

La diversificación tecnológica de las eléctricas españolas y su descarbonización en el largo plazo (1960-2020)

*Sara Cano-Rodríguez y Mar Rubio-Varas**

Resumen

A pesar de la influencia significativa que han tenido las compañías eléctricas en la matriz energética española desde los inicios del sector a principios del siglo XX, desconocemos la evolución de la diversificación tecnológica de cada una de las empresas a largo plazo de manera comparada. En este estudio, investigamos la diversificación tecnológica de las principales compañías eléctricas españolas desde 1960 hasta 2020 en el contexto de la transición hacia una economía baja en carbono. Nuestro objetivo es responder a la pregunta de si todo el sector progresó al mismo ritmo y con las mismas tecnologías, o si se pueden identificar patrones de diversificación tecnológica distintos entre empresas que difieren del patrón general del sector. Además, es relevante examinar si este proceso de diversificación ha llevado a una descarbonización de la matriz eléctrica o no. En el contexto actual, abordar el desafío de la transición energética requiere estudios que se centren en las compañías que lo componen, ya que nos permite comprender de manera integral y rigurosa el proceso de cambio necesario hacia una descarbonización completa.

Palabras clave: sector eléctrico, descarbonización, transición energética, historia empresarial, España.

Highlights

- Evaluación de la trayectoria tecnológica de las compañías eléctricas españolas en términos de diversificación a lo largo del período clave para la actual configuración del *mix* de generación de electricidad (1960-2020).

* Institute for Advanced Research in Business and Economics (INARBE), Universidad Pública de Navarra (UPNA).

- Uso de datos reales de generación y potencia instalada por planta/instalación eléctrica según empresa propietaria.
- Medición del grado de diversificación tecnológica de cada compañía eléctrica según el Índice Herfindahl-Hirschman (HHI) en perspectiva histórica.
- Emisiones de CO_2 de las grandes compañías Iberdrola, Endesa y Naturgy desde 1960.
- Existen diferentes recorridos tecnológicos y estrategias por compañía, no siempre alineados con las demás.
- La diversificación tecnológica *per se* no siempre ha significado descarbonización.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la energía ha sido esencial para la supervivencia humana durante siglos. Desde los alimentos hasta la energía necesaria para producir bienes y servicios, dependemos completamente de la energía para vivir, y esta evoluciona a lo largo del tiempo adaptándose a nuestras necesidades y al medio en el que se desenvuelve. Hace doscientos años, las sociedades modernas experimentaban el salto más grande jamás visto en la historia, eliminando el régimen de energía orgánica basado en la fuerza del músculo y madera para pasar a un régimen de energía mineral basado en la combustión de recursos fósiles (carbón, petróleo combustible, gas natural). Esa gran transformación permitió al mundo acceder al más alto nivel de productividad jamás alcanzado. Desde hace varias décadas, sin embargo, la era mineral está en cuestión, dando paso a una nueva transición hacia un régimen postmineral.

La particularidad de la transformación energética que estamos viviendo, en comparación con otras anteriores, es que esta es programada. Ampliamente conocida como *descarbonización*, la transición energética del siglo XXI es iniciada en la década de 1990 y motivada por los países industrializados, que empiezan a sentir los fallos del modelo energético. Esto significa que los países están comprometidos con este cambio. Las razones responden a una doble crisis medioambiental. Por un lado, les preocupa el aumento inadmisibles de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) emitidas a la atmósfera como consecuencia de

la masiva combustión de recursos fósiles. Por otro lado, se pronuncia el agotamiento paulatino de las reservas de combustibles fósiles, esenciales del sistema, algo que en el corto plazo no debería indicar un grave problema, pero a largo plazo podría generar tensiones geoestratégicas y problemas de suministro. El objetivo de la transición energética es, entre otras cosas, modificar los *mix* de energía, expulsando las tecnologías basadas en la quema de combustibles fósiles y sustituirlas por otras tecnologías libres de recursos fósiles.

Dentro del contexto de la transición, el sector eléctrico es una figura clave como problema y como solución. En primer lugar, la generación de electricidad es responsable del 25 % de los GEI en el mundo dado que todavía el 60 % de la misma es generada a partir de tecnologías basadas en combustión de fósiles (carbón, fueloil o gas natural) (IPCC, 2014) (IEA, 2019)¹. Pero a su vez, el eléctrico es el sector industrial de Europa que más ha reducido sus emisiones en el período comprendido entre 1990 y 2019, desde que comenzaran las políticas de sostenibilidad (EEA, 2021). Esto se explica en parte por la capacidad única que el sector eléctrico tiene para generar su producto mediante varias tecnologías, agrupadas en un “*mix* tecnológico” o “*mix* eléctrico”, sin afectar a sus propiedades. Esto le permite ampliar sus posibilidades tecnológicas y diversificar sus fuentes de generación. Si a esto se suma la ventaja técnica como energía secundaria de poder ser transportada en largos trayectos, el sector eléctrico tiene la oportunidad de proveerse de grandes infraestructuras como centros de generación (presas hidráulicas, molinos de viento, paneles solares, centrales de biomasa o nucleares) las cuales tienen más posibilidades de aprovechar tecnologías libres de emisiones que los puntos de generación de suministro directo de la energía primaria (por ejemplo, un motor de combustión). Por estas razones, entre otras, el sector eléctrico ha sido el sector energético que más ha crecido en los últimos años, y se espera que continúe creciendo más durante los próximos 25 años hasta llegar a cubrir casi la totalidad del consumo de energía final global (IEA, 2020).

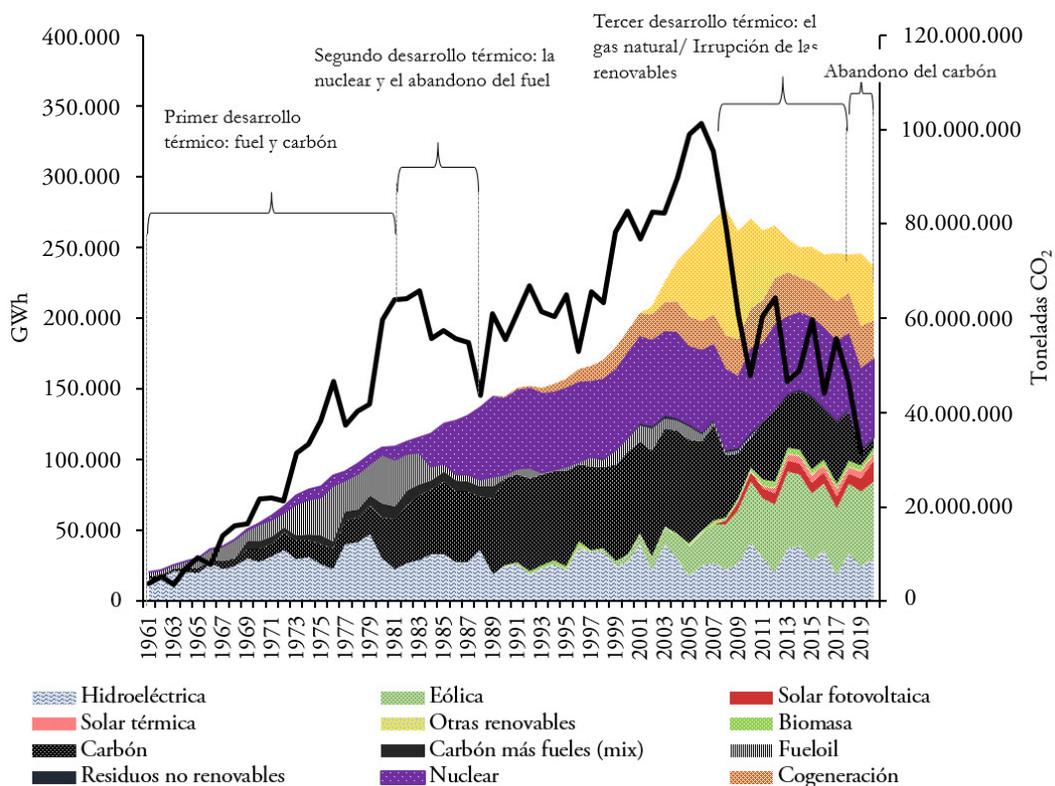
En España, el sector eléctrico se presenta como un interesante sujeto de estudio, ya que cuenta con uno de los *mix* más diversificados de toda Europa y ha sido pionero en el uso de energías renovables. En 2021, el sector eléctrico español representó

¹ El 50 % restante de los GEI a nivel global corresponde a la energía primaria y el resto a otras actividades.

solo el 10,8 % de las emisiones totales del país, según datos del SEI², lo que está muy por debajo del promedio global. Además, solo el 30 % de la electricidad se basa en la combustión de recursos fósiles, mientras que las fuentes renovables alcanzan el 50 % de la energía eléctrica generada. Estos números muestran un panorama positivo y distante de la media mundial. Gracias a los avances tecnológicos realizados en las últimas dos décadas, España ha logrado reducir notablemente sus emisiones y se ha convertido en un referente en este campo.

Figura 1

Generación eléctrica en España (1961-2020): por tecnología (eje izquierdo) y emisiones de CO₂ (eje derecho)



Nota: Sistema Peninsular únicamente.

Fuentes: Elaboración propia en base a las estimaciones de CO₂ en Cano Rodríguez, Rubio-Varas y Sesma-Martín (2022), REE y UNESA.

² El resto de las emisiones corresponden, en primer lugar, al transporte (29 %), en segundo lugar, a la industria (22 %), seguida de la agricultura (11 %) y la electricidad.

En la figura 1 resumimos los cambios que ha experimentado el *mix* eléctrico de España en el último medio siglo. En los últimos años, se ha ampliado notablemente la gama de tecnologías utilizadas, pasando de tecnologías térmicas altamente carbono-intensivas, como el fuel y el carbón, con emisiones de aproximadamente 0,95 y 0,77 toneladas de CO₂ por megavatio-hora (tCO₂/MWh) respectivamente hacia tecnologías más limpias con índices de emisión considerablemente inferiores, por ejemplo, el gas natural, cuyas emisiones se sitúan alrededor de 0,37 tCO₂/MWh, y las energías renovables, cuyas emisiones son prácticamente nulas³ (REE, 2021).

Como resultado de los imperativos de cambio hacia fuentes de energía menos carbónicas, en los últimos años la diversificación tecnológica de los *mix* eléctricos, es decir, la amplitud de las posibilidades tecnológicas de generación, se han convertido en una prioridad. La gran mayoría de las agendas globales instan a diversificar las fuentes generadoras como medida fundamental para la transición energética (Parlamento Europeo, 2023; La Casa Blanca, 2022) basándose en estudios basados en estudios de referencia (Templet, 1999; Freitas y Kaneko, 2011). Sin embargo, esta insistencia lleva implícita una idea que es ciertamente cuestionable que consiste en pensar que la diversificación tecnológica es una meta en sí misma en el camino hacia la descarbonización, sin detenerse a cuestionar la dudosa premisa de que simplemente por ampliar las opciones tecnológicas esto va a resultar en una disminución automática de los niveles de carbono.

Estudios recientes advierten que, junto con la ampliación tecnológica, se debe considerar el índice de carbono de cada tipo de tecnología incorporada, ya que de lo contrario corremos el riesgo de perseguir un objetivo vacío (Rubio-Varas y Muñoz-Delgado, 2019a y b). El análisis de períodos de tiempo suficientemente largos ha revelado que la diversificación tecnológica ha tenido resultados diversos en términos de emisiones a lo largo de la historia. Por ejemplo, en los primeros años de desarrollo del sector, cuando las opciones de fuentes generadoras se estaban ampliando, las emisiones experimentaron los mayores ritmos de crecimiento registrados en la historia, dado que lo que se estaba introduciendo en los *mix* de generación eran tecnologías térmicas de carbón y de fuel, que son las más contaminantes (0,95 y 0,77 tCO₂/MWh, respectivamente). Esta

³ Contabilidad correspondiente a emisiones directas.

paradoja nos podría presentar una empresa altamente diversificada pero también altamente emisora, por tener en su matriz tecnológica principalmente fuentes contaminantes. Es importante que este fenómeno se observe en perspectiva de largo plazo para poder comprobar si la relación que se está suponiendo entre diversificación tecnológica y descarbonización es la que realmente nos revela el período más reciente, donde las nuevas tecnologías incluidas en el abanico son renovables y no emisoras ($0 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$)⁴.

Paralelamente, en la hoja de ruta para la transición energética existe un problema de precisión en los objetivos de las medidas debido a que las agendas medioambientales se centran principalmente en el ámbito nacional, sin considerar la diversidad entre las empresas que dirigen el sector. ¿Todas las compañías eléctricas presentan el mismo grado de diversificación? ¿Disponen de las mismas oportunidades? ¿Es realmente necesario que una empresa esté diversificada para ser considerada limpia? En los últimos años se ha puesto de relieve que las compañías eléctricas son los actores clave en la implementación de los cambios tecnológicos. Su adopción de medidas medioambientales está en gran medida condicionada por incentivos institucionales y la rentabilidad de dichas medidas. Además, sus decisiones de inversión marcan el devenir de las emisiones durante muchas décadas posteriores a la toma de decisión. A pesar de ello, tanto en el terreno analítico como institucional, se tiende a pasar por alto el análisis individual de las empresas. Así, la mayoría de los estudios académicos sobre la estructura del *mix* eléctrico en España se han realizado a nivel nacional (Sudriá, 2006; Marcos, 2002; Costa, 2019), lo que implica que desconocemos la evolución individual de cada empresa.

Cuando hablamos de diversificación tecnológica y reducción de emisiones sería fundamental tener en cuenta a qué empresas nos estamos refiriendo, cuáles son sus capacidades y cuál ha sido su trayectoria hasta el momento. Estudios más recientes indican que las grandes empresas suelen presentar una mayor diversificación (Agosti, 2007; Palazuelos, 2019), mientras en los períodos previos a los procesos de liberalización, privatización e intercambio de activos de los años 1990-2000, las empresas solían especializarse en una sola tecnología, lo que todavía se refleja en diferencias entre sus *mix* actuales. Sin embargo, estos estudios

4 Solo emisiones directas.

carecen de una visión de largo plazo, cubriendo únicamente los últimos años de recorrido del sector. Para comprender plenamente la situación de las empresas eléctricas, creemos que es imprescindible conocer su trayectoria de diversificación tecnológica a lo largo del tiempo. En este sentido, existen historias documentadas de las empresas que revelan buena parte de su evolución (Anes, 2006; Sastre e Inglada, 2014; Anes, Fernández y Temboursy, 2001; Inglada, 2012; Chapa, 2002). La lectura de estos registros históricos proporciona información valiosa para analizar el progreso y la diversificación tecnológica de cada empresa en el sector eléctrico, pero carecen de ambición cuantitativa y comparativa.

Planteamos un estudio sobre la diversificación de los *mix* tecnológicos⁵ de las principales empresas eléctricas españolas (Iberdrola, Endesa y Naturgy) y sus emisiones asociadas. De forma inédita hasta ahora, este estudio se plantea reconstruir las series de generación de las principales compañías eléctricas de España en el largo plazo, observando el *mix* tecnológico empleado, y realizar el cálculo de sus emisiones desde 1960 hasta hoy, algo nunca hecho hasta el momento. Se trata de saber más sobre la evolución de la diversificación tecnológica, calculando un índice de diversificación de sus carteras tecnológicas, y conocer a su vez la repercusión que estos cambios han tenido en el montante de emisiones, calculando un índice carbónico para cada tecnología. Además, consideramos que abarcando un período de tiempo lo suficientemente largo que cubre todos los cambios importantes del sector, aportamos una visión de largo plazo que solo la historia económica puede ofrecer para poner a prueba creencias recientes basadas en el corto plazo sobre la descarbonización. La hipótesis de partida es que, si miramos unos años atrás, aunque enmarcadas en una senda común, cada compañía ha seguido una trayectoria de diversificación tecnológica propia que la ha ubicado en una posición diferente ante la transición energética. Paralelamente, se prevé encontrar que la diversificación de estas empresas no ha significado siempre descarbonizar su producción, como también ha ocurrido con el conjunto del sector.

Con este trabajo, no se pretende dar solución a grandes preguntas sobre la adecuada ejecución de la transición energética, ello implicaría hacer un análisis

5 Mezcla o combinación de fuentes de energías que se utilizan en una zona geográfica para generar electricidad.

más profundo de los factores del éxito de una política global. Nuestro cometido aquí es hacer una reconstrucción de la trayectoria diversificadora que han tomado cada una de las empresas del sector eléctrico español para generar electricidad y su repercusión en emisiones asociadas durante los últimos 60 años, el gran período de cambio tecnológico del *mix* eléctrico de España. El fin de este trabajo es encontrar patrones de comportamiento que puedan ayudarnos a entender las tendencias que seguirán las compañías eléctricas en el futuro y revelar los ritmos del cambio tecnológico, poniendo nombres a quiénes emprendieron antes los principales cambios tecnológicos y las repercusiones que estos tuvieron sobre los índices carbónicos.

Este *paper* se estructura de la siguiente manera: después de esta breve introducción, en un segundo apartado, se explica la metodología empleada y las fuentes utilizadas para llevar a cabo este trabajo; en el tercer apartado, se expone un análisis de los datos con los índices de diversificación e índices carbónicos obtenidos por empresa; en cuarto lugar, se presenta una breve discusión sobre la relación que podrían mantener ambas variables y, en último lugar, se enumeran una serie de conclusiones e implicaciones importantes.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo, se realiza una recomposición histórica de la generación eléctrica por tecnología de las tres grandes empresas Endesa, Iberdrola y Naturgy durante el período 1960-2020 a partir de la generación registrada por instalación eléctrica que proporcionan las siguientes bases de datos y fuentes documentales: a) las estadísticas eléctricas anuales de: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; b) las memorias de la Asociación de Empresas de Energía Eléctrica (Aelec, antes conocida como UNESA); c) los informes anuales de Red Eléctrica, y d) los informes anuales de sostenibilidad de las propias empresas.

Dado que la mayor parte de las empresas actuales no existen a principio del período, sino que han sido formadas a lo largo del período a través de la fusión y adquisición de varias compañías, para clasificar las centrales por empresa se debe llevar a cabo un seguimiento de los cambios de propiedad. Para ello se consultan los informes anuales de Red Eléctrica, las memorias anuales de Unión Eléctrica,

S.A (UNESA, actual Aelec), las notas de prensa, así como hechos relevantes recogidos en los registros oficiales de autoridades competentes como la Comisión Nacional del Mercado de valores (CNMV) y la Comisión Nacional de Mercados y Competencia (CNMC), y los trabajos realizados sobre las historias de las eléctricas españolas de las que disponemos en la literatura (Anes, 2006; Sastre e Inglada, 2014; Anes, Fernández y Temboursy, 2001; Inglada, 2012; Chapa, 2002), que nos narran los principales intercambios, fusiones y adquisiciones a lo largo del tiempo⁶. Como resultado, se obtienen unas series sintéticas de las empresas actuales.

Cabe especificar que los datos de generación se extraen para el sistema peninsular, excluyendo las instalaciones insulares, lo cual representa menos del 10 % de la generación nacional. El sistema peninsular garantiza una cobertura representativa del 90 % del sector. La selección de empresas se debe a que entre las tres hoy concentran el 45 % de toda la capacidad instalada del país y el 56 % de la generación⁷, y en períodos pasados alcanzaron hasta el 80 % de ambas métricas. La variable que recolectamos para medir el *mix* de las tecnologías es la generación eléctrica (MWh), en lugar de la potencia instalada (MW), ya que aunque ambas son las magnitudes más utilizadas para medir el volumen del sector eléctrico la generación es la que representa la producción final real y por tanto su repercusión en emisiones, mientras que la potencia instalada solamente y representa el volumen de producción potencial.

El período seleccionado empieza en 1960 debido a que es en este momento cuando comienza a gestarse el proceso de diversificación en la matriz eléctrica española, antes el sector eléctrico español era prácticamente 100 % hidráulico (véase la figura 1).

Por último, es importante destacar que dado el tamaño del sector (a razón de más de 1.000 instalaciones de generación de electricidad durante más de 60 años)

⁶ A saber, Iberdrola es formada por fusión entre Iberduero e Hidrola en 1992; Endesa, creada en 1944 bajo propiedad pública, es privatizada en 1998 y absorbe un gran número de empresas medianas y pequeñas durante el período 1982-2002; Naturgy se forma en 1981 por la fusión de Unión Eléctrica Madrileña y Fuerzas Eléctricas del Noroeste y más tarde, por la absorción de estas por Gas Natural en 2009, formando Gas Natural Fenosa.

⁷ Informes anuales de las empresas y REE (2020).

la periodicidad elegida para extraer los datos es decenal, un corte periódico que omite algunos datos anuales, pero permite llevar a cabo una observación completa del período de largo plazo.

Una vez reconstruidas las estadísticas eléctricas de generación por cada tecnología de las eléctricas Iberdrola, Endesa y Naturgy (sintéticas) en unidades de megavatio hora, calculamos un indicador de concentración en base a estas conocido como Índice de Herfindahl-Hirschman (HHI), que es el índice ampliamente reconocido como el método estándar y más utilizado para medir la concentración de estructuras complejas (Rubio-Varas y Muñoz-Delgado, 2019). El índice HHI se calcula como la suma de los cuadrados de la contribución de cada tecnología en la generación en un período determinado para cada empresa, que corresponde a la fórmula:

$$HHI_t = \sum_i^t G_i^2 \quad [1]$$

donde G_i es la participación de la generación por una tecnología i en el *mix* eléctrico de cada empresa.

A efectos prácticos, para poder hablar de diversificación en lugar de concentración de una forma más intuitiva invertimos el Índice HHI. De esta forma, menores valores del HHI indican menor diversificación, siendo 0 la máxima diversificación (concentración mínima) y siendo 1 la mínima diversificación (concentración máxima en una única tecnología de generación):

$$HHI_t, Invertido = 1 - \sum_i^t G_i^2 \quad [2]$$

En segundo lugar, obtenidas las series de generación, se calculan las series de emisiones de carbono asociadas por empresa. Para ello, se sigue la metodología empleada en los estudios más recientes, que abarcan un horizonte de largo plazo y realizan una estimación más precisa que Red Eléctrica España y la Agencia Internacional de Energía. En lugar de calcular factor de emisión por tecnología, Cano-Rodríguez, Rubio-Varas y Sesma-Martín (2022) estiman un factor de emisión para cada central eléctrica a partir de datos reales del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR) (tCO_2/MWh), este enfoque

proporciona la capacidad de resaltar las centrales que generan mayores niveles de contaminación, teniendo en cuenta la modernización de las centrales, entre otros aspectos. Cuando se obtiene el factor estimado, este se multiplica por la generación anual de cada una de las centrales, se obtiene el montante total de emisiones por empresa, siguiendo la clasificación por propiedad elaborada anteriormente:

$$Total E_t^n = \sum_t^n (f^n \times G_t^n) \quad [3]$$

donde f es el factor de emisión estimado por central y G la generación por cada una de las centrales n en propiedad (o asignadas sintéticamente) de cada empresa e .

Finalmente, una vez calculadas las emisiones de carbono por empresa, es sencillo calcular el Índice Carbónico medio por empresa, que mide las toneladas de dióxido de carbono emitidas por un megavatio generado. Para ello, se dividen las emisiones de carbono de cada empresa por los megavatios generados por cada una en cada período:

$$IC_t = \frac{Total EC_t}{Total G_t} \quad [4]$$

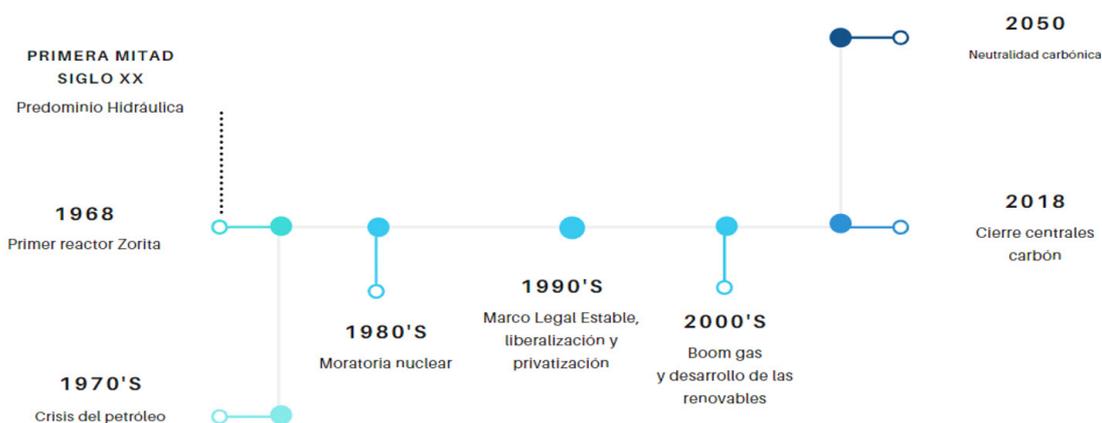
En cuanto al inventario de emisiones, cabe señalar que las cifras calculadas se refieren únicamente a las emisiones directas generadas durante la fase operativa de las centrales. No se incluye la huella de carbono indirecta, que abarca otras actividades necesarias para el funcionamiento de la cadena de producción, como el refinado de petróleo, la fabricación de materiales o la energía consumida por la central. Esta omisión no representa un problema significativo en el contexto de la producción de electricidad, ya que el porcentaje de emisiones indirectas en comparación con las directas es insignificante y la metodología utilizada para este tipo de cálculos está fuera del alcance de este trabajo. Asimismo, es importante mencionar que los cálculos de emisiones se basan únicamente en dióxido de carbono, sin tener en cuenta otro gas importante en las emisiones del sector eléctrico, como el óxido nitroso. La contribución de este gas es solo del 1 %, por lo que su impacto se considera mínimo.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Con el fin de comprender de manera clara el análisis de los resultados, resulta crucial contextualizar la trayectoria tecnológica que han atravesado las compañías eléctricas en el sector eléctrico en España (ver figura 2). A lo largo de su historia, el sector eléctrico ha visto tres periodos trascendentales de diversificación tecnológica, de los cuales dos han tenido efectos positivos importantes en las emisiones de carbono (ver figura 1). Un primer periodo, durante las décadas de los años 60 y 70, el del florecimiento de la generación térmica basada en carbón y fuel en un sector eléctrico previamente dominado por la hidroelectricidad. Este periodo es el de mayor diversificación del *mix* de todo el período. Sin embargo, no conlleva una reducción en las emisiones de carbono, sino todo lo contrario, marca el inicio de los índices de carbono crecientes (tCO₂/MWh). El segundo periodo, en la década de los 80, se corresponde con el arranque de la energía nuclear y la desaparición progresiva de las centrales térmicas de fuel tras las crisis petroleras de 1973 y 1979. La segunda etapa tecnológica supone una modificación importante en la composición del *mix* eléctrico también, pero esta vez trae consigo una relajación en los índices de carbono al retirar del *mix* eléctrico la fuente de

Figura 2

Cronograma de los principales hitos de la configuración tecnológica del *mix* de las eléctricas españolas (1920-2050)



Fuentes: Elaboración propia a partir de estudios de la historia del sector (Sudriá, 2006; Marcos, 2002; Costa, 2019; entre otros).

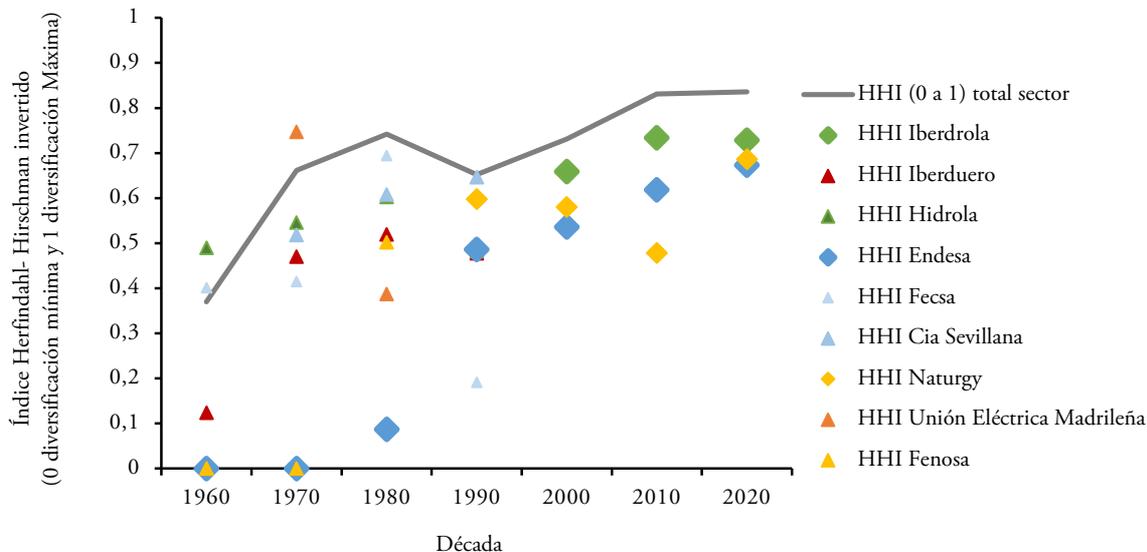
fuel basada en petróleo. A partir de los años 2000, se da inicio al tercer periodo de diversificación, que se caracteriza por el desarrollo de las energías renovables y la adopción de unas tecnologías térmicas menos contaminantes (el ciclo combinado y la cogeneración, basadas en gas natural). En este último periodo, el *mix* de generación experimenta el salto diversificador que más emisiones reduce de toda la historia, si no contamos el período actual, a partir de 2018, cuando la energía solar fotovoltaica por fin ha despegado y se han ido cerrando las centrales basadas en el combustible más contaminante, el carbón (ver cronología en la figura 2) (Sudriá, 2006; Marcos, 2002; Costa, 2019).

Dentro de este cronograma tecnológico, el año 2010 es el momento álgido de la diversificación tecnológica del sector en España (ver figura 3). En ese momento, el sector obtiene el índice HHII más alto del período, con un 0,83 en una escala de 0 a 1. Podemos comprobar que el sector en su conjunto ofrece la mayor variedad de tecnologías de la historia, sin embargo, las empresas más diversificadas son tres: Iberdrola con un 0,73 de HHII, Endesa con 0,62 de HHII y Naturgy (0,48 de HHII) (ver figura 4). La interpretación que damos a por qué están más diversificadas estas eléctricas españolas respecto a otras es que tener una mayor capacidad inversora, en primer lugar, apostar por instalaciones más costosas de mayores dimensiones (por ejemplo, las centrales nucleares) otorga una posición de diversificación ventajosa respecto a otras empresas pequeñas concentradas en una única tecnología y, en segundo lugar, también absorber operadoras más pequeñas con tecnologías incipientes.

Una visión comparada entre el tamaño de todas las empresas que generaban electricidad en España en el año 2010 y su índice de diversificación tecnológica, nos permite observar este fenómeno en todo el sector en su conjunto (ver figura 4). Vemos cómo las tres compañías más grandes por tamaño de generación, Endesa, Iberdrola y Naturgy (anteriormente conocida como Gas Natural Fenosa) presentan una alta diversificación, seguidas de tres medianas: HC Energía (actualmente propiedad de EDP Energía) con 0,62 de HHII, Acciona (referente en energía eólica, pero que también cuenta con centrales hidroeléctricas) con 0,38 de HHII y E-ON generación (propietaria de las centrales térmicas residuales que no pertenecen a las grandes compañías) con 0,63 de HHII, algunas de estas incluso más diversificadas que la propia Naturgy. En contraste, observamos una masa

Figura 3

Diversificación tecnológica de Iberdrola, Endesa, Naturgy y del sector peninsular (1960-2020 por década)

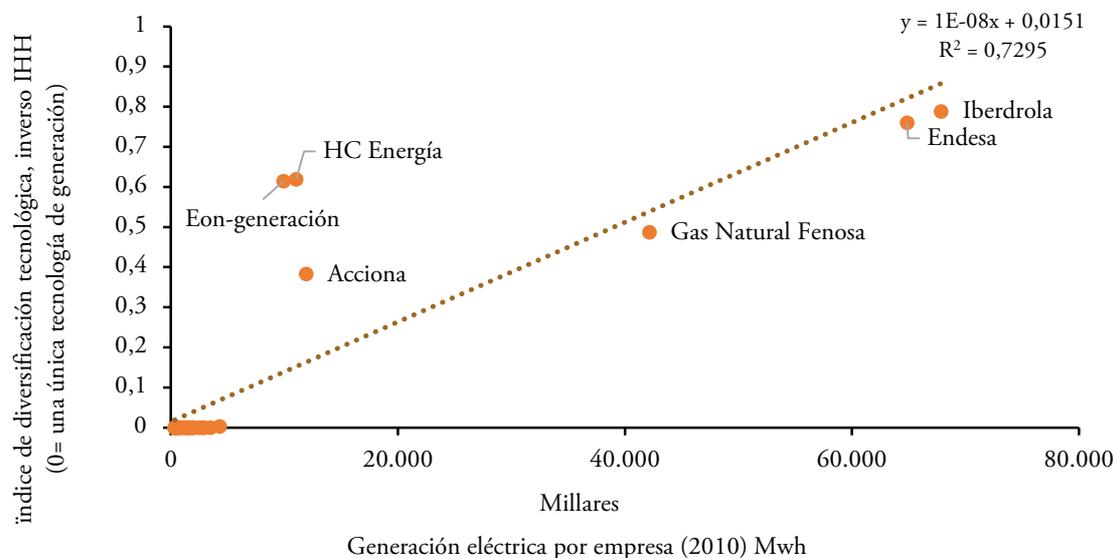


Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de generación peninsular de las *Estadísticas de la Industria Eléctrica* del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD, varios años b) para los años anteriores a 1969, Memorias anuales de UNESA (UNESA, varios años) para el período 1969 a 1990 e Informes de Red Eléctrica de España (REE, varios años) desde 1990. El índice de diversificación se construye con la metodología Herfindahl- Hirschman Invertido (HHII) siendo 0 la diversificación mínima (concentración máxima, una sola tecnología) y 1 la diversificación máxima (mínima concentración en pocas tecnologías).

de más de 1.000 pequeñas centrales que pertenece a empresas generadoras que utilizan una única tecnología en su *mix* de generación que arrojan un índice HHI de concentración máximo de 0, ya que son en su mayoría pequeñas empresas eólicas o empresas propietarias de centrales hidroeléctricas de servicio público, que poseen una única tecnología de generación, en su mayoría renovables. En este grupo también hay algunas empresas independientes en este grupo que poseen plantas de cogeneración (que apenas habían entrado en funcionamiento en 2010). De este modo, la comparación entre la escala de generación y la diversificación tecnológica de las empresas del sector eléctrico permite corroborar que no sólo las grandes empresas son las más diversificadas, como habían señalado previamente investigaciones (Agosti, 2007), sino que son excepcionalmente las únicas empresas eléctricas que gestionan múltiples tecnologías de generación.

Figura 4

Diversificación tecnológica por empresa eléctrica en relación a su tamaño (2010)



Fuentes: Elaboración propia en base a los datos del apéndice del *Informe Eléctrico* del Ministerio de Industria, tomando los datos de más de 1.300 instalaciones de producción eléctrica de servicio público teniendo en cuenta su propietario, tecnología y generación en el año 2010. Para cálculo de índice Herfindahl-Hirschman (HHI) ver figura 3.

Mediante un análisis del *mix* eléctrico de las compañías, se puede constatar que las tres principales empresas eléctricas de España (Iberdrola, Endesa y Naturgy), así como sus predecesoras, han sido las únicas que han atravesado todas las etapas tecnológicas de la historia del sector. Según los estudios sobre la estructura generadora por empresa (Palazuelos, 2019), estas compañías líderes abarcan todo el espectro de opciones tecnológicas, entre otras cosas, gracias a su capacidad de inversión. En el presente estudio, se verifica que esta situación se mantiene a lo largo de todo el período registrado, lo que lleva a concluir que grandes empresas han sido y son las más diversificadas en cuanto a su cartera tecnológica (figura 4).

Sin embargo, a pesar de compartir en la actualidad niveles similares de diversificación, es importante destacar que han existido diferentes trayectorias de diversificación que merecen ser diferenciadas (ver figura 3). Al inicio del período analizado, todas las empresas presentaban un bajo grado de diversificación,

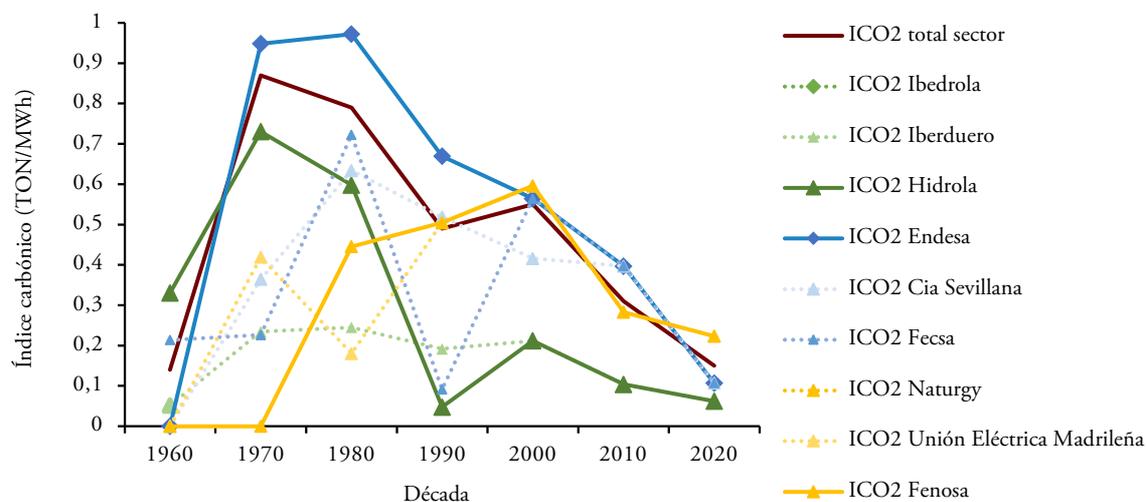
incluso las de mayor tamaño (que posteriormente formarían parte de las grandes empresas actuales). En particular, Endesa se destacaba como la empresa con menor grado de diversificación en sus inicios, con un enfoque casi exclusivo en la propiedad de centrales de carbón. Su origen se remonta a 1944, cuando fue establecida como una compañía estatal dedicada a la explotación del carbón nacional (Anes, 2001; UNESA, 2005). Durante un largo periodo, mantuvo una especialización casi total en carbón hasta bien entrada la década de 2000, cuando se produjo el intercambio de activos posterior a la moratoria nuclear (MITERD, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000; UNESA, 2005).

A partir de la década de 1980 hasta 2002, Endesa empieza a acometer la que será una larga lista de adquisiciones actuando como un receptáculo de empresas en dificultades (Anes, 2001; UNESA, 2005), entre ellas se incluyeron algunas importantes, como Fuerzas Eléctricas de Cataluña (FECSA) en 1998 y Compañía Sevillana de Electricidad en 2002. Comprobamos que estas adquisiciones permitieron a Endesa incorporar a su *mix* eléctrico una amplia gama de tecnologías que las demás empresas ya poseían y que ella no había tenido hasta ese momento, incluyendo energía hidráulica, fuel-oil y, lo más significativo, energía nuclear (ver figura 5). Como resultado, el *mix* de generación eléctrica de Endesa experimentó una rápida diversificación en pocos años, pasando de un índice de diversificación inicial de 0 en 1970, a 0,10 en 1980 y llegando a rondar 0,50 en 2000 (figura 3). Posteriormente, con la incorporación de la energía renovable eólica a partir de los años 2000 (MITERD, 2000 y 2010), Endesa logró alcanzar su máxima diversificación actual, con un índice de diversificación de 0,62. Sin embargo, es importante destacar que esta diversificación se logró más tardíamente en comparación con otras empresas del sector (ver figura 3).

Como consecuencia de esta trayectoria de diversificación, el índice carbónico de Endesa ha experimentado una constante disminución desde 1970, cuando alcanzó el valor más alto del sector de 0,95 tCO₂/MWh, correspondiente al factor de emisión del carbón que es por entonces superior a la media de emisiones de todo el sector en su conjunto. Para el año 2020, Endesa se ha posicionado como la segunda compañía menos emisora del tripolio eléctrico gracias a su apertura ya consolidada a las energías renovables (Endesa, 2020), solo por detrás de Iberdrola, con un valor de 0,11 tCO₂/MWh (ver figura 5).

Figura 5

Intensidad carbónica (tonelada/MWh) de Iberdrola, Endesa, Naturgy y del sector peninsular (1960-2020 por década)



Fuentes: Para fuente de datos ver figura 3. El índice carbónico es calculado a partir de datos del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (MITERD, varios años) siguiendo la metodología de Cano-Rodríguez, 2022 (excluye sistema balear y canario, y las ciudades autónomas de Ceuta y Melilla). Para cálculo e interpretación del índice de diversificación ver figura 3.

Por su parte, observamos que Iberdrola ha mantenido siempre una posición destacada en términos de diversificación en España (ver figura 3). Su enfoque variado en energías renovables y térmicas, así como su participación activa en todas las nuevas incorporaciones tecnológicas (MITERD, varios años), ha posicionado a Iberdrola como una empresa líder en diversificación. En 1960, se puede ver que Hidrola (predecesora de Iberdrola) ya presentaba un índice de diversificación tecnológica de 0,50, una marca que a otras empresas como Unión Fenosa y Endesa les tomó dos y cuatro décadas, respectivamente, alcanzar. A la vez, se constituye como la primera compañía junto con FECSA en descarbonizar en pocos años su producción gracias a su implicación en el programa nuclear y a que la principal fuente térmica contaminante que arrastra en su *mix* de electricidad son las centrales de fuel y estas caen en desuso a partir de la década de los 80 como consecuencia de las crisis del petróleo.

Como consecuencia, en 1990, Hidrola logró situarse en niveles de emisiones por megavatio similares a los de 1960 (antes de que se implementaran las políticas

medioambientales que comienzan en estos años) (ver figura 5). Mientras tanto, Iberduero mantuvo niveles de diversificación relativamente bajos durante todo el período, con índices inferiores a 0,50 en la escala de Herfindahl-Hirschman (HHII). Sin embargo, debido a su predominante enfoque en la energía hidráulica (MITERD, 1980 y 1990), sus emisiones de carbono se mantuvieron notablemente bajas, en torno a 0,2 en todo el período. La combinación que resulta de la fusión de estas dos compañías impulsa una generación de electricidad considerablemente más limpia en comparación con todo el resto de las empresas del momento. Finalmente, en los años 2000, la compañía formada por Iberduero e Hidrola, Iberdrola, continúa diversificándose, esta vez hacia las energías renovables (en concreto, energía eólica) y gas (MITERD, 2000 y 2010). Durante el último período, Iberdrola es la líder en energía eólica, gracias a los negocios pioneros mantenidos con EHN en Navarra. Al mismo tiempo, es la segunda propietaria después de Naturgy en el ámbito de los ciclos combinados. Iberdrola es también la mayor propietaria de energía nuclear. Asimismo, actualmente Iberdrola ostenta la primera posición como líder en la instalación de paneles solares fotovoltaicos (Iberdrola, 2020; Endesa, 2020; y Naturgy, 2020). Estas acciones explican por qué Iberdrola es la compañía con menor cantidad de emisiones por megavatio y la más diversificada del sector durante buena parte de la historia más reciente (ver figuras 3 y 5).

Naturgy se ha destacado por ser la compañía eléctrica más cambiante en cuanto a su perfil tecnológico a lo largo de las décadas. Este constante cambio ha generado altibajos en sus índices de diversificación y descarbonización (ver figuras 3 y 5). Naturgy proviene de dos compañías que en sus inicios eran totalmente opuestas (MITERD, 1960, 1970 y 1980). Por un lado, Fenosa era una compañía cuya generación se basaba principalmente en energía hidráulica en el noroeste de España, mientras Unión Eléctrica Madrileña (UEM) cuyo perfil tecnológico era hidráulico pero también tenía un corte térmico: es pionera en el Programa Nuclear con la apertura de la primera central nuclear en España (José Cabrera, más conocida como Zorita, en 1968) y sustenta una buena parte de la capacidad instalada de carbón del sector. Por eso, en sus inicios en 1990, Unión Eléctrica Fenosa (la primera empresa de la actual Naturgy) es la empresa más diversificada del sector (ver figura 3). Sin embargo, a medida que pasó el tiempo, su diversificación experimentó un significativo retroceso, especialmente en el ámbito de las centrales

térmicas en 1990, ya que vendió parte de sus centrales nucleares para dotarse de sus centrales de carbón, y luego en 2009 al especializarse en ciclo combinado al ser absorbida por Gas Natural (UNESA, 2005; CNMV, 2000). Estos giros tecnológicos han tenido impactos negativos en sus índices carbónicos y, en la actualidad Naturgy se destaca por ser el megavatio más contaminante dentro del grupo de empresas líderes y por ser la empresa menos diversificada dentro del tripolio del sector (ver figura 5). La situación particular de Naturgy se debe en gran medida a su alta proporción de centrales de ciclo combinado en su matriz energética.

Salvando los ritmos de cada compañía a lo largo de todo el período, a grandes rasgos se aprecia un claro proceso común de convergencia entre las grandes empresas del sector eléctrico durante los últimos 60 años con relación a sus índices carbónicos y la diversificación de sus *mix*, proceso que se intensifica en los últimos 20 años (ver figuras 3 y 5). El periodo de mayor diversificación común alcanza su punto de inflexión en el intercambio de activos realizado antes del año 2000. Dicha reorganización del sector, consecuencia de la moratoria nuclear, resulta en una completa reestructuración de las empresas eléctricas que se fusionan y absorben otras filiales entre sus activos. En este contexto, empresas como Endesa, que previamente se centraba en la generación de energía a partir del carbón, incluyeron en su matriz energética una mayor proporción de fuentes hidráulicas y nucleares, lo que permitió descarbonizar notablemente su producción. Si bien en el resto de las empresas este cambio no tuvo un impacto tan significativo, sí fue beneficioso también para Iberdrola, que adquirió una mayor participación en la energía nuclear, entre otras. No obstante, Naturgy se vio perjudicada en términos de diversificación y descarbonización, ya que los efectos de la compraventa de activos fue la concentración de su *mix* energético en tecnologías altamente carbónicas, como se mencionó anteriormente.

En líneas generales, se puede decir que el intercambio de activos entre las empresas permitió ampliar su capacidad y equilibrar sus carteras, lo que las posicionó de manera favorable para invertir en las tecnologías renovables cuando estas surgieron con fuerza en el nuevo milenio. La apuesta conjunta por las energías renovables y el equilibrio tecnológico a partir del año 2000 ha llevado a que las matrices

energéticas de las tres principales compañías no sólo están más diversificadas que nunca, sino que también sean más homogéneas.

Por otro lado, a modo de análisis general de las tendencias de diversificación identificadas, la forma de diversificar ha cambiado. En la etapa inicial, las empresas del sector eléctrico emprendían muchas acciones de inversión en instalaciones por su propia cuenta. No obstante, conforme el desarrollo del sector avanza, la estrategia de diversificación se va tornando primordialmente en el intercambio de activos, fusiones y adquisiciones de compañías de elevado tamaño a compañías más pequeñas. Esta modalidad de crecimiento a partir de adquisiciones se profundiza tras la moratoria nuclear en 1982, que da lugar a un largo proceso de intercambio de activos para equilibrar los balances que se habían desestabilizado. En este sentido, las fusiones y adquisiciones fueron los mecanismos centrales que diversificaron las compañías.

Esta visión sólo se revela al analizar individualmente cada empresa, pero no es evidente en la observación general del sector. Asimismo, resulta trascendental subrayar que la modalidad de diversificación mediante fusiones y adquisiciones ha generado a largo plazo un mercado eléctrico más concentrado. Aquellas empresas involucradas en dichas transacciones han consolidado su posición y han logrado una mayor cuota de mercado en el ámbito eléctrico. Esta tendencia hacia una mayor concentración puede acarrear repercusiones tanto favorables como desfavorables para el sector, ya que puede generar economías de escala y sinergias, no obstante, también plantea inquietudes en términos de competencia y acceso equitativo al mercado.

No obstante, en la actualidad se vislumbra un cambio de rumbo en la estrategia de diversificación de las empresas del sector eléctrico. Estas organizaciones están retornando a una diversificación masiva a través de la inversión en instalaciones propias, lo cual se refleja claro en el caso de las energías renovables, incluyendo la energía eólica y la solar fotovoltaica. Aunque cabe señalar que todavía se aprecia un ritmo tardío en la innovación de las grandes empresas. Si observamos minuciosamente los datos de potencia instalada de las energías renovables vemos que algunas innovaciones ocurren primero en pequeñas empresas. Esto indica que la diversificación de las grandes empresas también se ha beneficiado de la innovación previa realizada por otras compañías menos relevantes.

En otro orden de cosas, hay que remarcar varias diferencias en cuanto al comportamiento intrínseco de los índices de diversificación y de los índices de carbono por separado. En los índices de carbono, las discrepancias en las trayectorias son más pronunciadas, dado que son más sensibles a la adopción de ciertas tecnologías (ver figuras 3 y 5). Mientras que el índice de diversificación progresa de manera casi continua cada vez que se incorpora una tecnología, el índice de carbono se dispara cuando una tecnología alta en carbono entra en el *mix* de las empresas. Sin embargo, el comportamiento diferenciado que comporta la propia naturaleza de ambos índices se armoniza a partir de 2000, debido a que en esta etapa los índices carbónicos no sufren altibajos ya que la gran parte de las instalaciones incorporadas son de energías renovables.

También es importante mencionar el hecho de que en índices de diversificación ninguna compañía supera nunca el nivel de diversificación del sector en su conjunto (ver figura 3). Este hecho demuestra que no existe una empresa individualmente más diversificada que el conjunto, y pone en valor a las pequeñas unidades que, especializadas en una tecnología, contribuyen con la variedad tecnológica que el sector global requiere. Sin embargo, en términos de índices de carbono sí existe una empresa que se sitúa durante buena parte del período por encima del nivel carbónico del sector en su conjunto: Endesa. Este hallazgo indica que, si bien una sola empresa no puede solucionar por sí sola los desafíos del sistema, sí puede perjudicar significativamente si está altamente especializada en una tecnología particularmente contaminante en términos de emisiones de carbono.

Por último, a la luz de los datos analizados, podemos afirmar que las empresas grandes, a pesar de ser las más diversificadas, no son las menos carbónicas. Examinando el montante restante de las empresas que componen el sector, las empresas más emisoras en unidad por megavatio son las grandes compañías, en concreto, Naturgy, Endesa, Iberdrola y E-ON, ya que entre estas tienen es su propiedad todas las centrales de fuel, ciclo combinado y carbón. Las demás compañías, a excepción de pequeñas propietarias de centrales de cogeneración (cuyo índice carbónico es del 0,38 tCO₂, superior al 0,1-0,2 actual de las tres grandes eléctricas), son pequeñas propietarias de energía renovable eólica, solar e hidráulica (parques eólicos, placas solares, pequeños saltos hidráulicos). Aquí encontramos una paradoja que difiere de las creencias actuales. A pesar de tener

una diversificación nula, las empresas pequeñas surgidas a partir de los años 2000 en torno a parques eólicos o centrales hidráulicas del principio del siglo logran generar energía de manera 100 % limpia. Esto se debe a que su especialización es exclusiva en torno a una tecnología, pero esta es libre de carbono. En el siguiente apartado se realiza una reflexión sobre esta controvertida relación entre diversificación y descarbonización y su comportamiento conjunto en el largo plazo.

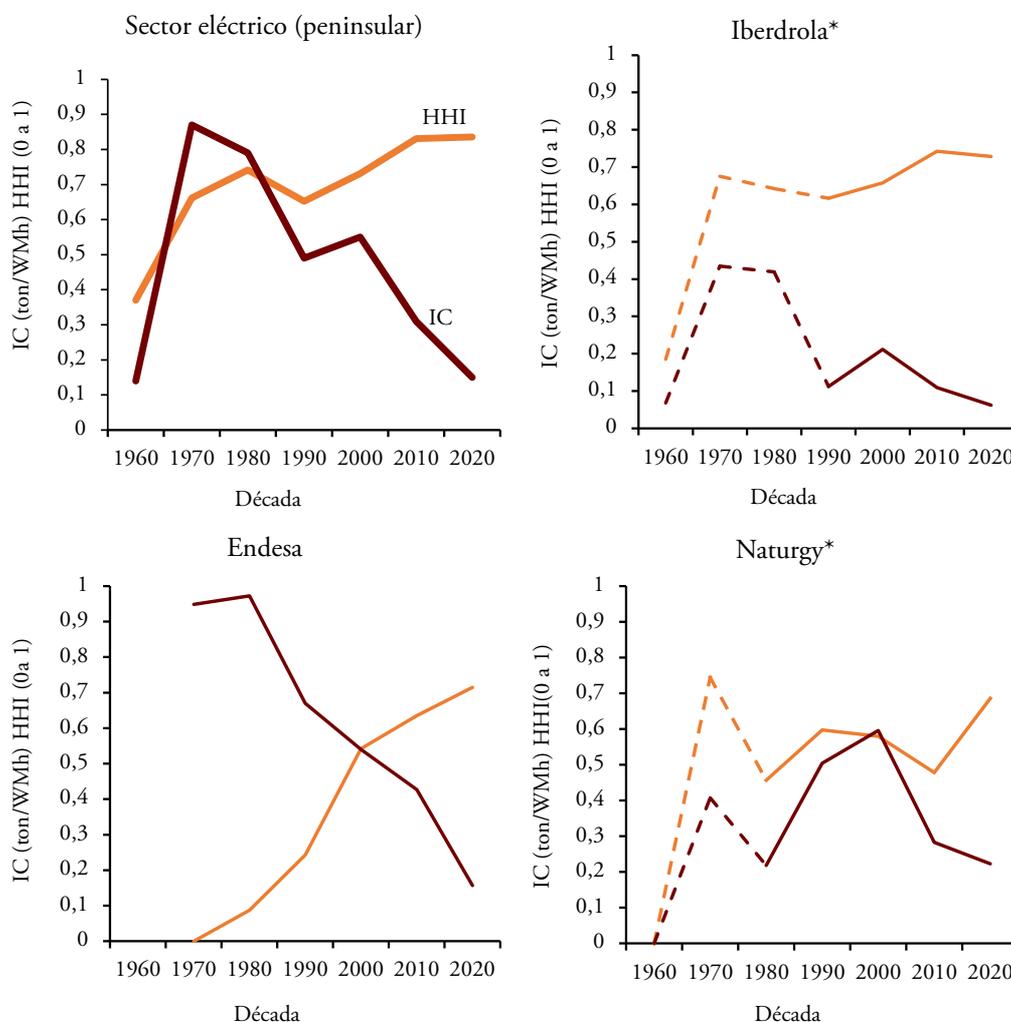
4. DISCUSIÓN SOBRE LA RELACIÓN ENTRE DIVERSIFICACIÓN Y DESCARBONIZACIÓN DEL *MIX* ELÉCTRICO EN ESPAÑA

La relación entre diversificación tecnológica (HHII) e índices carbónicos (IC) por empresa se comporta como a nivel nacional: varía según él la intensidad en carbono de la tecnología hacia la que se está dirigiendo la diversificación. Si existiera una relación negativa permanente entre diversificación y descarbonización, tal y como se supone habitualmente, tendríamos que ver una cruz clara para todas las empresas. Sin embargo, la correlación establecida no es tan clara. Se observa aquí una paradoja interesante (ver primer cuadrante de la figura 6): a nivel sector, durante la primera década del siglo XXI, se desenvuelve el periodo en el que se produce el mayor avance en la diversificación del *mix* eléctrico de todas las empresas (se pasa de 0,37 a 0,66 en la escala de 0 a 1 del índice de Herfindahl-Hirschman invertido en una década). Sin embargo, a la vez, se registra el período de crecimiento más significativo del índice carbónico (que pasa de 0,14 ton/MWh a 0,87) (ver figura 6). Esto indica una relación entre diversificación tecnológica y descarbonización de la producción eléctrica positiva. De hecho, los niveles carbónicos alcanzan su máximo nivel en ese momento. En contraste, desde la primera mitad del período hasta la actualidad, el avance de la diversificación, que ha continuado siendo positivo (de 0,66 a 0,84) se ha traducido en un descenso del índice carbónico por megavatio que hoy se encuentra en mínimos históricos (0,15 ton/MWh, casi el mismo nivel que en 1960).

Esta contradicción se debe en parte a que, en esta fase de diversificación del sector, este se estaba ampliando tecnológicamente desde un sistema basado principalmente

Figura 6

Evolución conjunta del Índice de Diversificación de Herfindahl-Hirschman Invertido (HHI) (escala de 0 a 1) e Intensidad Carbónica (IC) (toneladas/MWh) y del sector (peninsular) y las compañías Iberdrola, Endesa, Naturgy



Fuentes: Ver figuras 3 y 5.

en generación hidroeléctrica (cero emisora) hacia nuevas tecnologías basadas en la combustión de carbón y fuel oil, las más contaminantes (0,95 y 0,77 ton/MWh, respectivamente). La paradoja también se puede observar en las trayectorias de Iberduero, Hidrola, Unión Eléctrica Madrileña (UEM) y Fenosa (Fuerzas Eléctricas del Noroeste), aquellas que luego se corresponden con Iberdrola

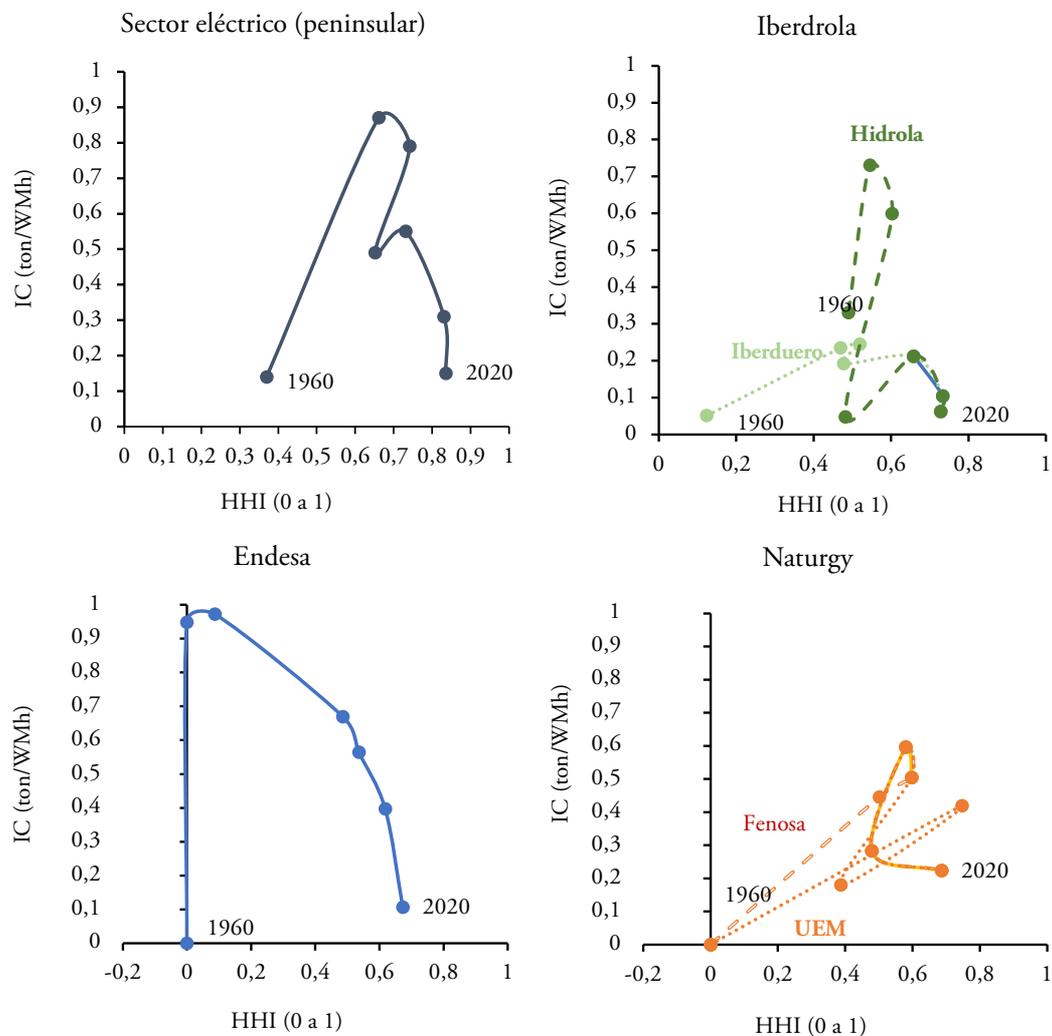
y Naturgy. A partir de 1960, abandonan un patrón de especialización basado en energía hidráulica (80 % de la generación de estas empresas) al incorporar entre sus mezclas eléctricas un alto número de centrales de fuel y carbón. Esto eleva sus índices de diversificación a niveles históricos en ese momento, mientras sus emisiones de carbono lo hacen incluso a mayor ritmo. Por el contrario, a partir de 1980 debido a la inclusión de la energía nuclear y desde 2000 la introducción de energías renovables, los índices de diversificación continúan avanzando, pero esta vez sus emisiones descienden significativamente. De nuevo, esto se debe a que las nuevas energías que se están incorporando en este período son escasamente carbono-intensivas. Estas observaciones nos indican que no importa tanto el grado de diversificación del *mix* eléctrico como su composición tecnológica. Así, la descarbonización se consigue a través de la diversificación tecnológica solo cuando esta se orienta hacia tecnologías que arrojen un índice carbónico más bajo que las anteriores.

El hecho de que Endesa sea una clara excepción de este fenómeno se explica por su especialización casi al 100 % en centrales térmicas clásicas de carbón. Endesa nunca fue una compañía hidráulica, por el contrario, nace como una empresa puramente carbonera. El *mix* tecnológico de Endesa desde su creación hasta hoy ha ido diversificando su producción desde altas proporciones de una sola tecnología más emisora (0,95 tCO₂/MWh), lo que en índice HHI se traduce en una diversificación nula, a proporciones compensadas entre las nuevas tecnologías que van entrando con índices carbónicos más bajos. Con lo cual, el avance de la diversificación tecnológica en su caso siempre ha significado índices carbónicos más bajos.

Observando la correlación entre estas dos variables para las empresas que configuraron las actuales, podemos distinguir todavía con más claridad la relación establecida entre descarbonización y diversificación tecnológica por etapa tecnológica (ver figura 7). A simple vista lo que parece correlación es muy variable, en realidad responde a una lógica muy clara: cuando la diversificación implica introducción de tecnologías fósiles, entre 1960 y 1970, la diversificación y los índices carbónicos se correlacionan positivamente, mientras que cuando la diversificación implica introducción de tecnologías bajo-intensivas en carbono, a partir del año 2000, la correlación es negativa. El ejemplo más claro que podemos

Figura 7

Correlación entre Índice de Diversificación e Intensidad Carbónica de Iberdrola, Endesa, Naturgy y del sector peninsular



Fuentes: Ver figuras 4 y 5.

ver es el de Endesa, en el que la diversificación significaba en todo momento retirar proporción de carbón, mientras que Naturgy refleja la correlación, ya que parte de las tecnologías bajas en carbono que incorpora los años 2000 corresponde a las centrales de ciclo combinado, que emiten menos del carbón, pero sigue estando en una escala carbónica media (0,37 tCO₂/MWh).

Es interesante comprobar que no existe ningún período en el que la concentración haya generado un incremento de las emisiones por megavatio. Solo de forma muy sutil, podemos comprobar que un retroceso en la diversificación implica un aumento del índice carbónico, que sucede cuando Gas Natural Fenosa (actual Naturgy) aumenta notablemente su proporción de generación por carbón, entre 1990 y 2000, y este se convierte por una década en su tecnología predominante (figura 7), sin embargo, la correlación es poco significativa ya que la variación en el HHII es de menos de una centésima. Sí existe, por contra, un período en el que un retroceso en diversificación ha significado un avance en descarbonización y es durante el Programa Nuclear (1980-1990). Podemos observar cómo, por ejemplo, Hidrola cuando incorpora sus nuevas adquisiciones y la energía nuclear se convierte en la energía que arrastra al fuel y al fuel-gas como energía predominante superándolos en proporción, su índice carbónico desciende. Esto lo observamos también en Unión Eléctrica Fenosa y en el conjunto del sector. El *mix* se está concentrando, pero como la tecnología en la que lo está haciendo es cero emisora, su índice carbónico disminuye.

Los hallazgos respaldan la reflexión sobre la diversificación y la descarbonización que previamente se ha planteado en estudios a nivel nacional (Rubio-Varas y Muñoz-Delgado, 2019b), demostrando que matrices energéticas diversificadas no implican *per se* sistemas descarbonatados. La reducción relativa de emisiones sólo ocurre cuando las empresas aumentan la proporción de tecnologías no emisoras en detrimento de las más contaminantes, como los ciclos combinados, la energía nuclear y las energías renovables en lugar del fuel y el carbón⁸.

En la actualidad, nos encontramos en una de esas situaciones inusuales en las que menos diversificación está llevando a una mayor descarbonización del sector. Las empresas están incorporando una gran cantidad de energía solar y eólica en sus carteras, de tal manera que si en el futuro se retiran el resto de las energías

⁸ Es importante destacar que los resultados mostrados sólo tienen sentido si hablamos de descarbonización relativa, es decir, en Índice Carbónico o toneladas de emisiones por megavatio. Si quisiéramos hablar de rebaja real de emisiones a la atmósfera, tendríamos que hablar en toneladas totales. No obstante, los índices de carbono son realmente eficaces para medir los saltos en intensidades carbónicas que han conllevado los distintos cambios de tecnología y, en ocasiones, como ocurre actualmente, también van acompañados de reducción de emisiones en términos reales.

que tenemos en el sistema (las centrales nucleares y el ciclo combinado), se va a ir alcanzando una alta concentración del sector en unas pocas tecnologías renovables. Paradójicamente, en este caso, esta concentración traerá consigo menores emisiones de carbono.

5. CONCLUSIONES

La diversificación desempeña un papel crucial en la descarbonización del sector eléctrico y, aunque los patrones de diversificación han experimentado cambios a lo largo del tiempo, se observa una convergencia en la actualidad hacia un *mix* más diversificado de todas las empresas del sector. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no en todos los períodos históricos este proceso de diversificación ha conducido a una reducción significativa de las emisiones de carbono.

Se ha encontrado una correlación positiva entre la diversificación y la descarbonización, pero durante algunas etapas tecnológicas concretas. La correlación entre ambas sólo se manifiesta cuando las empresas incluyen tecnologías con bajas emisiones de carbono en sus carteras. Estos hallazgos sugieren que, si bien la diversificación es fundamental para la descarbonización, es necesario considerar cuidadosamente que el tipo de tecnologías específicas que se incorporen en el proceso sean limpias en emisiones.

A través de este estudio también se han revelado diferencias entre diversificación y descarbonización entre las empresas, que responden a la misma lógica de la efectividad “descarbonizadora” de la diversificación tecnológica condicionada al tipo de tecnología. Se ha observado que las grandes compañías son las únicas que logran alcanzar un alto nivel de diversificación, mientras que las empresas más pequeñas tienden a estar altamente enfocadas en una sola tecnología renovable. Sin embargo, a pesar de la diversificación de las grandes compañías, las empresas más pequeñas, que se centran en una única tecnología renovable, tienen los índices de carbono más bajos.

Por otro lado, existen trayectorias tecnológicas muy diferenciadas entre las empresas más diversificadas, que como decimos son exclusivamente las grandes empresas. Estas trayectorias dispares las sitúan hoy en diferentes posiciones ante la

transición energética. Por ejemplo, empresas como Endesa, que fue la compañía carbonera del Estado, aún debe abordar una parte significativa de la diversificación de su *mix* eléctrico y la reducción de sus emisiones, mientras que Iberdrola cuenta con una importante ventaja comparativa, proviniendo de un *mix* históricamente muy diversificado y bajo en carbono. Otras como Naturgy enfrentan desafíos distintos que tienen que ver con la volatilidad de los precios del gas y la cabida de las tecnologías de emisión de intensidad media en el horizonte de neutralidad carbónica de 2050 debido a su especialización en centrales de ciclo de carbono. Es crucial tener en cuenta los legados tecnológicos de las empresas eléctricas han influido en el enfoque de diversificación del presente y pueden seguir configurando los enfoques del futuro.

Por último, se ha constatado que la diversificación tecnológica individual no es estrictamente necesaria para lograr una diversificación efectiva en el sistema en su conjunto. Si bien las grandes empresas desempeñan un papel importante en la diversificación, las pequeñas empresas también han sido pioneras en la adopción de nuevas tecnologías y aportan una parte de la variedad tecnológica de la que se nutre el conjunto del sistema. Sin embargo, es importante destacar que gran parte de la diversidad tecnológica necesaria para distribuir el riesgo en las carteras tecnológicas y garantizar la seguridad en el suministro eléctrico, entre otros aspectos que ofrece la diversificación del sistema, es difícil de lograr sin la participación de grandes empresas. Esto se debe a que algunas instalaciones tecnológicas requieren una inversión de alta capacidad que solo las grandes compañías pueden afrontar.

Basándonos en estos resultados, se recomendaría que la política económica en materia de transición energética promoviera una diversificación equilibrada, tomando en consideración las características individuales de cada empresa, incluyendo sus limitaciones y oportunidades. Y, en segundo lugar, pero no por ello aún más importante, el impulso de la diversificación debe tener en cuenta en todo momento que la ampliación de la variedad tecnológica debe ser un indicador condicionado por la incorporación de tecnologías limpias. Sin esta condición, cualquier esfuerzo para lograr mayor diversificación carecerá de efecto en la descarbonización efectiva del sector eléctrico. En los desafiantes años que nos aguardan, será esencial enfocarse en promover el acceso y la adopción de tecnologías limpias como parte fundamental de cualquier estrategia de

diversificación tecnológica en el ámbito de la transición energética, y comenzar a adecuar las exigencias de innovación tecnológica a la realidad de cada empresa.

REFERENCIAS

ACCIONA (2020). Informe Integrado 2020. <https://www.acciona.com/> (último acceso 17 de marzo de 2023).

AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (IEA). (2019). Global Energy & CO₂ Status Report 2019. Paris, France. <https://www.iea.org/reports/global-energy-co2-status-report-2019> (último acceso 29 de junio 2022).

AGOSTI, L., PADILLA, A. J. y REQUEJO, A. (2007). El mercado de generación eléctrica en España: estructura, funcionamiento y resultados. *Economía industrial*, 364, pp. 21-37.

ANES, G. (dir.). (2006). *Un siglo de luz. Historia empresarial de Iberdrola*. Madrid: Iberdrola-Ediciones El Viso, Madrid. 759 p.

ANES, G., FERNÁNDEZ, S. y TEMBOURY, J. (2001). *Endesa en su historia (1944-2004)*. Madrid: Fundación Endesa. ISBN-10: 0965017737; ISBN-13: 978-0965017732.

CANO-RODRÍGUEZ, S., RUBIO-VARAS, M. y SESMA-MARTÍN, D. (2022). At the crossroad between green and thirsty: Carbon emissions and water consumption of Spanish thermoelectricity generation, 1969–2019. *Ecological Economics*, 195, 107363.

CHAPA IMAZ, Á. (2002). *Cien años de historia de Iberdrola*. Tomo I: los hechos. Bilbao: Editorial Iberdrola. ISBN 10: 8493143448.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA (CNE). (2000). Informe sobre el proyecto de concentración consistente en la fusión de Endesa S.A. e Iberdrola S.A. <https://www.cnmc.es> (último acceso 10 de mayo de 2023).

COMISIÓN NACIONAL DEL MERCADO DE VALORES (CNMV). (2023). Consultas a Registros Oficiales. Hechos Relevantes. Disponible en: <https://www.cnmv.es/Portal/Menu/Registros-Oficiales.aspx> (último acceso: 10 de mayo de 2023).

COSTA CAMPI, M. T. (2019). Evolución del sector eléctrico español (1975-2015). *La economía española en el reinado de Juan Carlos I (ICE)*, marzo-junio 2016. N.º 889-890.

DE FREITAS, L. C. y KANEKO, S. (2011). Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic growth in Brazil. *Ecological Economics*, 70, pp. 1459–1469.

ENERGÍAS DE PORTUGAL (EDP). (2020). Sustainability Report 2020. <https://www.edp.com/> (último acceso 17 de marzo de 2023).

EEA (EUROPEAN ENERGY AGENCY). (2021). Annual European Union Greenhouse Gas Inventory 1990–2019 and Inventory Report 2021. Brussels, Belgium. <https://www.eea.europa.eu/publications/annual-european-union-greenhousegas-inventory-2021>

ENDESA. (2020). Estado de Información no Financiera y Sostenibilidad 2020. <https://www.endesa.com/> (último acceso 17 de marzo de 2023).

IBERDROLA. (2020). Estado de información no financiera. Informe de Sostenibilidad. Ejercicio 2020. <https://www.iberdrola.com/> (último acceso 17 de marzo de 2023).

IEA. (2020.) Electricity. Paris, France. <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity> (último acceso 29 de junio 2022).

INGLADA GALIANA, M. E. (2012). Cien años de historia económica de una empresa eléctrica: Iberdrola. Universidad de Valladolid. DOI: 10.35376/10324/1004

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. En O. EDENHOFER, R. PICHES-MADRUGA, Y. SOKONA, E. FARAHANI, S. KADNER, K. SEYBOTH, A. ADLER, I. BAUM, S. BRUNNER, P. EICKEMEIER, B. KRIEMANN, J. SAVOLAINEN, S. SCHLOMER, C. VON STECHOW, T. ZWICKEL, J. C. MINX, (Eds.). Cambridge (United Kingdom) and New York (USA), Cambridge University Press.

LA CASA BLANCA. (28 de enero de 2022). Joint Statement by President Biden and President von der Leyen on U.S.-EU Cooperation on Energy Security. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/01/28/joint-statement-by-president-biden-and-president-von-der-leyen-on-u-s-eu-cooperation-on-energy-security/>

MARCOS, J. M. (2002). Historia y panorama actual del sistema eléctrico español. *Física y sociedad*, N^o. 13, 2002, pp. 10-17.

MITERD (MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO). (Varios años a). Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. <http://www.prtr-es.es/> (último acceso 11 de noviembre de 2022).

MITERD (MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO). (varios años b). Informe Eléctrico del Ministerio de Industria. <https://energia.gob.es/balances/Publicaciones/ElectricasAnuales/Paginas/ElectricasAnuales.aspx/> (último acceso 11 de noviembre de 2022).

MORNINGSTAR, R. L., SIMONYI, A., KHAKOVA, O. y MARKINA, I. (2019). *European Energy Security and Transatlantic Cooperation: A Current Assessment*. Atlantic Council, junio de 2019.

NATURGY. (2020). Informe de Sostenibilidad y Estado de Información no financiera 2020. <https://www.naturgy.com/> (último acceso 17 de marzo de 2023).

PALAZUELOS, E. (2019). *El oligopolio que domina el sistema eléctrico* (Vol. 18). Ediciones Akal. ISBN: 978-84-460-4836-7.

PARLAMENTO EUROPEO. (3 de marzo de 2023). *Energy policy: General principles*. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/68/energy-policy-general-principles>

REE (RED ELÉCTRICA ESPAÑA). (varios años). Informe del Sistema Eléctrico. <https://www.ree.es/es> (último acceso de noviembre de 2022).

REE (RED ELÉCTRICA ESPAÑA). (2021). Emisiones de asociadas a la generación de electricidad. <https://www.ree.es/es> (último acceso 30 de junio de 2021).

RUBIO-VARAS, M. y MUÑOZ-DELGADO, B. (2019a). The energy mix concentration index (EMCI): Methodological considerations for implementation. *MethodsX*, 6, pp. 1228-1237.

RUBIO-VARAS, M. y MUÑOZ-DELGADO, B. (2019b). Long-term diversification paths and energy transitions in Europe. *Ecological Economics*, 163, pp. 158-168.

TEMPLET, P. H. (1999). Energy, diversity and development in economic systems; an empirical analysis. *Ecological Economics*, 30, pp. 223–233.

SASTRE, J. M. e INGLADA, E. (2014). Luces y sombras en la historia de la formación de una empresa eléctrica. *Revista Española de Historia de la Contabilidad*, Vol. 11, Nº. 20, pp. 37-66. ISSN-e 1886-1881.

SUDRIÁ, C. (2006). Un bosquejo histórico de la energía en la industrialización de España. En J. L. GARCÍA DELGADO y J. JIMÉNEZ (2006). *Energía: del monopolio al mercado. CNE, diez años en perspectiva*. Cizur Menor (Navarra): Aranzadi.

UNESA (UNIÓN ELÉCTRICA S.A.). (varios años). Memoria Estadística Eléctrica. Madrid.