Hämäläinen (2026).

4. TECNOLOGÍAS PARA AFRONTAR LOS CAMBIOS

Tal como señalábamos al comienzo de este discurso corresponde ahora tratar el tema de las tecnologías para afrontar los cambios. Para ello comenzaremos por indicar lo que entendemos por

tecnologías para señalar luego los retos tecnológicos consecuencia de los cambios en la estructura energética y detallar los retos en algunas industrias e los que las tecnologías tienen fuertes retos por delante.

Sobre tecnologías

Existen varias, y numerosas, definiciones de tecnología. Una de las más comunes es la de la aplicación de conocimientos científicos al ámbito práctico. La primera acepción del diccionario Oxford la define como el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento del conocimiento científico. La segunda acepción, se refiere a la maquinaria y a los mecanismos desarrollados como resultado del conocimiento científico y técnico. En esta línea, el diccionario de la Real Academia Española considera la tecnología como el conjunto de instrumentos y procedimientos industriales de un sector o producto determinado.

Esta definición, en mi opinión, debería ampliarse con otra que considera la tecnología como el equipo, la técnica, el conocimiento práctico o las habilidades para llevar a cabo una actividad concreta"[xxii]. Conviene recordar aquí la tradición griega, o del origen clásico de la técnica, que distinguía entre *epistḗmē*, o saber intelectual, y *tékhnē*, o saber práctico[xxiii].

Si se examinan los informes de las perspectivas de las tecnologías energéticas que publica regularmente la IEA y la Guía Tecnológica sobre energías limpias (*"ETP Clean Energy Technology Guide"*), se relacionan más de 600 tecnologías que van desde la captura y el almacenamiento de CO_2 hasta la energía eólica o la producción de amoníaco.

La mencionada *"Net Zero Industry Act"* de la UE, al enumerar las 19 tecnologías limpias, incluye la eólica, la solar fotovoltaica, los electrolizadores, el biogás, el biometano, las baterías, las bombas de calor, las tecnologías de red y la energía de fisión.

Con una visión más amplia e integradora, los documentos del panel intergubernamental de cambio climático (IPCC), consideran la tecnología como un sistema interconectado compuesto de tres elementos básicos: el *hardware* es decir los equipos físicos las máquinas, las herramientas, los planes técnicos detallados (*technical blueprint);* el *software* donde se incluye el conocimiento, la experiencia y el saber hacer (*know-how*), las habilidades, y las prácticas basadas en el conocimiento y la formación para operar, mantener, adaptar y replicar el *hardware.* El tercer elemento, denominado *orgware,* sería el marco institucional, la estructura organizativa, el sistema legal y la configuración socioeconómica involucrados en la adopción y difusión de la tecnología.

Cambios en la estructura energética y retos tecnológicos

Podemos entender los retos como objetivos o empeños difíciles de llevar a cabo y que constituyen, por ello, un estímulo o desafío para quien los afronta. Asimismo, los retos suelen estar vinculados a los cambios. El mundo de la energía presenta un dinamismo continuo, ya que está imbricado en la actividad económica y en la sociedad. En consecuencia, hay que estar siempre alerta y mantener la vigilancia y la inteligencia tecnológica a pleno rendimiento.

Ya hemos visto que las energías convencionales seguirán teniendo relevancia en el *mix* energético global, tanto en términos absolutos como porcentuales. Para producir carbón, petróleo o gas necesitamos técnicas, equipos e ingeniería; y para convertirlos en energía final necesitamos transformarlos en productos finales, transportarlos y distribuirlos hasta los puntos de consumo. No enumeraré el conjunto de técnicas e industrias transformadoras ni las de transporte, distribución y uso de la energía. Son numerosísimas y requieren conocimiento, especialización, experiencia y buen gobierno.

También existen retos tecnológicos[xxiv] en la industria nuclear, por ejemplo, en los relacionados con los pequeños reactores nucleares o con la energía de fusión, que está de actualidad tras los logros de la *National Ignition Facility* en los EE. UU.

Los cambios en la estructura energética, bien sea primaria o final, necesitan tecnologías de bajas o nulas emisiones de GEI, que sean técnicamente eficientes. Ya hemos citado las energías renovables y la necesaria integración en los sistemas eléctricos de potencia. Podemos decir que los retos buscan mayores rendimientos y una mejor integración en el sistema eléctrico que en parte se abordan mediante mejoras incrementales, si bien la integración de baterías en la red constituye un asunto relativamente novedoso.

También hay que considerar las tecnologías rupturistas y al respecto debemos considerar la madurez tecnológica (TRL por sus siglas en inglés). Asimismo, se deben evaluar las cadenas de suministro de los componentes de cada tecnología; y desde el punto de vista ambiental, su impacto a lo largo de su ciclo de vida.

No menos importante es tener en cuenta la soberanía tecnológica y tratar que desde el diseño a la fabricación de equipos, estos se construyan en Europa. Reto difícil de lograr, teniendo en cuenta el importante peso económico y técnico de países como EE. UU. y China.

La industria ante los retos tecnológicos de la descarbonización y la competitividad

En mi opinión, no siendo menores los retos de la penetración de renovables, sus mejoras tecnológicas y la integración eficaz, segura y económica en los sistemas de potencia, es ante la necesidad de disminuir las emisiones en los usos, y en concreto en ciertas industrias, donde nos encontramos con auténticos retos tecnológicos a los que la técnica y la ingeniería pueden y deben dar respuesta.

También hay retos tecnológicos muy importantes en el transporte; ya sea terrestre, marítimo o aéreo, y, relacionado con ello, en la elaboración de combustibles sintéticos y biocombustibles. No voy a tratar aquí los notables desarrollos tecnológicos e ingenieriles en la elaboración de los combustibles sintéticos y los biocombustibles, ni sus implicaciones para la industria del refino[xxv]; pero sí deseo dejar constancia de su profunda relación con la tecnología y la ingeniería[xxvi].

Dentro de la industria, me referiré aquí a la siderurgia y al cemento, entre otras razones porque entiendo que suponen fuertes cambios tecnológicos, y porque permiten poner en primer plano el hidrógeno, como vector energético, y la captura y el almacenamiento de CO_2 como tecnologías para la descarbonización[xxvii].

En la siderurgia, la descarbonización profunda de la producción de arrabio pasa, en gran parte, por la reducción directa de mineral de hierro mediante el hidrógeno en el proceso DRI. También se pueden utilizar procesos de horno eléctrico[xxviii]. Para la reducción directa se requiere hidrógeno con suministro estable, costes de producción bajos y por tanto electricidad barata. Sin embargo, la producción de hidrógeno no es asequible en estos momentos. De hecho, el informe Draghi no la ve hasta dentro de cinco años, si bien son notables los esfuerzos para producirlo, por ejemplo, en España en los denominados valles de hidrógeno[xxix], en bastantes ocasiones, relacionados con la industria del refino.

En Europa, un proyecto relevante es HYBRIT en Suecia, que comprende toda la cadena de valor, desde la minería con electrificación y automatización del suministro de energía baja en carbono, la utilización de combustibles bajos en emisiones, o biocombustibles o hidrógeno en la fabricación de pellets y hornos verticales para la reducción directa. Apoyado por el gobierno sueco,

por medio de la Agencia Sueca de la Energía y subvenciones europeas[xxx], en él se agrupan las empresas de producción de hierro LKAB, la siderúrgica SSAB y la eléctrica Vattenfall, que han puesto en marcha una planta piloto que, en 2021, produjo esponja de hierro reducida con hidrógeno. En la planificación se plantea iniciar la fase industrial y comercial para el periodo 2025-2030"[xxxi].

En cuanto al cemento, CAETS (2023) señaló que las mejoras en la eficiencia energética podían reducir las emisiones hasta 212 kg de CO_2 por tonelada de cemento[xxxii]. Indicaba también las posibilidades de emplear materias primas alternativas para sustituir la caliza, como las escorias de la producción del acero; y los combustibles alternativos (residuos, biomasa, hidrógeno verde y otros). El uso de combustibles alternativos ofrece el mayor potencial de reducción. Sin embargo, estas medidas no reducirán las necesidades de calor en las reacciones térmicas. En gran parte, las emisiones del cemento son difíciles de reducir, ya que se generan principalmente durante la calcinación de la caliza[xxxiii].

El pronóstico actual es que no se conseguirán los objetivos del sector del cemento sin la captura y el almacenamiento del CO_2 (CCS), de acuerdo con Oficemen[xxxiv]. No obstante, las implicaciones financieras hacen que la CCS no resulte interesante. En estas circunstancias, la viabilidad económica de los procesos de captura está respaldada no tanto por el precio del CO_2, sino por la venta de productos de valor añadido que podrían y deberían desarrollarse a partir del CO_2 capturado[xxxv].

CAETS (2023) señala varios casos de estudio sobre la reducción de emisiones en la industria del cemento, como Dalmia (India), Brevik (Noruega), LEILAC (Bélgica), Vancouver (Canadá) y Huaxin Cement (China)[xxxvi].

Mis recuerdos sobre algunos cambios tecnológicos

En mi vida profesional, he llegado a la conclusión de que cada 7 o 10 años cambian las prioridades, algunas tendencias o los temas clave. Por ello, no resisto la tentación de señalar que lo que hoy consideramos tecnologías para la descarbonización o tecnologías del futuro no son las mismas que las que los expertos consideraban hace 15 o 20 años.

En la preparación de esta conferencia he releído algunos de los libros que tengo en Oviedo y he encontrado tecnologías que hace ya años se anunciaban como del futuro y que hoy en día no han terminado de desarrollarse plenamente. Si bien hay que recordar, tal como hemos señalado, que las implantaciones y el desarrollo de tecnologías están lejos de ser homogéneas en las diversas partes del mundo.

He tenido la ocasión de conocer o seguir diferentes tecnologías. Educado en las economías de escala, llegué a la conclusión de que la gran penetración de la energía eléctrica barata, en particular en EE. UU., fue debida al incremento del tamaño de las plantas de generación eléctrica[xxxvii]. Cuestión que no parece tenerse en cuenta en la promoción de la energía distribuida.

Recuerdo que, como consecuencia de la segunda crisis del petróleo de 1979, la respuesta del gobierno fue la promoción y construcción de centrales de carbón importado en la década de los ochenta.

Las centrales de carbón nacionales tuvieron que resolver primero el problema de la emisión de partículas con la incorporación de precipitadores electrostáticos y filtros de mangas y, posteriormente, la lluvia ácida que requirió la instalación de unidades de desulfuración.

También se buscaron entonces soluciones para apoyar proyectos de centrales de carbón que tuviesen futuro. Una de ellas fue la búsqueda de mejores rendimientos mediante el desarrollo de centrales operando con temperaturas y presiones elevadas y con incrementos de potencias unitarias con rendimientos en el entorno del 50 % y superiores, acompañados de suministros de carbón seguros y competitivos[xxxviii].

Posteriormente, el objetivo principal fue reducir las emisiones de CO_2. En esta materia conviene recordar las primeras propuestas de la Comisión en la década de los noventa; que de forma imparable siguieron avanzando. Las soluciones propuestas por la industria fueron los procesos de CCS.

En España, debemos recordar el proyecto promovido por el gobierno en colaboración con la Fundación CIUDEN (Ciudad de la Energía), creada en 2006[xxxix] de una planta piloto para la captura del CO_2. De esa época es también el proyecto de I+D, el proyecto de carbonatación-calcinación, entonces en el INCAR, que ha tenido posteriores desarrollos con plantas experimentales, piloto y de demostración[xl].

Las diferentes técnicas de CCS, bien en precombustión, postcombustión u oxicombustión dieron lugar a proyectos europeos e instalaciones en Europa promovidos /o aprobados por la Comisión Europea.

Pero donde las soluciones técnicas encontraron, en mi opinión, obstáculos muy serios e insalvables, fueron los proyectos de transporte y almacenamiento de CO_2 y, posteriormente, en el rechazo frontal al carbón, en varios países europeos.

Hoy, las tecnologías de centrales de carbón no se contemplan en el PNIEC, que, de los 10,16 GW de potencia de carbón en 2020, prevé el cierre para 2030, si bien indica que estará sujeto a la evaluación del operador del sistema al cumplimiento de criterios de la seguridad de suministro[xli]. El desmantelamiento/demolición de las centrales de carbón, y los objetivos del PNIEC hacen que las centrales de carbón progresivamente vayan quedando en la memoria de unos pocos.

Por otra parte, avanzaban los planteamientos de utilizar combinadamente los ciclos de vapor y de gas y uno de los enfoques técnicos e ingenieriles fue el *repowering;* es decir, la posibilidad de utilizar parte de los componentes básicos de una central convencional para incorporar turbinas de gas.

En el marco del desarrollo de ciclos combinados relacionados con el carbón, debemos mencionar la central de gasificación de carbón con ciclo combinado de 320 MW (IGCC, por sus siglas en inglés) en Puertollano. En la misma, el carbón se gasificaba con oxígeno producido en una unidad de separación de aire (ASU). El gas de síntesis se enfriaba y depuraba, y a partir de él se producía vapor para generar energía eléctrica en una turbina de vapor. De la caldera de recuperación de calor se obtenía el gas que alimentaba la turbina. El rendimiento neto sobre el poder calorífico inferior era del 42,2 %[xlii].

La estandarización de las soluciones técnicas de los grandes suministradores de turbinas de gas y de vapor, con costes específicos muy bajos así como con importantes automatizaciones en las centrales, incorporando lo que hoy llamamos con carácter general la digitalización, llevó a las decisiones de construir los ciclos combinados en España, lo que se realizó en la década del 2000 y cuyo detalle puede verse en mi trabajo sobre la historia del gas en España desde el comienzo del pasado siglo hasta 2020[xliii].

En paralelo al desarrollo de las centrales de ciclo combinado fue cobrando fuerza el desarrollo de la energía eólica y fotovoltaica que tuvo un impulso muy fuerte con un esquema de *feed-in tariffs* muy generoso que llevó a un rápido despliegue y, posteriormente, a un *stop and go.* Entonces, que yo recuerde, las mejoras en los rendimientos se debían a las técnicas de seguimiento solar de los paneles para lograr una mayor eficiencia. En la energía eólica, la tendencia fue incrementar la potencia unitaria y desarrollar parques de mayor tamaño.

Hoy mis recuerdos de la Planta fotovoltaica de 1 MW Toledo PV, en la Puebla de Montalbán, por cierto, pueblo donde nació Fernando de Rojas, el autor de la Celestina; me parecen tan lejanos en el tiempo, que algunos de los más jóvenes podrían pensar que no fue una realidad tangible. La planta que, si no recuerdo mal, se puso en marcha en 1994, ha sido objeto de un proyecto de repotenciación[xliv].

En fotovoltaica experimentamos un crecimiento dual. Por un lado, el que proviene del autoconsumo y, por otro, por la tendencia al desarrollo de parques fotovoltaicos de gran tamaño, casi "replicando" la potencia de las centrales térmicas de los ochenta; más por economías de producción de los equipos, disminuyendo sus costes unitarios; que por economías de escala de mejoras del rendimiento al incrementar la potencia.

No debo dejar de mencionar que tuve la fortuna de participar en el desarrollo de la cadena de gas natural licuado (GNL). Ello me llevó a conocer las plantas de licuefacción y sus tecnologías, las de las plantas de regasificación y las de los metaneros[xlv].

Me he preguntado si tenía sentido referirme a estas experiencias en esta conferencia. Pienso que sí; por un lado, porque pone en perspectiva los horizontes temporales de los desarrollos de nuevas técnicas y tecnologías, sobre lo que he profundizado en mi discurso de ingreso en la Real Academia de Doctores; y por otro, y quizás no menos importante, porque el presidente de esta Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería me ha sugerido hacerlo. Imagino que, porque presumiblemente, la conferencia sería más atractiva.

En fin, tras estos recuerdos y olvidos[xlvi], estos últimos seguro que existen, me corresponde hablar ahora sobre el papel de la ingeniería.

5. SOBRE EL PAPEL DE LA INGENIERÍA

Visiones sobre la ingeniería

Ingeniería y ciencia

El académico Aracil, J, (2017)[xlvii] examina el papel de la ingeniería en la historia. Destaca el papel de esta en la construcción y las obras públicas, en las máquinas y la ingeniería mecánica, así como el papel de los ingenieros en la agricultura. No menos importantes son los aspectos de la ingeniería y los ingenieros en lo que denomina nuevas ramas, como la transmisión de la información, los orígenes de la ingeniería electrónica o el desarrollo de la ingeniería química. Una historia ilustrativa es el desarrollo de la aviación, en la que se analiza la relación entre la ingeniería y la ciencia básica.

El examen de los casos anteriores y otros, como los servomecanismos o la electrónica ponen de relieve que la ingeniería, si bien tiene una estrecha relación con la ciencia, no consiste exclusivamente, en la realización de aplicaciones basadas en esta[xlviii].

Un caso muy relevante en la historia de la técnica es el desarrollo de la máquina de vapor, que no fue una aplicación directa de la termodinámica, sino el resultado de avances técnicos de experimentación *in situ* y de progresos ingenieriles como se ha puesto de relieve entre otros casos con los trabajos del ingeniero Agustín de Betancourt en el diseño y construcción de las máquinas de vapor de doble efecto[xlix].

La ingeniería como CDIO

También podemos aproximarnos a la ingeniería con un enfoque de un proceso fundamental, lo que nos lleva a una concepción aparentemente "simplificada", que considera la ingeniería en las fases de la concepción, el diseño, la implementación y operación (CDIO, por sus siglas en inglés) y que también opera en parte o en todas de las anteriores[l].

Por otra parte, un aspecto fundamental de la ingeniería es la planificación y ejecución de proyectos, en los que se distinguen el estudio de viabilidad, la ingeniería básica y la de detalle. El enfoque de proyecto me parece consustancial a la ingeniería y, además, tiene mucho que ver con los retos tecnológicos. Dicho de otra manera, puede afirmarse que la ingeniería convierte ideas y proyectos en realidades.

La fiabilidad y la seguridad, a mi entender, es también consustancial a las prácticas de la ingeniería. Creo que, en general, el resultado es positivo y que la ingeniería es, en cierta medida, un trabajo discreto y silencioso que, lamentablemente, solo sale a la luz cuando las cosas fallan. Si bien puede ocurrir que los fallos sean estrictamente técnicos, también pueden deberse a errores de gestión, de organización o de gobierno.

Ingeniería y economía

Un aspecto muy relevante es la relación de la ingeniería con la economía. La ingeniería es un motor o una causa de que los resultados sean eficaces en términos de coste.

Me parece que no debemos olvidar que, consustancial con la ingeniería, está la búsqueda de soluciones, teniendo en cuenta la eficacia y la economía. Y es aquí donde los conocimientos y la base económica complementan muy bien la formación de los ingenieros.

La ingeniería y sus ramas

Si uno consulta el diccionario de la Real Academia de Ingeniería, la ingeniería se despliega en los sectores y aplicaciones de tal manera que aparecen varias y numerosas ramas de la ingeniería. Ello permite calificar las ingenierías según sus campos de actuación o los sectores en los que desarrollan su actividad, ya sea de minas, de montes, agrícola, naval, caminos, industrial o química. Esta caracterización probablemente es relevante, en la medida que facilita la comprensión de los campos en los que trabaja la ingeniería y, por tanto, ayuda a su definición.

La ingeniería de Minas y Energía

En este trabajo he tratado de mostrar que, como consecuencia del crecimiento global y en Europa ,de la generación y de las energías renovables, es hoy ya una realidad el incremento de la demanda de minerales y metales. Y ello en el contexto de la búsqueda de materiales avanzados y de un marco de economía circular.

La formación en esta rama. Al igual que en muchas otras, está sujeta a una continua actualización y puesta al día y en ello no debe dejar de pensarse en el entorno europeo e internacional. En este caso no solo por la influencia de la inteligencia artificial en la forma de impartir docencia y de aprender; sino también y quizás más en este caso, por la necesaria incorporación de los temas relativos a la economía circular, la sostenibilidad, la digitalización y los materiales avanzados.

Aspectos estos que en las prácticas minera y metalúrgicas ya se están implantando; como he tenido ocasión de detallar en otros lugares[li].

Todo ello nos lleva a resaltar la actualidad y la importancia de la carrera y la profesión de los ingenieros de Minas y Energía; y por tanto la sociedad, las instituciones, la academia y la universidad, deberían prestarle la atención, que, en mi opinión, se merece.

Las ramas de la ingeniería nos invitan a repasar nuestra vida cotidiana, y podemos ver que la ingeniería está en muchos aspectos de esta. Desde los metales que elaboramos y que utilizamos, en los equipos que fabricamos, en las infraestructuras, en la agricultura, en las comunicaciones, en la salud, en el transporte, en la defensa, en la industria[lii].

La ingeniería está tanto en la academia y en la universidad, como en los centros tecnológicos y está también en las empresas. Las empresas hacen ingeniería en los numerosos y variados sectores económicos en los que operan y abordan la técnica y otros aspectos empresariales teniendo en cuenta la ingeniería; pero si hay un caso paradigmático de empresas cuyo objetivo fundamental es hacer ingeniería, son las empresas de ingeniería[liii].

El papel de la ingeniería en el entorno energético actual

Ingeniería y retos tecnológicos

En el apartado de retos tecnológicos, al revisar las transformaciones y los cambios, en nuestro caso en la industria, entiendo que hemos ido poniendo de relieve cómo la ingeniería es necesaria y participa en los retos tecnológicos. Además, no debemos olvidar las labores de integración de los diversos componentes y el papel de la ingeniería en la fabricación y manufactura, así como en la operación y el mantenimiento de instalaciones.

No debemos olvidar que en proyectos complejos el papel de la ingeniería es muy relevante. Además y "Como consecuencia de los retos técnicos que presentan tecnologías nuevas, como las del hidrogeno o los combustibles sintéticos; los plazos de desarrollo se han acortado y el enfoque de la ingeniería ya no pasa tanto, en esos casos; por las rutas habituales, sino por un enfoque novedoso en el que las relaciones de la propiedad con las empresas de ingeniería y los suministradores de componentes, equipos o servicios, no son las tradicionales; al no ser los procesos totalmente conocidos, ni estar los equipos o componentes consolidados y siendo las empresas suministradoras, en algunos casos *start ups*"[liv].

Los procesos, bien sean en la industria o en la energía, tienen un carácter básico. Son numerosos los procesos en las instalaciones energéticas y en las industrias; sea la química, el refino o en numerosos procesos industriales para la fabricación de metales, componentes, equipos o manufacturas. En estos campos creo que la ingeniería es consustancial con los procesos.

Naturalmente me refiero en todo este apartado a las concepciones y aplicaciones de la ingeniería como rama de conocimiento. En este sentido, recuerdo el prólogo de un libro de economía que señalaba que más que distinguir entre teoría y práctica, habría que hablar de buenas teorías y buenas prácticas y en estas, en mi opinión, influye el conocimiento riguroso, la responsabilidad, la buena gestión y la gobernanza.

En el análisis de las tecnologías en su relación con la ingeniería, hemos visto cómo esta contribuye a facilitar soluciones. Podemos decir que la ingeniería ayuda a "suministrar" soluciones hoy, en entornos complejos y de fuerte incertidumbre, para los desafíos globales del mañana y que, por tanto, contribuye al bienestar de la sociedad.

Ingeniería para informar y asesorar en las políticas publicas

Pienso que, tanto por la visión de la ingeniería como por sus aportaciones a los retos tecnológicos actuales, la ingeniería, en su teoría y en sus prácticas, tiene suficientes conocimientos y experiencias, que son una base solvente para informar las políticas y las estrategias públicas.

Debo añadir que estao ya está funcionando en Europa en la asociación de academias europeas en el ámbito de SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies) que, mediante informes, asesora a diversos departamentos de la Comisión Europea.

Una ingeniería que atraiga a los más jóvenes

Un de los retos que tienen los estudios de ingeniería es lograr que los más jóvenes se animen a estudiar un grado o un máster en ingeniería. Si pretendemos un modelo económico en el que la tecnología y la ingeniería jueguen el papel que demanda los tiempos, es necesario trasladar a los jóvenes, y a las instituciones, la relevancia de la ingeniería y su papel en la sociedad.

En mi experiencia profesional he vivido cómo la ingeniería integraba los aspectos medioambientales y los nuevos requerimientos sociales, y hoy percibo cómo el componente ético, que en mi generación estaba embebido en la cultura familiar y en la educación del bachillerato, aunque no hubiese una asignatura de ética, hoy se explicíta e integra también en la formación y en las prácticas de la ingeniería.

Asimismo, la sostenibilidad y el deseo de los jóvenes de una sociedad más justa, al igual que me parece que deseábamos en nuestra época, requieren que se transmita cómo la ingeniería puede contribuir a esos propósitos.

Para ello parece que un paso necesario es trasladar a los jóvenes y a la sociedad qué hacemos los ingenieros y cómo los contamos[lv], y entre otros objetivos, atraer a la juventud a las carreras de ingeniería.

Pienso que más allá de las ramas y especialidades, deberíamos poner el énfasis y destacar más en nuestras actuaciones cómo una concepción integradora de la ingeniería contribuye al bien común y es beneficiosa para la sociedad.

Para ir terminando y parafraseando a Ortega, hoy la energía y la tecnología, son "temas de nuestro tiempo"; y desearía que, tras esta conferencia, se incluya también la ingeniería como tema actual.

Finalizo ya reiterando mi agradecimiento a la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería por el honor de haberme elegido académico correspondiente; y esperando que estas reflexiones sobre los cambios en el entorno energético, los retos tecnológicos y el papel de la ingeniería hayan sido de su interés, les agradezco mucho su atención.

He dicho.

NOTAS

[i] Puede verse mi intervención "Recuerdos y reflexiones en el 50 aniversario de la X promoción de ingenieros de minas de la ETSIMO", junio de 2025, Revista Entiba. Colegio Oficial de Ingenieros de Minas del Noroeste de España (COIMNE).

[ii] Álvarez Pelegry. E. (2027). "Electrificación y retos tecnológicos en renovables para generación eléctrica". Pendiente de publicación. Anales Real Academia de Doctores de España.

[iii] DNV (2026). "Energy Transition Outlook 2026. A global and regional forecast to 2060".

[iv] M. Pathak, R. Slade, P.R. Shukla, J. Skea, R. Pichs-Madruga, D. Ürge-Vorsatz. (2022). "Technical Summary" En "Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds). Cambridge University Press, pp. 91-92.
En los dos escenarios futuros el de la Figura 2, la temperatura no supera los 1,5 °C (más 50 %) (IMP-REN_2.0) y en el otro, dicha temperatura se sobrepasa, aunque posteriormente se recupera el límite de 1,5 °C (Figura 3).

[v] bp (2025). "bp Energy Outlook. 2025 edition."

[vi] Un enfoque de interés es el análisis que examina si las "nuevas" energías sustituyen a las existentes o se adicionan a las mismas. Al respecto puede verse Fressoz, J-B (2024): "More and More and More. An All-Consuming History of Energy". Ed AllenLane, y "Sin transición. Una nueva historia de la energía" (2025). Ed. Arpa.

[vii] Álvarez Pelegry, E. (2025). "Neutralidad climática, transiciones energéticas y transformaciones industriales", p. 151. Real Academia de Doctores de España.

[viii] *Op. cit.*, p.153.

[ix] World Bank (2017). "The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future". Y World Bank (2020). "Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition".

[x] El primer informe, de 2021 "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", fue revisado en marzo 2022. Asimismo, la IEA publicó en 2023 el "Critical Minerals Market Review" y "Global Critical Minerals Outlook". IEA (2026), p. 59, para la Figura 7.

[xi] IEA (2026). "Global Critical Minerals Outlook 2026", p. 201.

[xii] IEA (2026). "Global Critical Minerals Outlook 2026", p. 26.

[xiii] Para más detalle ver Álvarez Pelegry, E. et al (2023). "Las materias primas minerales para la transición energética. La Ley europea de materias primas fundamentales". Cuadernos de Energía.

[xiv] *Vid.* Álvarez Pelegry, E. y Blanco Álvarez, F. (coord.). (2023). "Las materias primas minerales en la transición energética y en la digitalización". Real Academia de Ingeniería.

[xv] Hay que citar también la "Hoja de Ruta para la gestión sostenible de las materias primas minerales" (2022).

[xvi] *Vid.* "Las materias primas minerales en la transición energética y en la digitalización", (2023), pp. 141-165.

[xvii] SAPEA (2026). "Advanced Materials: Evidence Review Report". Munich: SAPEA. https://doi.org/10.5281/zenodo.1822234.

[xviii] Euro-CASE (2027). "Energy Transitions in Europe". Pendiente de publicación.

[xix] Álvarez Pelegry, E. (Coord.) (2016). "Precios de la Energía y Competitividad Industrial". Orkestra.

[xx] Este es, por ejemplo, el enfoque del trabajo "Tecnología e innovación. Palancas para la transición energética en España" (2020). Club Español de la Energía.

[xxi] Hämäläinen, J. (2026). "Analyses of European Innovation Scoreboard (EIS)". Euro-CASE Workshop. June.

[xxii] Traducido por el autor de Metz, B., Davison, O., Martens, J.-W., van Rooije, S.N.M., and van Wie McGrory, L.L. (eds.) (2000). "Methodological and technological issues in technology transfer", Cambridge University Press. Citado en "Climate Technology Progress Report 2023", p.7.

[xxiii] *Vid.* Broncano, F. (2017), "Epílogo" en Aracil, J. (2017).

[xxiv] González, S. (2026). "Energía de Fusión. Del laboratorio a la ingeniería". Jornada organizada por la Real Academia de Ingeniería (RAI) el 24 marzo 2026. Puede verse en el canal oficial de la RAI en You Tube.

[xxv] Para más detalle, ver Álvarez Pelegry, E. (2025), "Neutralidad climática, transiciones energéticas y transformaciones industriales", pp. 72-79 y 91-93. Real Academia de Doctores de España.

[xxvi] *Vid. op. cit.*, Álvarez Pelegry, E. (2025), pp. 76-79.
[xxvii] Para más detalle ver Álvarez Pelegry, E. (2025), pp.93-97. En donde también se analiza la industria del refino, que está abordando y tendrá que afrontar importantes retos tecnológicos, pp. 91-93.
[xxviii] CAETS (2023). "Towards low GHG emissions from energy use in selected sectors". Energy Report 2022, p. 227.
[xxix] Concepto relacionado con la denominación de la *Net Zero Industry Act.*
[xxx] Explicaciones y datos sobre el proceso puede verse la web de HYBRIT; así como en CAETS (2023).
[xxxi] *Op. cit.*, pp. 94-95.
[xxxii] *Op. cit.*, p. 184.
[xxxiii] Álvarez Pelegry, E. (2025), "Neutralidad climática, transiciones energéticas y transformaciones industriales", pp. 95-97. Real Academia de Doctores. de España.
[xxxiv] Oficemen (2025). "Hoja de ruta de la industria cementera española para alcanzar la neutralidad climática en 2050", p. 7. Edición 2025.
[xxxv] Traducción por el autor de CAETS (2023), p. 196.
[xxxvi] *Op. cit.*, pp. 208-212.
[xxxvii] Para más detalle ver Álvarez Pelegry. E. (1997). "Economía industrial del sector eléctrico. Estructura y regulación", pp.86-105. Ed. Civitas.
[xxxviii] Para más detalle ver Álvarez Pelegry, E. (1997). Economía industrial del sector eléctrico. Estructura y regulación", pp.105-109. Ed. Civitas.
[xxxix] Para más detalle ver Otero, P., Álvarez, I. y Gutiérrez, J.A. (2025)." CIUDEN experiencias en captura de CO_2 por oxicombustión", pp. 12-16. Boletín del Grupo Español del Carbón (GEC). Nº 35.
[xl] Para más detalle, ver Martínez, I. Grasa, G.S. y Abanades, J.C. (2015). "Procesos de captura del CO_2 mediante los ciclos de carbonatación-calcinación de CaO". Boletín Grupo Español del Carbón. N.º 35.
[xli] "Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC 2023-2030)" (2024), p. 75. MITECO.
[xlii] Para más detalle ver Treviño Coca, M. (2003). "Integrated gasification combined cycle technology: IGCC. Its actual application in Spain: ELCOGAS. Puertollano". Elcogas y Club Español de la Energía.
[xliii] Álvarez Pelegry, E. (2022). "Demanda y usos de gas en España. Una aproximación a 120 años de historia (1990-2020). En "Una historia del petróleo en España". Quiroga Valle, G. (dir.). Ed. Catarata.
[xliv] Energías Renovables (2026). "Fue noticia hace 10 años. Ingeteam repotencia la central fotovoltaica más antigua de Europa".
[xlv] Para más detalle ver Alvarez Pelegry, E y Balbás, J. (2003). "El gas natural del yacimiento al consumidor". Ed Dossat.
[xlvi] La idea de "recuerdos y olvidos" proviene de las memorias de Francisco Ayala.
[xlvii] Aracil, J. (2017). "Ingeniería; La forja de un mundo artificial". Real Academia de Ingeniería.
[xlviii] *Vid. op. cit*. 23-72.
[xlix] *Vid.*, Álvarez Pelegry, E. y Mansilla Plaza, L. (2026) "Contribuciones de Agustín de Betancourt a la minería, la metalurgia y a la máquina de vapor". En "Innovaciones de Agustín de Betancourt". Instituto de la Ingeniería de España.
[l] Para más detalle ver Crawley, E.F., Malmqvist, J. Östlund, S. Brodeur, D. y Edsröm, K. (2007). "Rethinking Engineering Education". Springer.
[li] Alvarez Pelegry, E. y Blanco Álvarez, F. (coord.) (2023). "Las materias primas minerales en la transición energética y la digitalización". Real Academia de Ingeniería. Y en Álvarez Pelegry, E. (2025). "Ingeniería, Minería y Energía. España 2014-2024". En "El reinado de Felipe VI y la transformación tecnológica en España". Real Academia de Ingeniería.
[lii] Esta idea, al igual que otras que aquí señalo, fue expresada, como presidente de Euro-CASE, en la reunión de CAETS 2026, en Múnich, durante la sesión de "Academy Leadership Meeting", el 15 de septiembre.
[liii] Para más detalle ver Álvarez Pelegry, E. (coord.). (2013). "El papel de las ingenierías en la energía. Situación y perspectivas". Real Academia de Ingeniería.
[liv] Alvarez Pelegry, E. (2025). "Neutralidad climática, transiciones energéticas y transformaciones industriales". Real Academia de Doctores de España, p.78.
[lv] Para más detalle ver Pérez Arriaga (2025). "¿Qué hacemos los ingenieros y como lo contamos?". Clausura del curso académico 2025. Real Academia de Ingeniería.

CV DEL PROFESOR ELOY I. ÁLVAREZ PELEGRY

FORMACIÓN

Eloy es Doctor Ingeniero de Minas, cum laude, por la (ETSIM) de Madrid. 1996. Ingeniero de Minas. ETSIM de Oviedo. 1975. Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales por la Universidad Complutense de Madrid. 1988. Diplomado, con "Merit", en "Business Studies" por la London School of Economics en el curso 1981-82. Presidente de Euro-CASE (Consejo Europeo de Academias de Ciencias Aplicadas, Tecnología e Ingeniería) desde 2025, y miembro de su comisión ejecutiva desde 2021. Premio "Professional Engineer Distinguido de AIPE 2025". Ingeniero Profesional Registrado desde 2013.

ACTIVIDADES PROFESIONALES

Su carrera está dedicada al campo de la energía. Tiene una larga trayectoria ejecutiva en el grupo Unión Fenosa en España (1989-2010), donde, entre otros cargos, ha sido subdirector general de Medio Ambiente, I + D y Calidad, (contribuyó a implantar sistemas de calidad y medioambiente en todo el grupo, así como a la implantación de la estrategia de I+D); director de Planificación y Economía y director de combustibles.

Ha sido secretario general de Unión Fenosa Gas (2003-2010), donde participó activamente en el proyecto de la cadena de Gas Natural Licuado; y Administrador Único de la planta fotovoltaica de Toledo PV, así como miembro de los Consejos de Administración de diversas empresas de electricidad y gas (como. Nueva Generadora del Sur, Generadora Peninsular, Unión Fenosa Gas, Reganosa).

Inició su carrera profesional en Electra de Viesgo (1976), como ingeniero responsable de sistemas y procesos; y posteriormente trabajó en Enagás (ingeniero de proyecto de redes y ramales de transporte) y en Carelec -Carbones de Importación- (adjunto a la dirección).

ASPECTOS ACADÉMICOS

Ha contribuido asimismo a la formación de titulados, la docencia y a la mejora del desarrollo profesional de ingenieros

Profesor asociado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid (1990-2003), y en la Universidad Complutense (1988-1990). En la Universidad de Deusto ha sido director de la Cátedra de Energía Orkestra, (2010-2017).

Director académico del Club Español de la Energía (1996-2004). Miembro del Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España, del grupo de trabajo de energía y clima del Real Instituto Elcano, del Club Español de la Energía, y del Grupo Español de Materias Primas Estratégicas/Críticas (GEMPEC); y miembro del Comité de Energía de CAETS (International Council of Academies of Engineering and Technological Sciences),

Ha organizado y participado en la "Annual Conference" de Euro-CASE, que tuvo lugar en Madrid, (septiembre 2023); y en la XV conferencia internacional de energía y recursos minerales. Es miembro del Comité Científico del XVI Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales 2027.

PUBLICACIONES

Ha publicado varios libros, numerosos artículos (cerca de 100) y capítulos de libros (30); que tratan una amplia variedad de temas relacionados con la energía, la electricidad, el gas y la movilidad; desde el punto de vista de la tecnología, el medio ambiente, la regulación y la economía.

Entre las mas recientes: "Ingeniería, minería y energía. España 2014-2024", "Descarbonización y competitividad en la industria: el informe Draghi" y "Una comparativa del posicionamiento europeo y estadounidense para garantizar el suministro de las materias primas críticas" (coautor).

Más general se pueden destacar el libro "Economía Industrial del Sector Eléctrico. Estructura y Regulación", y coautor de los libros "El gas natural: del yacimiento al consumidor", y "Gas no convencional: shale gas. Aspectos estratégicos, técnicos, medioambientales y regulatorios". Es coautor y cocordinador del libro "Las materias primas minerales en la transición energética y en la digitalización. El papel de la minería y la metalurgia", publicado en 2023, por la Real Academia de Ingeniería (RAI). Es autor del trabajo "Demanda y usos del gas en España. Una aproximación a 120 años de historia (1900-2020), y de trabajos publicados en Springer como "Alternative energies in transport in the context of energy transition".

Coeditor del libro "The future of Energy in the Atlantic Basin" en colaboración con la Universidad Johns Hopkins, y coordinador de los libros "Los retos del sector energético", "Hacia una economía baja en carbono", "Energía y tributación ambiental. Coautor y cochair del capítulo sobre la industria del hierro y el acero del informe de CAETS "Towards Low-GHG Emissions from Energy Use in Selected Sectors" (2022).

Es coautor de otros numerosos libros/informes sobre precios, escenarios de futuro y retos estratégicos. Ha impartido un amplio número de cursos y conferencias; y participado en numerosas mesas redondas.

RECONOCIMIENTOS

Académico de número de la Real Academia de Ingeniería (RAI), desde 2012; de la que ha sido secretario general, tesorero, presidente de la sección de estudios y dictámenes; y miembro de su junta de gobierno. Es también Académico de número de la Real Academia de Doctores de España (RADE), desde 2024.

AACI

ACADEMIA ASTURIANA
DE CIENCIA E INGENIERIA

Considerando los méritos científicos del

Prof. Eloy Álvarez Pelegry

en quien concurren las circunstancias previstas en los Estatutos de BOPA 15 de noviembre 2021, se acuerda su nombramiento como Académico Correspondiente

Como testimonio de lo anterior, se expide este título autorizado y sellado

Oviedo, 30 de octubre de 2026

El Presidente de la Academia Asturiana de Ciencia e Ingeniería