



Comisión sobre el estado de la ciencia en España

DECLARACIÓN SOBRE LA FINANCIACIÓN Y GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN ESPAÑA – 2022

La ciencia española ante la transición energética

1. Introducción

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (RAC), de acuerdo con sus mandatos estatutarios, presenta su cuarta Declaración sobre la situación de la investigación científica en España, en esta ocasión centrada en el papel de la ciencia ante la transición energética. La declaración sigue a las de 2018, 2019 y 2021, tras una interrupción durante 2020 debida a la priorización por parte de la RAC de responder a la emergencia sanitaria desencadenada por la pandemia COVID-19 ([Mediateca RAC](#); La pandemia de coronavirus y su impacto: [jornada 1 - Luis Enjuanes](#); [jornada 2 - Agustín Portela](#); [jornada 3 - Ignacio Molina y José Luis Villacañas](#); Coronavirus. Retos y soluciones desde los ámbitos de la ingeniería, la ciencia y la sanidad. [Primera Jornada](#); [Segunda Jornada](#)).

Para el contenido de la presente Declaración del año 2022 (Declaración-22) hubo un amplio consenso en la RAC de que era importante tratar un problema urgente en todo el planeta y con repercusiones de gran impacto para la sociedad española. Se trata de los efectos del cambio climático y la necesaria transición energética para tratar de contrarrestarlo. Ambos aspectos tienen múltiples y complejas facetas que se están abordando, tanto internacionalmente como en España, a un ritmo muy inferior al que demanda la urgencia que se deduce de los datos científicos contrastados.

En esta Declaración-22 se enmarca el problema del cambio climático dentro de los objetivos internacionales sobre desarrollo sostenible y, a continuación, se examinan algunas formas de energía renovable y su aplicabilidad al territorio español. Se sugieren acciones que podrían ser de inmediata implementación, así como líneas de investigación que consideramos deberían priorizarse, dada la situación socio-económica y geográfica de España. Que dichas actuaciones produzcan resultados está condicionado a que tanto los poderes públicos como las organizaciones

privadas inviertan en investigación innovadora y se gestione adecuadamente la aplicación de los resultados de la investigación básica. Somos conscientes de la magnitud del desafío y, por tanto, tal como hemos expresado en declaraciones anteriores, la RAC se pone a disposición de los poderes públicos competentes en estas materias para analizar conjuntamente los problemas que debemos afrontar y proponer vías de actuación.

En el momento de preparar la presente Declaración-22, la crisis social y económica derivada de la COVID-19 empieza a remitir, con la esperanza por parte del mundo académico de que la sociedad haya entendido los beneficios que conllevan las inversiones en investigación científica en general y en biomedicina en particular. No está claro que el destino de los fondos europeos (como Mecanismo de Recuperación y Resiliencia o MRR), aplicados a proyectos concretos como demanda su concesión, sirvan, además, para acercar el porcentaje del Producto Interior Bruto (PIB) de España dedicado a la investigación científica al que dedican otros países europeos. Estas dudas se expresaron en la [Declaración-21](#) de la RAC y mantienen su vigencia.

A la favorable situación de superación (aunque todavía no completa) de la crisis pandémica se le ha añadido recientemente, como terrible contrapartida, la guerra en Ucrania que cuenta con el rechazo masivo de la comunidad académica internacional y de la RAC ([Declaración Institucional RAC en apoyo a Ucrania](#)). El anuncio por parte del actual Gobierno de España de un aumento de los gastos de defensa como respuesta a la guerra, incrementa el temor de que, al igual que ha ocurrido en crisis anteriores en nuestro país (pero no en otros de nuestro entorno), el aumento de gastos en defensa se compense en los Presupuestos Generales del Estado (PGE) con reducción de inversiones en cultura, educación e investigación, tan necesarias para el progreso económico y social (véase el artículo de opinión de Nazario Martín León "[¿Debe la ciencia impregnar la política?](#)" en El País del 14.07.2016). Ello podría hacer peligrar la anunciada Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación para 2021-2027, clave para renovar nuestro sistema de Investigación más Desarrollo más innovación (I+D+i).

Hay otros aspectos que deben ser objeto de reflexión ante las consecuencias de la guerra en Ucrania. Entre ellos cabe destacar la importancia de la investigación básica como base para el desarrollo de

metodologías para la explotación de energías renovables; haber progresado en ello hubiera sido altamente beneficioso para nuestro devenir. En cambio, ahora, nos hallamos una vez más ante una situación de debilidad económica para hacer frente a la crisis derivada de la guerra, con dependencia energética del exterior y frente a la gran paradoja de que nuestro gobierno debe subvencionar el uso de los combustibles que la situación de cambio climático demanda reducir. En el fondo de los problemas económicos y sociales de España siempre subyace la falta de inversión en ciencia y el escaso apoyo a iniciativas de desarrollo de novedades tecnológicas (véase también la Sección 8).

2. La transición energética en relación con los objetivos del desarrollo sostenible según la ONU

En 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, que se planteó como “una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos, sin dejar a nadie atrás”. La transición energética está ligada de manera irrevocable con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Entre los 17 ODS, el número 7 persigue “garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”. Va dirigido fundamentalmente a promover el acceso a la energía (principalmente la eléctrica) a zonas en desarrollo como África; de hecho, estos cambios favorecerían a unos 3000 millones de personas en el mundo. Hemos visto en estos últimos años como el acceso a la energía plantea también graves problemas al mundo más desarrollado, dado que se ha convertido en arma política que puede acarrear retrocesos no deseados.

La transición hacia una energía sostenible debe implicar una sustitución gradual del uso de los combustibles fósiles por energías limpias: eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, etc. Estas energías alternativas, que a veces llamamos energías verdes, son las que proceden de fuentes naturales que se pueden regenerar por sí mismas. Recordemos que las recientes dificultades de suministro de gas natural, han llevado a la Comisión Europea a proponer la energía nuclear (e incluso el gas natural) como una energía verde, propuesta que requeriría una justificación argumentada.

El ODS número 12 promueve una producción y un consumo energético responsables; ambas facetas son fuerzas impulsoras de la economía

mundial. El deterioro del ambiente natural y el uso inadecuado de los recursos están provocando efectos devastadores sobre nuestro planeta. Se da así la paradoja de que el progreso económico y social está poniendo en peligro las fuentes de las que depende el propio progreso. A este respecto, la digitalización misma entraña un problema de consumo de energía que requiere ser abordado (tratado en la Sección 6 de esta Declaración-22).

Pero no son estos los únicos ODS que están afectados por la energía. El Objetivo 11, sobre ciudades y comunidades sostenibles, señala que en 2050 habrá 6500 millones de personas habitando en ciudades, dos tercios de la humanidad, lo que requerirá un notable consumo energético. O, por ejemplo, el ODS 9 sobre industria, innovación e infraestructura, motores fundamentales del crecimiento y el desarrollo económico, también tiene que ver con el consumo energético.

Por todas estas consideraciones y dadas las perspectivas futuras más previsibles, basadas en datos científicos contrastados, la Declaración-22 señala la importancia de una inversión perspicaz en la ciencia que subyace a la tan necesaria transición energética, como uno de los vehículos para frenar el cambio climático y contrarrestar sus efectos. Alcanzar los objetivos de la Agenda 2030 dependerá en gran medida de lograr una transición energética adecuada. La Declaración de la ONU de 2022-2023 como Año Internacional de las Ciencias Básicas para el Desarrollo Sostenible (IYBSSD2022) ofrece una clara evidencia de que las ciencias básicas son indispensables para esta transición.

3. El papel de la ciencia en la demostración del origen humano del cambio climático y su reconocimiento por instituciones políticas

El papel de la ciencia ha sido fundamental para demostrar el origen humano del cambio climático, que se incrementa debido a un consumo desbocado e innecesario, que conduce a la explotación masiva de todo tipo de recursos fósiles, especialmente el carbón, el petróleo y el gas natural. Tras años de dudas sobre la magnitud y repercusiones del cambio climático por parte de algunos sectores (véase, como ejemplo, el estudio “Cambio climático y retos energéticos” coordinado por Juan Velarde Fuertes, Instituto de España, Madrid, 2010), los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático [[Intergovernmental Panel on Climate Change \(IPCC\)](#)] han sido muy claros en concluir que la influencia humana a través

de la producción de gases de efecto invernadero [directos: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3) troposférico, vapor de agua, e indirectos: otros óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles distintos del metano] ha sido la causa principal del calentamiento observado desde mediados del siglo XX. Entre sus consecuencias se hallan el aumento de temperatura global, el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos, la disminución de la capa de hielo en las zonas polares del planeta, la subida del nivel del mar, la acidificación y desoxigenación de los océanos, el deterioro de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y la alteración de hábitos migratorios, que son un factor de emergencia de enfermedades infecciosas (véase la Sección 8), entre otras.

Conviene recordar que el O_2 (necesario para la formación de CO_2 por combustión) no es fósil y se renueva continuamente mediante el proceso de fotosíntesis a partir de la luz solar. Su tiempo de vida en la atmósfera es del orden de 5000 años y se está acortando rápidamente por la deforestación, la desertificación, la contaminación, los incendios y el abandono del mundo rural.

Academias de todo el mundo, particularmente las de Estados Unidos, China y Europa, junto a sus universidades y grandes instituciones de investigación y desarrollo de tecnologías, se alían reforzando la validez de los informes científicos y presentado propuestas concretas conjuntas de actuación urgente. Estas propuestas se están aceptando y aplicando por la mayoría de los gobiernos debido a la independencia y autoridad científica y tecnológica de sus autores. La sensibilización de las instituciones de la Unión Europea (UE) por los problemas asociados al consumo de fuentes energéticas no renovables, cristalizó en la Estrategia Energética Europea (EEE) de 2020. En este marco se identificaron una serie de riesgos asociados a las energías no renovables entre los que cabe destacar: (i) los problemas derivados de la combustión de combustibles fósiles y (ii) la dependencia de los países de la eurozona de este recurso energético que es necesario importar. El primer aspecto engarza con las conclusiones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático celebrada en París en 2015, y otras reuniones celebradas posteriormente, en las que se establece la perentoriedad de una drástica reducción de las emisiones de CO_2 para limitar el calentamiento global a $1,5\text{ }^\circ\text{C}$ hacia el fin de siglo. El segundo aspecto subrayó que la seguridad energética de la eurozona dependerá

fuertemente de la promoción de las fuentes de energía renovable. En este sentido, el informe que la Comisión Europea transmitió al Parlamento Europeo y al Consejo de Europa sobre la situación de la competitividad de las energías limpias (Bruselas, 14.10.2020), señala como objetivo que la electricidad producida a partir de energías renovables en la UE alcance el 65% del total (el doble del valor actual) en 2030 y el 80% en 2050; estos valores para el resto del mundo se espera que sean un 50% y 90%, respectivamente. La consecución de estas metas exige una gran transformación del sistema energético que requiere acciones coordinadas en cada territorio y globalmente.

4. Características geo-climáticas de España como incentivo para investigar en distintas energías renovables y sus aplicaciones

La situación geográfica de la Península Ibérica, Islas Baleares, Islas Canarias, Ceuta y Melilla hace que su clima se caracterice por una alta variabilidad y diversidad, lo que facilita la explotación de distintas formas de energía renovable. Como ejemplos, la amplitud térmica en la meseta central de la península tiene una media anual de 18°C a 20°C y en las Islas Baleares es de unos 14°C. La diversidad climática en las extensas zonas costeras (un total de 8000 Km) ha sido ampliamente documentada en el marco de un estudio acerca de la incidencia del cambio climático en España [Cendrero, A., Sánchez-Arcilla, A., Zazo, C. et al. 2005. [Impactos sobre las zonas costeras](#). En: Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático (Moreno Rodríguez, J.M. Coord.) MMA –UCLM, 469-524].

Considerados los distintos factores geográficos y climáticos, España es un país con un potencial de energías renovables medio-alto para Europa, pero moderado respecto a algunos países del norte de Europa en lo que se refiere a energía eólica, o del norte de África en lo que se refiere a energía solar. Aunque esto podría interpretarse como un inconveniente, nos coloca en una posición ventajosa para desarrollar tecnologías exportables a esas u otras regiones. Somos un país desarrollado, con una buena base científica y empresarial en lo que se refiere a infraestructura civil, y con un mercado interno lo bastante grande como para que dicha infraestructura pueda aprovecharse y probarse internamente. Nuestras empresas (Acciona, Gamesa, Iberdrola, etc.) han entendido esas ventajas, y participan en los consorcios europeos para el desarrollo de tecnologías

para energías renovables. Un ejemplo es el desarrollo de la energía eólica, en la que nuestro país tiene una cierta tradición, y que muy probablemente acabe derivando hacia granjas marinas, que tienen ventajas desde el punto de vista de mayor intensidad de viento y menor contaminación visual (véase Sección 5.2). La fuerte intensidad del tráfico marino y la pesca artesanal son, sin embargo, factores limitantes en las costas de España y sus islas.

La energía eólica, como la mayor parte de las energías renovables, es intermitente y difícil de predecir. Una gran granja supone una infraestructura de almacenamiento que hay que desarrollar, y para la que la investigación básica es aún muy necesaria. Hay sinergias que podrían explotarse en España y exportarse. Un efecto adverso del cambio climático será la mala distribución del agua potable [ver informe de 2022 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático ([IPCC22](#))], y la desalinización es, entre otras cosas, un problema energético. Desalinizar un metro cúbico de agua consumiendo energía térmica (destilación) o mecánica (ósmosis inversa) requiere unos 3 kilovatios-hora (KWh), con un límite termodinámico del orden de 1 KWh. España consume unos 4 millones de metros cúbicos por hora (<https://wikiwater.fr/rubrique62>), equivalente a un gasto moderado de unos 10 gigavatios-hora (GWh). La sinergia con la energía eólica costera es evidente, con la ventaja adicional de que el agua es más fácilmente almacenable que la energía eléctrica. También en este caso hay problemas ambientales que requieren tratamiento, como la producción de salmuera, etc.

5. Oportunidades ofrecidas por las distintas energías renovables y sus aplicaciones

En las siguientes subsecciones describimos las posibilidades que ofrecen para España la energía solar y sus derivadas energía fotovoltaica y agrofotovoltaica, así como las energías eólica, geotérmica, de las mareas (mareomotriz) y de las olas (“olamotriz”). También abordamos en la Sección 6 el ahorro energético que puede implicar la transición digital a la cual se van a destinar fondos MRR, asunto que ya tratamos en la [Declaración-21](#). Queda para Declaraciones futuras la discusión de otras formas de energía, así como algunas tecnologías para su almacenamiento (imanes superconductores, aire comprimido, baterías, etc.) (Sección 8).

5.1. Energía solar y células fotovoltaicas

España, en común con otros países del sur de Europa, está en una situación ventajosa para investigar mejoras de los sistemas de captación y almacenamiento de energía solar. Como ejemplo concreto, la provincia de Huelva alcanza las 3527 horas de sol efectivas (en energía) anuales, el máximo en territorio español. Aproximadamente la mitad de las provincias españolas supera las 3000 horas de sol efectivas anuales, mientras que el promedio para Alemania es de 1550 horas.

Gracias sobre todo a la iniciativa del Instituto de Energía Solar, dirigido por el Prof. Antonio Luque, pionero e inventor de las células bifaciales, España alcanzó una muy significativa capacidad de I+D en tecnología e ingeniería solar hasta el punto de crear en Málaga ISOFOTON, una fábrica de células solares con tecnología propia y muy competitiva. Sin embargo, la falta de visión de los inversores locales, gestores y Gobierno motivaron su desmantelamiento en 2014, precisamente cuando el mercado europeo demandaba una mayor producción de células de alto rendimiento independientemente de China.

La tecnología fotovoltaica (FV) permite la conversión directa de la luz solar en energía eléctrica. Un aspecto de particular interés es la aplicación de células FV solares que utilizan el efecto fotovoltaico en semiconductores para absorber energía en todo el espectro visible e infrarrojo (IR) cercano, por lo que son oscuras, casi negras, con un máximo de eficiencia en el verde y una eficiencia promediada de conversión de energía luminosa en energía eléctrica del orden de un 20-23%. Las células FV bifaciales vidrio-vidrio captan luz por ambas caras; por su cara delantera capta luz solar directa o difundida por las nubes, mientras que por su cara trasera capta la luz retrodispersada por el suelo, la nieve o la vegetación rastrera. Son altamente resistentes y ofrecen garantías de hasta 30 años de funcionamiento.

5.2. Tecnología agro-fotovoltaica

La conversión fotosintética natural y la fotovoltaica artificial pueden considerarse complementarias y compatibles. Si se combinan adecuadamente dentro del mismo entorno dan lugar al nuevo concepto de la tecnología híbrida Agro-Fotovoltaica (Agro-FV o Agri-PV en inglés). Esta tecnología, que implica la coexistencia de paneles solares y cultivos, no requiere grandes cambios ni en agricultura ni en la ingeniería de instalación

de los módulos solares. Se está aplicando con éxito en numerosos países y tiene un gran potencial para hacer realidad una transición energética socialmente justa, sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Es una tecnología muy adaptable y aplicable en España, dada nuestra coyuntura socio-económica y política dentro de Europa. La tecnología Agro-FV se difundió inicialmente en Japón y se está extendiendo por todo el mundo, particularmente entre los agricultores de los EEUU. Ellos, en colaboración con centros de formación profesional, cooperativas agrarias, empresas agropecuarias y colectivos ecologistas la están adaptando a diferentes entornos climáticos y económicos.

Sin embargo, en España esta tecnología está pasando desapercibida para la mayoría de los agricultores. A ello cabe añadir la inversión especulativa en plantas solares intensivas dirigida a obtener rendimientos económicos de la producción eléctrica fotovoltaica en un mercado eléctrico cuyos precios se mantienen artificialmente muy altos. El coste de producción en una instalación fotovoltaica actual –teniendo en cuenta todos los costes de alquiler de los terrenos, seguridad, mantenimiento y amortización, así como los intereses del capital– se estiman del orden de 15 € por MWh de promedio anual, muy competitivo incluso respecto al coste de producción en los parques eólicos (véase Sección 5.3). Ello se debe a que el coste de las células fotovoltaicas ha disminuido en los últimos años, situándose por debajo de los 0.2€ por W de potencia instalada, sin requerir grandes estructuras sobre el terreno.

La tecnología Agro-FV puede contribuir a paliar problemas adicionales como son la despoblación rural, y el consiguiente abandono y erosión de tierras que conducen a la desertización. En la mayoría de los casos, además, los paneles solares contribuyen muy eficazmente a proteger las plantaciones de las heladas en invierno o de la excesiva insolación y altas temperaturas en verano, con un importante ahorro de agua. En el caso de riesgo de tormentas con pedrisco y cultivos delicados y valiosos como el viñedo, la instalación de los paneles sobre la vertical de las plantas permite una protección efectiva. Otro aspecto muy importante de esta tecnología es que es modular, puede implantarse inicialmente en una escala limitada y formativa e ir ampliándose por módulos a medida que se desee.

La tecnología agro-FV permite una explotación de energía solar apreciada por el agricultor, ya que se beneficia económicamente de ella y mejora la

productividad y seguridad de sus cosechas. Ello, sumado a la urgencia de la transición energética hacia nuevas formas sostenibles, debería provocar que en España se subvencionasen grupos interdisciplinarios de investigación que adapten la tecnología Agro-FV a cada contexto climático y agrícola. La participación directa de las organizaciones privadas y cooperativas será muy importante en esta primera etapa. Cabe recordar que una parte importante de la comunidad investigadora [en instituciones como Instituto de Energía Solar (IES), Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y muchas empresas del sector representadas en la Plataforma Tecnológica Española Fotovoltaica (FOTOPLAT)] había trabajado intensamente para conseguir un substrato científico y tecnológico de nivel internacional en el sector fotovoltaico. Ese esfuerzo se frustró por la política de suspender las ayudas y contrataciones públicas. El sector se está recuperando ahora gracias a haber mantenido su actividad y sus exportaciones a otros países. Las horas de sol disponibles y la diversidad de nuestros productos agrícolas hacen urgente una rectificación para no desperdiciar esta opción.

España debería participar activamente en investigaciones en marcha para la producción de paneles FV semitransparentes, ligeros y con un alto coeficiente de absorción solar, empleando nuevos materiales, por ejemplo, aquellos con estructura de perovskitas. Esta nueva generación de paneles solares permitirá recubrir invernaderos y aprovechar la luz solar simultáneamente para la agricultura y para la producción de energía eléctrica.

La RAC ha tomado recientemente la iniciativa de promover la formación de un grupo de trabajo interdisciplinar formado por investigadores e ingenieros académicos, profesores, directores de centros de I+D y empresas innovadoras del sector agrario y energético. Su objetivo es concretar planes de investigación, formación y divulgación en distintos aspectos de ingeniería agraria y fotovoltaica, ciencias medioambientales, ciencias sociales, etc. para aunar conocimientos y esfuerzos, con programas que podrán financiarse por fondos europeos o por instituciones privadas.

5.3. Energía eólica

Varias regiones de España muestran potencial para la explotación de la energía eólica, bien en tierra o en localizaciones marinas, que podrían desarrollarse (o expandir las existentes) tras los pertinentes análisis de impacto medioambiental. Sirva como ejemplo la zona del Estrecho de Gibraltar, donde los vientos de levante suelen ser sostenidos a 50 Km/h, con rachas de hasta 110 Km/h que pueden durar de 7 a 10 días.

Las denominadas “granjas eólicas” constan de múltiples unidades que pueden estar en tierra firme, cimentadas en el fondo marino o ser flotantes. España es la quinta potencia mundial en producción de energía eólica, principalmente en tierra firme. La potencia eólica instalada en España alcanzó los 28.138,1MW en 2021, tras incorporar 842,61 MW adicionales, según datos de la Asociación Empresarial Eólica (AEE). Esta potencia está superada solamente por China, EEUU, Alemania e India. Esta producción representa el 20% de la energía total que consumimos y su coste es aproximadamente de 60 € por MWh.

La energía eólica marina se considera clave para el futuro, pero su desarrollo requiere investigar métodos de cimentación para instalaciones fijas en profundidades de agua superiores a 50m, que son comunes en aguas españolas. La alternativa es la instalación de plataformas flotantes, utilizando tecnología derivada de la industria petrolífera. Las granjas eólicas marinas flotantes son cada vez más comunes y serían especialmente útiles para España, donde la plataforma continental es estrecha. Ahora bien, una gran granja eólica en tierra o en el mar actúa como rugosidad que frena la capa límite atmosférica, y modifica el régimen de vientos y corrientes. Por tanto, este problema merece atención en un país como el nuestro, en el que las costas se explotan tanto desde el punto de vista turístico como pesquero. Este tipo de instalaciones flotantes requiere inversiones superiores a los 200 millones de Euros en I+D previstos hasta 2023 [informe del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)] en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). Un aumento de la inversión debería formar parte de un amplio abordaje interdisciplinar para el aprovechamiento energético del mar. La posición de la industria puede encontrarse en distintos informes del foro europeo para la energía eólica ([WindEurope](#)). En esos informes se ha destacado la necesidad de incrementar la explotación de la energía eólica para disminuir

la dependencia de los combustibles fósiles. En el Global Wind Report 2022 ([GWR 2022](#)) del Consejo Mundial de la energía Eólica, se indica que debe cuadruplicarse su explotación si se quiere alcanzar el cero neto de emisiones para 2050 (www.energias-renovables.com). Se subraya que, para ello, además de un apoyo financiero, sería necesario aligerar trabas burocráticas e incrementar la colaboración público-privada.

5.4 Energías geotérmica, mareomotriz y olamotriz

El informe Green Heiss del 30.08.2020 resume los recursos geotérmicos de alta temperatura (>150 °C), media-baja temperatura (150 °C - 30 °C) y muy baja temperatura (0 °C - 30 °C) asequibles a España, para cuya explotación podría seguirse, entre otros, el modelo de varias localizaciones en México (Cerro Prieto, Los Azufres, los Humeros y Tres Vírgenes) [[MEXICO2. Plataforma Mexicana de Carbono](#)]. Un informe del IDAE ([Evaluación del potencial de energía geotérmica](#), 2011) pone de manifiesto la disponibilidad de este tipo de energía en muchas zonas de España.

Las líneas de investigación en geotermia podrían basarse en las marcadas por el [Laboratorio Nacional de Energía Renovable de Estados Unidos](#). Tales inversiones deberían ser prioritarias en España, principalmente en las Islas Canarias, en particular en aquellas islas que están en el estadio juvenil como la Palma y el Hierro (geotermia de alta entalpía). La energía geotérmica puede obtenerse a partir de cualquier tipo de rocas o sedimentos (geotermia de baja entalpía). En todos los casos la energía geotérmica es rentable para instalaciones de climatización, siendo posible también para las instalaciones de ACS (agua caliente sanitaria).

La conversión de energía mareomotriz (actuación sobre turbinas tanto al subir como al bajar la marea) en energía eléctrica adolece de una notoria falta de implementación en España, aun disponiendo de un gran potencial para su aprovechamiento. Los países en los que más se aprovecha la energía mareomotriz son Corea del Sur, Francia, Canadá, Reino Unido y Noruega. Si bien ha de considerarse el impacto medioambiental que pueden tener estas instalaciones, particularmente en las rías explotadas para la acuicultura. A pesar de ello, el potencial de la energía mareomotriz debería ser un importante acicate para buscar localizaciones adecuadas y financiar investigaciones acerca de materiales resistentes al ambiente acuoso salino, un desafío en el que confluyen problemas de física, química e ingeniería.

Esta forma de energía renovable debe distinguirse de la basada en el aprovechamiento del oleaje, o energía “olamotriz”. Este es el caso de la Central Undimotriz de Mutriku, en Guipúzcoa, que funciona desde 2011. La instalación consta de 16 unidades cámara-turbina con una potencia instalada de 296 KW y una producción eléctrica de unos 250.000 Wh anuales (Ibarra-Berastegi et al. [Ocean Engineering](#) 147: 20-29, 2016). En el mundo destaca la Planta de Energía Olamotriz de Sotenäs en Suecia, que desde 2015 está conectada a la red eléctrica del país.

5.5. Oportunidades de progreso perdidas

Esta breve revisión de algunas de las posibles energías alternativas asequibles a España no hace más que subrayar, como ya se ha hecho constar en las Declaraciones anteriores de la RAC, cuantas oportunidades de modernización se están perdiendo en España a causa de la poca inversión en I+D+i. Esta deficiencia estructural, repetidamente denunciada y no atendida, afecta tanto al sector público como al privado, así como a fórmulas híbridas público-privadas, para las que tan pocas iniciativas se han planteado. De hecho, la debilidad económica persistente derivada en parte de la falta de inversión en ciencia (paro sostenido, creciente desigualdad social, etc.) hacen más difícil para muchas pequeñas y medianas empresas adoptar los cambios que demanda la transición energética.

En sucesivas declaraciones de años venideros incidiremos en formas adicionales de energía limpia en las que España podría ser pionera y, por tanto, aportar soluciones a un problema acuciante para todo el planeta.

A continuación, nos referimos a otra faceta del ahorro energético, en relación con un programa de aplicación inminente para resolver la brecha digital en nuestra sociedad en general y en el mundo productivo en particular.

6. Transición digital y energética para una economía sostenible

En la Declaración-21 de la RAC se sugirieron actuaciones para reducir la brecha digital, entendida como cualquier distribución desigual en el acceso o uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Las transiciones energética y digital constituyen transformaciones esenciales para lograr una economía sostenible, relanzar el liderazgo industrial de Europa y mitigar el cambio climático [[Climate change mitigation the main](#)

[driver of the energy transition – study \(smart-energy.com\)](#)]. Las transiciones energética y digital están estrechamente relacionadas entre sí, dado que la digitalización es el siguiente gran paso en la transición energética limpia [[Why digitalisation is the next big thing in clean energy transition \(power-technology.com\)](#)]. Además, algunos estudios han constatado que, para 2030, las tecnologías digitales tendrán el potencial de ayudar a otras industrias a ahorrar el 20% de las emisiones mundiales de CO₂ [[Digital action = Climate action: 8 ideas to accelerate the twin transition \(digitaleurope.org\)](#)].

La transición desde fuentes de energía basadas en combustible (nuclear, fósil, etc.) hacia energías renovables, también implica un cambio desde la generación de energía eléctrica en grandes centrales (con producción controlada) hacia una generación mucho más distribuida y dependiente de la climatología [sol, viento, mareas, etc. (véase la Sección 5)]. En esta transición, la tecnología digital desempeña un papel fundamental al proporcionar herramientas de análisis de datos. Sin esas herramientas es imposible gestionar la intermitencia de las energías renovables. Además, la monitorización en tiempo real, combinada con la inteligencia artificial, para analizar la gran cantidad de datos recogidos, permite a los equipos de gestión de la producción diagnosticar las causas de las paradas de las máquinas y de las caídas de la red y, con ello, realizar reparaciones y prevenir averías. En un informe del año 2021 publicado por el Foro Económico Mundial, titulado “[Fostering Effective Energy Transition 2021](#)”, se detallan aquellos aspectos en los que la inteligencia artificial puede no solo acelerar sino incluso hacer factible una transición energética en los plazos que la situación actual demanda.

Por otra parte, la cantidad de datos procedentes de una gran variedad de fuentes (desde sensores conectados a la Internet de las Cosas hasta seres humanos) y la demanda de servicios en la nube están creciendo a un ritmo muy rápido. Las estimaciones de febrero de 2020 indican que, para dar servicio a esa demanda, hay 509.147 centros de datos instalados en todo el mundo que abarcan 26,6 millones de metros cuadrados [[Global Energy. Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)]. Directamente relacionado con esto, se están desarrollando e implantando nuevas aplicaciones y servicios cada vez más complejos. Como resultado, nos enfrentamos a una terrible paradoja. Necesitamos una gran cantidad de redes de sensores y centros de datos cada vez más potentes para apoyar la

transición energética, pero esos centros de datos consumen una enorme cantidad de energía eléctrica. Los datos recogidos y las estimaciones de febrero de 2020 [[Global Energy. Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)] indican que:

- ◆ La energía requerida por los dispositivos e infraestructuras digitales crece más rápido (a un 7% anual) que el consumo global de electricidad en todo el mundo (3% anual).
- ◆ La producción y el funcionamiento de las TIC aumentarán el consumo de electricidad hasta cerca del 21% del consumo mundial en 2030 [se espera que el consumo absoluto sea de 8000 Teravatios hora (TWh), un consumo 4 veces superior al de 2010].
- ◆ El consumo de energía de los centros de datos, en particular, está aumentando muy rápidamente, debido a la cantidad cada vez mayor de almacenamiento y servicios proporcionados por la nube, y reducirá significativamente los beneficios de la transición energética. En concreto, los centros de datos consumen casi un tercio de la electricidad consumida por las TIC (el 36% de la energía la consumen las redes de comunicación, el 30% los centros de datos y el 34% los ordenadores de todo tipo).

Algunas estimaciones son incluso más agresivas, y prevén que el "tsunami de los datos" podría consumir una quinta parte de la electricidad mundial en 2025 [[‘Tsunami of data’ could consume one fifth of global electricity by 2025 \(The Guardian\)](#)], cinco años antes de lo anticipado en [[Global Energy. Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)].

Estas estimaciones ya tienen en cuenta los enormes avances fruto de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en el sector de las TIC, los cuales han permitido incrementar de forma exponencial durante varias décadas la potencia de cálculo de los ordenadores de todo tipo, al tiempo que se aumentaba la eficiencia energética en una proporción similar. Según [Infographic: The Growth of Computer Processing Power \(offgridweb.com\)](#), desde 1956 hasta 2015, la potencia de cálculo de los ordenadores más potentes, expresada en número de operaciones en coma flotante por segundo (FLOPS), se ha multiplicado por un billón (10^{12}), factor que hay que multiplicar por 13 si incorporamos la evolución desde 2015 hasta 2021, según las listas del TOP500 [[November 2015](#)], [[November 2021](#)]. La mejora

en la eficiencia energética ha sido igualmente espectacular. El ENIAC, considerado como el primer computador electrónico, anunciado en 1946, consumía 174.000 vatios [[ENIAC: The Press Conference That Shook the World](#)]. Con una potencia de cálculo de unos 400 FLOPS, solo podía ejecutar unos 2 miliFLOPS por vatio de potencia. El computador que encabeza la lista del [Green500 en 2021](#) es capaz de ejecutar casi 40 GigaFLOPS por vatio de potencia consumida, con lo que mejora la eficiencia energética del ENIAC en un factor de 2×10^{13} .

Pero el futuro de las TIC puede llegar a convertirse en una amenaza para la humanidad. Los incrementos anuales en cuanto a potencia de cálculo y eficiencia energética obtenidos en el pasado no van a poder mantenerse en el futuro, debido a que la escala de integración de la tecnología utilizada en los circuitos integrados está tocando techo y no hay tecnologías alternativas que puedan sustituirla de forma rentable [[No more transistors: The end of Moore's law \(interestingengineering.com\)](#)], [[Preparing for the end of Moore's Law \(wired.com\)](#)], [[End Of Moore's Law - What's Next For The Future Of Computing \(brainspire.com\)](#)], [[Moore's law \(Wikipedia\)](#)]. Estas previsiones de escasa mejora, unidas a las predicciones antes mencionadas de crecimiento en el consumo de energía de las TIC, hacen que sea más importante que nunca invertir en investigación para conseguir una mayor eficiencia energética de las TIC. En concreto, la mejora de los algoritmos utilizados en numerosas aplicaciones informáticas, permitirá una reducción drástica del coste de la infraestructura necesaria y del consumo de energía de dichas infraestructuras.

7. Consideraciones adicionales acerca de cambio climático e investigación en energías renovables

Como ya hemos indicado al considerar la importancia de la inteligencia artificial en la gestión de datos para las maquinarias implicadas en nuevas fuentes de energía (véase Sección 6), la mayor parte de las energías renovables se basan en fuentes intermitentes y en ocasiones de difícil predicción. Por ejemplo, un gran parque de energía eólica supone una infraestructura de almacenamiento que hay que desarrollar. Iberdrola posee ya las centrales de bombeo reversible más grandes de Europa, Aldeadávila/Almendra y La Muela II, asociada a la central nuclear de Cofrentes. No obstante, queda mucho por hacer en este campo, para el que la investigación básica es aún muy necesaria.

El cambio climático es un problema global. La transición energética es una de las principales herramientas ingenieriles para su control, y una obligación 'altruista' de todos los países. Tanto el cambio climático como la transición energética afectan directamente a España, por lo que aliviar el primero y desarrollar la segunda son necesidades nacionales. Mientras que los combustibles fósiles a eliminar se importan desde otras zonas del planeta, las energías alternativas ofrecen una diversidad de posibilidades directamente asequibles a nuestro país, por su situación geográfica y su climatología. Frenar el cambio climático y abordar la transición energética nos ocupará, por lo menos, una generación, lo que da tiempo a la ingeniería y a la ciencia básica a investigar y aplicar procedimientos novedosos. Necesitamos resolver nuestros problemas particulares, pero deberíamos también intentar exportar las soluciones.

Un modelo de cómo abordar esta problemática podría ser Israel, un país con una economía originalmente agrícola como la nuestra y que, antes de convertirse en la potencia tecnológica que es hoy, exportó su forma de cultivar el desierto al mundo entero. La tecnología de los invernaderos de Almería es originalmente israelí. Otro modelo sería Corea del Sur, con un PIB y población muy parecidas a la nuestra, pero que exporta tecnología en vez de turismo. Los dos países se distinguen del nuestro, entre otras cosas, por su inversión en investigación, que es del 4% del PIB, frente al 1.3% español [con dudas acerca de la aplicación real de ese porcentaje debido a la falta de ejecución de partidas presupuestadas y a la asignación como investigación de fondos que realmente no van destinados a investigar (ver las Declaraciones de [2018](#) y [2019](#) de la RAC)], y por su cuidado en la educación de sus élites. No hay razón para centrar la investigación española únicamente en converger con Europa. El cambio climático es, entre otras cosas, un cambio en las reglas del juego, y debería facilitarnos ocupar nichos de conocimiento poco explotados. La ciencia española tiene un nivel excelente en varias áreas con aplicaciones medioambientales, como la catálisis y la agronomía. En otros temas, el nivel científico español es también muy alto, y sólo necesita masa crítica.

Algunas de las estrategias de los países antes citados podrían adaptarse a nuestro país. Uno de nuestros mayores problemas es, sin duda, la fuga de cerebros que se ha producido en las últimas décadas. No será fácil revertirla, pero Israel ha resuelto de forma creativa un problema parecido. Muchos científicos e ingenieros judíos están en la diáspora, pero Israel les ofrece

afiliaciones dobles, fijas, por las que un investigador mantiene su pertenencia a un centro extranjero a la vez que a otro israelí. La misma estrategia se ha aplicado en China con resultados positivos. Un programa parecido, no necesariamente restringido a primeras figuras, podría tener éxito en España.

Hay un último tema a considerar. Está cada día más claro que los objetivos de París sobre el cambio climático no se van a cumplir a tiempo, y que habrá que recurrir a la remediación. También en este caso hay aspectos globales (secuestro de CO₂) y locales (control de lluvias y cuencas hidrográficas). En ambos casos, las bases científicas no están del todo claras, y hay margen para la investigación fundamental y para la exportación de los resultados. España debería aprovecharlo.

8. Múltiples formas de energía limpia. Versatilidad, interconexiones y urgencia de su aplicación

En la presente Declaración-22 hemos resumido evidencias, cada vez más aceptadas, de las graves consecuencias del calentamiento global del planeta Tierra y de la urgente necesidad de una transición energética hacia el uso de fuentes de energía limpia. Nos hemos centrado en unas pocas formas de energía, como la solar, fotovoltaica, eólica, geotérmica, mareomotriz y olamotriz. Reconocemos que desarrollar todas las oportunidades de investigaciones novedosas y su aprovechamiento en el contexto español requeriría, incluso para cada una de ellas, tratados de dimensiones incompatibles con una declaración escueta.

Dada la urgencia de la situación, en futuras Declaraciones la RAC centrará su atención en la importancia de otras formas de energía y procedimientos asequibles al mundo actual y que, independientemente de su carácter polémico, forman parte del cuadro de opciones a considerar. Entre ellas se incluye la controvertida extensión en el tiempo de la energía nuclear, propuesta como “energía verde” por parte de la Comisión Europea hasta 2045, para facilitar la transición hacia la ausencia de emisiones de CO₂. También trataremos la energía hidráulica, cuyo almacenamiento se verá afectado por la progresiva escasez de agua en las cuencas hidrográficas de la Península Ibérica.

Aunque ya ha quedado patente en la presente Declaración-22, una característica del abanico de fuentes de energía limpia de las que

disponemos, es su versatilidad y capacidad de acomodación a ambientes locales de la Península Ibérica y de las Islas Baleares y Canarias, o de las particularidades de Ceuta y Melilla. Un problema que tiene España para afrontar la tan necesaria transición energética es la falta de impulso por parte de los poderes públicos y privados hacia exploraciones innovadoras. Los sucesivos gobiernos que deberían ser vigía de los acontecimientos que lanzan a una sociedad hacia la modernidad, están anclados en un notorio conservadurismo científico-tecnológico. En cambio, otras organizaciones como esta Academia, con muy limitado poder ejecutivo, son las que en vano tratan de concienciar a los gobiernos. La grave situación que vivimos hace perentorio plantear en paralelo un aumento de la inversión en investigación básica, tanto en organismos públicos (Universidades, OPIs, etc.) como instituciones privadas. Ello implica tanto una revisión profunda de los Presupuestos Generales del Estado, como despegarse de la influencia de grupos de presión que desean perpetuar el uso de combustibles fósiles. El problema, que es tanto español como global, debe abordarse con un calendario concreto, realista y consensuado y con la supervisión de una comisión externa, interdisciplinar e independiente, de seguimiento.

El problema de retrasar la transición energética tiene otras ramificaciones adversas, que incluyen el creciente deterioro del medio ambiente, o la ralentización de la reconversión agrícola e industrial hacia formas más sostenibles. [Los problemas medioambientales tienen uno de sus máximos exponentes en las crisis periódicas de muerte masiva de fauna por anoxia en el Mar Menor de Murcia, que son precisamente causadas por vertidos resultantes de prácticas agrícolas e industriales no sostenibles (véase, por ejemplo, [National Geographic España del 24.08.2021](#))].

Además de mostrar condiciones favorables para el desarrollo y puesta en práctica de tecnologías de energías renovables (eólica, fotovoltaica), la Península Ibérica es un “punto caliente” de biodiversidad a escala europea e incluso mundial. También destaca por la variedad y atractivo de sus paisajes. Una transición energética modélica debería garantizar la conservación del capital natural ibérico y de ninguna forma puede agravar los problemas asociados con la pérdida de hábitats y especies, la degradación de ecosistemas, y el deterioro del paisaje que sufre España. La investigación científica tiene asimismo un papel en ese esfuerzo por compatibilizar la necesaria descarbonización con la no menos impres-

cindible conservación de la biodiversidad. [[Planificación de energías renovables responsables](#); [Decálogo de las renovables responsables](#)]

El cambio climático está científicamente reconocido también como uno de los factores de emergencia y re-emergencia de enfermedades infecciosas (por patógenos celulares y víricos) que afectan a los seres humanos, animales o plantas. De ello la COVID-19 ofrece un dramático testimonio. El cambio climático, la degradación medioambiental y la salud pública, se solapan en varias facetas que deben entenderse y abordarse coordinadamente.

Como ya hemos destacado en todas las Declaraciones anteriores acerca de la Situación de la Ciencia en España [[rac.es/informes](#)], la RAC reitera a los expertos de los Ministerios y Consejerías implicados en la urgente tarea de acelerar la transición energética, su ofrecimiento de ayuda para estudiar los problemas y concretar acciones.

Conclusiones

- **El cambio climático y varias de sus consecuencias adversas para la vida en el planeta Tierra han sido científicamente probados. Varias organizaciones internacionales están marcando pautas para una transición hacia formas de energía limpia.**
- **Abandonar progresivamente el uso de combustibles fósiles es imprescindible para enfrentar y minimizar las consecuencias del cambio climático.**
- **Existen varias fuentes de energía renovable adaptables a distintas zonas geográficas y condiciones climáticas. España (Península Ibérica, Islas Baleares, Islas Canarias, Ceuta y Melilla) está en una posición excelente para investigar y explotar distintas formas de energía limpia, así como para crear empleo de calidad y exportar nuevas metodologías.**
- **En particular, las energías solar, eólica, geotérmica, mareomotriz y “olamotriz” ofrecen posibilidades excelentes para su aprovechamiento en España.**
- **La transición digital es fundamental para optimizar el rendimiento de las instalaciones de producción de energías renovables y para conseguir una**

economía sostenible. La digitalización de procedimientos industriales contribuirá a disminuir muy considerablemente las emisiones de CO₂.

- Debe hacerse un uso responsable de las tecnologías de la información y comunicaciones, para reducir en lo posible el consumo de energía que conllevan.
- Para lograr la transición energética debe aumentarse el presupuesto dedicado a I+D+i, activar la cooperación público-privada en los desarrollos tecnológicos necesarios, y cumplir una hoja de ruta para abandonar el uso de combustibles fósiles en 2050.
- El éxito de la transición energética depende de actitudes individuales y de decisiones colectivas, siguiendo las directrices de los organismos internacionales competentes.
- La RAC es sabedora de la dificultad, pero también de la urgencia del empeño. Por ello, como también ha expresado en Declaraciones anteriores acerca de la situación de la ciencia en España, queda a disposición de expertos de los distintos Ministerios y Consejerías implicados, para contribuir a una eficaz transición energética.

Agradecimientos

La RAC agradece a los Académicos Fernando Briones, Manuel de León, Esteban Domingo, José Duato, Nazario Martín, Javier Jiménez Sendín y Caridad Zazo su trabajo de preparación de la presente *Declaración*, y a la Asociación de Amigos de la Real Academia de Ciencias (aRAC) y a su Presidente D. José María Fuster su decidido apoyo para la difusión de su contenido.



REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DE ESPAÑA

RAC commission on the situation of science in Spain

DECLARATION ON THE FINANCING AND MANAGEMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH IN SPAIN – 2022

Spanish science facing the energy transition

1. Introduction

The Royal Academy of Sciences (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales) of Spain (abbreviated RAC), in accord with its statutory mandates, presents herein its fourth declaration on the situation of scientific research in Spain, which on this occasion focusses on the role of science to face the energy transition. This year declaration follows those presented in 2018, 2019 and 2021, with an interruption in 2020 due to RAC prioritization to respond to the COVID-19 health emergency ([Mediateca RAC](#); Coronavirus pandemic and its impact: [jornada 1- Luis Enjuanes](#); [jornada 2 – Agustín Portela](#); [jornada 3 – Ignacio Molina y José Luis Villacañas](#); Coronavirus. Retos y soluciones desde los ámbitos de la ingeniería, la ciencia y la sanidad. [Primera jornada](#); [Segunda Jornada](#)).

There was broad agreement that in the declaration of 2022 (Declaration-22) it was important to deal with a problem which is urgent on a planetary scale, and with a great impact for Spanish society. We are referring to the effects of climate change and the necessary energy transition to try to counteract it. Both aspects comprise multiple and complex facets, which are currently being approached both internationally and in Spain, at a pace much slower than demanded by the contrasted scientific data.

In the present Declaration-22 the problem of climate change is framed within the international objectives of sustainable development, to then examine some forms of renewable energy and their applicability to the Spanish territory. We propose actions for immediate implementation, as well as research topics that we consider should be given priority, in view of the socio-economic and geographical context of Spain. That such actions produce the desired results is contingent upon public and private organizations investing in innovative research, together with an adequate translation of results from basic research into practical applications. We are aware of the magnitude of the challenge, and, therefore, as we stated in previous declarations, RAC offers its expertise to the relevant public

organizations, to jointly examine the problems to be confronted and to propose specific actions.

At the time when this Declaration-22 is presented, the social and economic crisis derived from COVID-19 begins to subside, with the expectation by the academic world that society has learned the benefits inherent to investing in research generally, and, particularly, in biomedical sciences. It is not clear that the Next Generation EU funds (intended as a mechanism of recovery and resilience), which aim at developing specific projects, will additionally serve to bring the percentage of Spain's gross domestic product (GDP) devoted to science closer to that of European countries. Such questions were stated in our previous [Declaration-21](#) and remain valid.

To a favorable (yet incomplete) overcoming of the pandemic crisis, we have to add, as a terrible counterpart, the war in Ukraine, which has met with a massive rejection by the international academic community, and by RAC ([Declaración institucional RAC en apoyo a Ucrania](#)). The announcement by the current Spanish government of an increase in military expenses in response to the war, has accentuated the fear that, as it happened in previous crises in our country (but not in other countries around us), such higher military expenses are in detriment of investments in culture, education and science within our state budget, which are so necessary for our economic and social progress (see as an example the article by Nazario Martín León "[¿Debe la ciencia impregnar la política?](#)" in the newspaper El País, dated July 14, 2016). Reductions in science investments could jeopardize the announced Spanish Strategy for Science, Technology and Innovation for 2021-2027, which is key to updating our Research and Development System (abbreviated R&D).

Other aspects are worth reflecting upon, given the consequences of the war in Ukraine. Among them is viewing basic research as a foundation for the development of methodologies to exploit renewable energy sources; had we progressed in this aspect, it would have been highly beneficial for our future. Instead, at this time, we confront once again a situation of economic weakness to address the consequences of the war crisis, with our dependence upon foreign energy, and the paradox that our government must subsidize the use of fossil fuels which climate change demands to be restricted. Deep into the economic and social problems of Spain lies repeatedly a lack of investment in science, and the limited support to undertakings intended to develop technological innovations (see also Section 8).

2. Energy transition in relation to the UN's Sustainable Development Goals

In 2015, the UN adopted the 2030 Agenda for Sustainable Development, which was set out as "an opportunity for countries and their societies to embark on a new path to improve the lives of all, leaving no one behind". The energy transition is irrevocably linked to the Sustainable Development Goals (SDGs). Indeed, among the 17 SDGs, SDG 7 has as its objective to "ensure access to affordable, secure, sustainable and modern energy". It is primarily aimed at promoting access to energy (mainly electricity) in developing areas such as Africa; in fact, such changes would benefit around 3 billion people in the world. We have seen in recent years how energy access also poses serious problems to the more developed countries, as it has become a political weapon that can lead to unwanted setbacks.

The transition towards sustainable energy must involve a gradual replacement of fossil fuels by clean energies: wind, solar, geothermal, tidal, etc. These alternative energies, sometimes called green energies, are those that come from natural sources that can regenerate themselves. Let us recall that recent difficulties in the supply of natural gas have led the European Commission to propose nuclear energy (and even natural gas) as a green energy, a proposal that would require a well-argued justification.

In turn, SDG 12 promotes responsible energy production and consumption, both of which are driving forces in the global economy. The deterioration of the natural environment and the inappropriate use of resources are having devastating effects in our planet. The paradox is that economic and social progress is endangering the very sources on which progress itself depends. In this respect, digitalization entails an energy consumption problem that needs to be addressed (discussed in Section 6 of this Declaration-22).

But these are not the only SDGs that are related to energy. Goal 11, on sustainable cities and communities, notes that by 2050 there will be 6.5 billion people living in cities, two-thirds of humanity, which will require significant energy consumption. Or, for example, SDG 9 on industry, innovation and infrastructure, key drivers of economic growth and development, is also concerned with energy consumption.

For all these considerations, and given the most foreseeable future prospects, based on sound science, Declaration-22 points towards the importance of insightful investments in the science behind the much-needed energy transition as one of the vehicles to curb climate change and counteract its effects. Achieving the goals of the 2030 Agenda will depend

to a large extent on getting the energy transition right. The UN Declaration of 2022-2023 as the International Year of Basic Sciences for Sustainable Development (IYBSSD2022) provides clear evidence that basic sciences are indispensable for this transition.

3. The role of science in demonstrating the human origin of climate change and its recognition by political institutions

The role of science has been fundamental in demonstrating the human origin of climate change, which progresses due to unbridled and unnecessary consumption, and leads to the massive exploitation of all kinds of fossil resources, especially coal, oil and gas. After years of doubts about the magnitude and impact of climate change expressed by some sectors (see, for example, the study "Climate change and energy challenges" coordinated by Juan Velarde Fuertes, Institute of Spain, Madrid, 2010), the reports of the [Intergovernmental Panel on Climate Change](#) (IPCC) have been very clear in concluding that human influence through the production of greenhouse gases [direct: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), tropospheric ozone (O₃), water vapor, and indirect: other nitrogen oxides, carbon monoxide (CO), non-methane volatile organic compounds] has been the main cause of the observed climatic warming since the middle of the 20th century. Among its consequences are the increase in global temperature, the increase in frequency of extreme weather events, the decrease of the ice cap in the polar areas of the planet, the rise in sea level, the acidification and deoxygenation of the oceans, the deterioration of ecosystems, the loss of biodiversity and the alteration of migratory habits, which are factors affecting the emergence of infectious diseases (see Section 8), among others.

It should be kept in mind that O₂ (necessary for the formation of CO₂ by combustion) is not fossil and is continually renewed through the process of photosynthesis from sunlight. Its lifetime in the atmosphere is of the order of 5,000 years, and is rapidly shortening due to deforestation, desertification, pollution, fires and the abandonment of the rural world.

Academies from all over the world, particularly those from the United States, China and Europe, together with their universities and large technology research and development institutions, join forces to reinforce the validity of scientific reports and present concrete joint proposals for urgent action. These proposals are being accepted and applied by most governments due to the independence and scientific and technological authority of their authors. The awareness of the institutions of the

European Union (EU) about the problems associated with the consumption of non-renewable energy sources, crystallized in the European Energy Strategy (EEE) of 2020. In this framework, a series of risks associated with non-renewable energies were identified among which it is worth highlighting: (i) the problems derived from the combustion of fossil fuels and (ii) the dependence of the Eurozone on those energy resources that must be imported. The first aspect links with the conclusions of the United Nations Conference on Climate Change held in Paris in 2015, and other meetings held later, in which the urgency of a drastic reduction in CO₂ emissions to limit global warming is established at 1.5°C towards the end of the century. The second aspect underlined that the Eurozone's energy security will strongly depend on the promotion of renewable energy sources. In this sense, the report that the European Commission transmitted to the European Parliament and the Council of Europe on the situation of the competitiveness of clean energies (Brussels, 10.14.2020), indicates as an objective that the electricity produced from renewable energies in the EU reaches 65% of the total (double the current value) in 2030 and 80% in 2050; these values for the rest of the world are expected to be 50% and 90%, respectively. Achieving these goals will require a major transformation of the energy system through coordinated actions in each territory and globally.

4. Geo-climatic characteristics of Spain as an incentive to investigate different renewable energies and their applications

The geographical location of the Iberian Peninsula, the Balearic Islands, the Canary Islands, Ceuta and Melilla means that its climate is characterized by high variability and diversity, which facilitates the exploitation of different forms of renewable energy. As examples, the thermal amplitude in the central plateau of the peninsula has an annual average of 18 °C to 20 °C whereas in the Balearic Islands it is around 14 °C. The climatic diversity in the extensive coastal areas (a total of 8000 km) has been widely documented in the framework of a study on the incidence of climate change in Spain [Cendrero, A., Sánchez-Arcilla, A., Zazo, C et al. 2005. [Impacts on coastal zones](#). In: Main Conclusions of the Preliminary Evaluation of the Impacts in Spain due to the Effect of Climate Change (Moreno Rodríguez, J.M. Coord.) MMA –UCLM, 469-524].

Considering the different geographical and climatic factors, Spain is a country with a medium-high renewable energy potential for Europe, but moderate compared to some countries from northern Europe in terms of

wind energy, or from North Africa in terms of solar energy. Although this could be interpreted as a drawback, it puts us in an advantageous position to develop technologies that can be exported to these or other regions. We are a developed country, with a good scientific and business base in terms of civil infrastructure, and with an internal market that is large enough for such infrastructure to be leveraged and tested internally. Our companies (Acciona, Gamesa, Iberdrola, etc.) have understood these advantages, and participate in European consortia for the development of renewable energy technologies. An example is the development of wind energy, in which our country has a certain tradition, and which will most likely end up drifting towards marine windmill farms, which have advantages from the point of view of greater wind intensity and less visual pollution (see Section 5.2). The strong intensity of marine traffic and artisanal fishing are, however, limiting factors on the coasts of Spain and its islands.

Wind energy, like most renewable energies, is intermittent and difficult to predict. A large farm requires a storage infrastructure that must be developed, and for which basic research is still very necessary. There are synergies that could be exploited in Spain, and also exported. An adverse effect of climate change will be the poor distribution of drinking water [see 2022 report of the Intergovernmental Panel on Climate Change ([IPCC22](#))], and desalination entails, among other things, an energy problem. Desalination of a cubic meter of water by consuming thermal (distillation) or mechanical (reverse osmosis) energy requires about 3 kilowatt-hours (KWh), with a thermodynamic limit of around 1 KWh. Spain consumes about 4 million cubic meters per hour (<https://wikiwater.fr/rubrique62>), equivalent to a moderate expenditure of about 10 gigawatt-hours (GWh). The synergy with coastal wind energy is evident, with the additional advantage that water is more easily stored than electrical energy. Also in this case there are environmental problems that require consideration, such as brine production, etc.

5. Opportunities offered by the different sources of renewable energy and their applications

This section describes the opportunities for Spain which are provided by the different renewable energy sources, including solar and its derivatives, photovoltaic (PV) and agro-photovoltaic (APV), wind, geothermal, as well as tides and ocean waves. Section 6 discusses the energy savings implicit in the digital transition supported by the Next Generation EU funds, already addressed in our previous [Declaration-21](#). Other energy sources, as well as

storage technologies such as superconducting magnets, compressed air, batteries, etc., are left for future declarations and summarised in Section 8.

5.1 Solar energy and photovoltaic cells

Spain, together with other countries of Southern Europe, is well positioned to develop techniques for the collection and storage of solar energy. As an example, the province of Huelva enjoys 5327 effective sun-hours per year (measured in terms of energy), the highest in Spain, but approximately half of Spanish provinces exceed 3000 effective sun-hours per year. The average in Germany is 1550 sun-hours per year.

Thanks mostly to the leadership of the Instituto de Energía Solar (IES), under the direction of Prof. Antonio Luque, pioneer and inventor of bifacial solar cells, Spain reached very significant levels of R&D in solar technology and engineering at the beginning of this century. This led to the establishment in Málaga of the company ISOFOTON, which included a factory of solar cells with proprietary and very efficient technology. But the lack of vision of local investors, managers and government resulted in its dismantling in 2014, just as the European demand for high performance cells independent of China was beginning to take off.

Photovoltaic technology directly converts sunlight into electric energy, and semiconductor PV can be tuned to exploit a large fraction of the spectrum of visible and near-infrared light. PV cells are typically very dark, almost black, with a maximum performance in the green, and have an average conversion efficiency from solar to electric energy of the order of 20-23%. Glass-glass PV bifacial cells collect light on both faces. Their front catches light directly from the sun or from the clouds, and their back receives the light scattered from the ground, the snow or the underlying vegetation. They are robust, and guarantee up to 30 years of operation.

5.2 Agro-photovoltaic technology

The energy conversion of natural photosynthesis is complementary to artificial photovoltaics, and the two are compatible. If adequately combined in the same environment, they result in the new concept of hybrid agro-photovoltaic (APV) technology, which exploits the coexistence of solar panels and crops, requiring relatively small changes to agriculture or the installation of the solar panels. It has been successfully applied in many countries, and has the potential to lead to an energy transition that is socially fair, sustainable and environmentally friendly. Given our socio-economic and political situation in Europe, APV technology is eminently

adaptable and applicable in Spain. It was initially developed in Japan, and later exported to the rest of the World, especially to the USA, from where it has been adapted to various climates and economic environments in collaboration with vocational training centres, agrarian cooperatives, the agricultural industry, and environmental groups.

Unfortunately, this technology is comparatively unknown to most Spanish farmers. Part of the problem is the speculative investment in intensive solar plants, predominantly geared to obtaining economic benefits from an electric market in which energy prices are kept artificially high. The annually averaged production cost of a modern PV plant –taking into account real-state leasing, security, maintenance and depreciation, as well as the interest of capital– is of the order of 15€ per MWh, very competitive even with wind farms (see Section 5.3). This is due to the fall of the cost of PV cells in recent years, which is now below 0.2€ per W of installed power, and to the lack of a required complicated infrastructure.

APV technology can also contribute to alleviate problems such as rural depopulation, and the associated abandonment and erosion of the terrain that may lead to desertification. In many cases, the solar panels can also contribute to protect crops from winter frosts or from excessive insolation and high temperature in summer, with substantial savings in irrigation water. In cases in which there is a risk of hailstorm damage to high-value crops such as vines, installing panels above the plants also provides some protection. Another very important aspect of the technology is that it is modular, and can be initially implemented in a limited and formative scale, and later enlarged as desired.

APV technology is also appreciated by the farmers, who receive economic returns from the energy generated, and improve the productivity and safety of their crops. That, added to the urgency of the transition to more sustainable energy sources, should be enough to motivate Spain to fund interdisciplinary research teams to adapt APV technology to the wide variety of our climatic and agricultural contexts. The direct participation of private companies would be highly beneficial in this initial stage.

It is important to recall at this point that a substantial part of the research community in institutions such as the Instituto de Energía Solar, Centro de Investigaciones Energéticas, Medio-ambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Centro Nacional de Energías Renovables (CENER), Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), and the companies included in the Spanish Technology Platform for Photovoltaics (FOTOPLAT) already did a lot of work to develop an

internationally competitive scientific and technological foundation for photovoltaics. Much of that effort was lost because of lack of public funding, but the sector is starting to recover thanks to having independently maintained its activity and to exports. The favourable insolation of our country, and the variety and excellence of our agriculture, makes the redirection of these policies urgent.

Spain should actively participate in current research programs for the production of lightweight semi-transparent PV panels with high solar absorption efficiency, using new materials if required, such as perovskites. This new generation of solar panels could, for example, cover greenhouses used both for cultivation and for energy production.

The Spanish Academy of Sciences has recently promoted the formation of a working group of researchers and engineers in the Academy, university professors, directors of R&D centres and companies in the agricultural and energy sector. Its goal is to develop plans for research, education and outreach in the various aspects of agricultural and photovoltaic engineering, environmental and social sciences, etc. to pool expertise and efforts leading to programs that could be supported from European or private funds.

5.3. Wind power

Several regions of Spain have potential for the exploitation of wind power, either on surface or marine locations, which could be developed (or extend those existing) after appropriate analysis on the environmental impact. A representative example is the zone of the Strait of Gibraltar, where the east winds are maintained at 50 km/h, with gusts of wind up to 110 km/h and lasting from 7 to 10 days.

The so-called “wind farms” are constituted by multiple units which can be settled down on mainland, founded on the seabed or to be floating. Spain is the fifth world power in the production of wind energy, mainly in mainland. The wind power installed in Spain reached 28.138,1 MW in 2021, after adding 842,61 MW, according to the data provided by the Asociación Empresarial Eólica (AEE). This power is only surpassed by China, USA, Germany, and India. This production represents 20% of the total consumed energy and its cost is around 60 € per MWh.

Marine wind power is considered a key resource for the future. However, its development requires investigating foundation methods for fixed installations in depths of water larger than 50 m, which are common in

Spanish waters. The alternative is the installation of floating platforms, using the oil industry technology. Floating marine wind farms are becoming more common, and they would be especially useful for Spain, where the continental platform is narrow. However, a big wind farm either on mainland or in the sea acts as a roughness that restrains the atmospheric boundary layer and modifies the regime of winds and currents. Therefore, this problem requires attention in a country like ours, where coasts are exploited from both the touristic and fishing viewpoints. This type of floating infrastructures requires investments superior to the 200 million euros in R&D planned till 2023 [report from the Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)] in the framework of the Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR). An increase of the investment should be considered within a broad interdisciplinary program for the energy use of the sea. The position of the industry can be found in a variety of reports from the European Forum for the wind energy ([WindEurope](#)). In those reports, the necessity of increasing the exploitation of the wind power for decreasing the dependency of fossil fuels has been highlighted.

In the Global Wind Report 2022 ([GWR 2022](#)) from the Global Wind Energy Council, it is stated that its exploitation must be quadrupled in order to reach net zero emissions for 2050 (www.energias-renovables.com). It is outlined that, for that, in addition to a financial support, it would also be necessary to remove bureaucratic obstacles and increase the public-private partnerships.

5.4. Geothermal, seawater and wave powers

The Green Heiss report of 30.08.2020 summarizes the geothermal resources of high temperature (>150°C), medium-low temperature (150°C - 30°C) and very low temperature (0°C - 30°C) available in Spain. For its exploitation, the model of several locations in Mexico (Cerro Prieto, Los Azufres, los Humeros y Tres Vírgenes) [[MEXICO2. Plataforma Mexicana de Carbono](#)], among others, could be followed. A report from IDAE ([Evaluación del potencial de energía geotérmica](#), 2011) reveals the availability of this type of energy in many zones of Spain.

The research lines in geothermal energy could be based on those established by the National Renewable Energy Laboratory ([NREL](#)) of USA. Such investments should be prioritized in Spain, mainly in the Canary Islands, and particularly in those younger islands like La Palma and El Hierro (high enthalpy geothermal). The geothermal power can be obtained from

any type of rocks or sediments (low enthalpy geothermal). In all cases, the geothermal power is profitable for air conditioning installations, being also possible for installations of domestic hot water.

The conversion of seawater power (action of tides on turbines) in electric power suffers of a remarkable lack of implementation in Spain, despite having a great potential for its exploitation. The countries where the seawater power is more used are South Korea, France, Canada, United Kingdom, and Norway. Nevertheless, it must also be considered the environmental impact of these plants, particularly in the estuaries exploited for aquaculture. Despite that, the potential of seawater power must be an important stimulus for searching the right places and funding investigations on those materials resistant to the saline aqueous environment, a challenge for chemistry, physics and engineering.

This form of renewable energy must be distinguished from that which takes advantage of surf, or “wave power”. This is the case of the plant Undimotriz Mutriku, in Guipúzcoa, which is working from 2011. The plant is made of 16 turbine-chamber units with an installed power of 296 KW and an electric production of around 250.000 Wh per year (Ibarra-Berastegi et al. [Ocean Engineering](#) 147: 20-29, 2016). In the rest of the world, the wave power plant of Sotenäs in Sweden, which is connected to the electrical network of the country from 2015, is the most relevant.

5.5. Missed opportunities for progress

The aim of the aforementioned short summary on some of the possible alternative energies available in Spain is to outline, as it has been done in previous reports of the RAC, the number of missed opportunities for progress in Spain due to the low investment in R&D. This structural deficiency, which is continuously reported but not attended, impacts both public and private sectors, as well as to hybrid public-private forms, for which very few initiatives have been proposed. In fact, the persistent weak economy stemming in part from the lack of investment in science (sustained unemployment, growing social inequality, etc.) renders more difficult for many small and medium companies to adopt the required changes for the energy transition.

In the reports foreseen for coming years we will focus on those additional forms of clean energy in which Spain could be a pioneer and, therefore, provide solutions to this energy problem affecting the whole planet.

Next, we will refer to another aspect of energy saving, related to a program of immediate application for solving the digital gap in our society in general, and the productive sector in particular.

6. Digital and energy transition for a sustainable economy

The RAC Declaration-21 suggested actions to reduce the digital gap, understood as an unequal distribution in the access or use of Information and Communication Technologies (ICT). The energy and digital transitions are essential transformations to achieve a sustainable economy, relaunch Europe's industrial leadership, and mitigate climate change [[Climate change mitigation the main driver of the energy transition – study \(smart-energy.com\)](#)]. The energy and digital transitions are closely interlinked, as digitalisation is the next big step in the clean energy transition [[Why digitalisation is the next big thing in clean energy transition \(power-technology.com\)](#)]. In addition, studies have found that, by 2030, digital technologies will have the potential to help other industries save 20% of global CO₂ emissions [[Digital action = Climate action: 8 ideas to accelerate the twin transition \(digitaleurope.org\)](#)].

The transition from fuel-based energy sources (nuclear, fossil, etc.) to renewable energy also implies a shift from large-scale power generation (with controlled production) to much more distributed and weather-dependent generation [sun, wind, tides, etc. (see Section 5)]. In this transition, digital technology plays a key role in providing predictive data analysis tools. Without such tools, for example, it is impossible to manage the intermittency of renewable energy. In addition, real-time monitoring, combined with artificial intelligence (AI) to analyse the vast amount of data collected, enables production management teams to diagnose the causes of machine downtime and grid outages, and thus make repairs and prevent breakdowns. A 2021 report published by the World Economic Forum, entitled "[Fostering Effective Energy Transition 2021](#)", details those aspects in which AI can not only accelerate but even make an energy transition feasible within the timeframe that the current situation demands.

On the other hand, the amount of data from a wide variety of sources (from sensors connected to the Internet of Things to humans) and the demand for cloud services are growing at a very fast pace. February 2020 estimates indicate that, to meet this demand, there are 509,147 data centres installed worldwide, covering 26.6 million square metres [[Global Energy Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)]. Directly related to this, new and increasingly complex applications and services are being

developed and deployed. As a result, we face a terrible paradox. We need a plethora of sensor networks and ever more powerful data centres to support the energy transition, but these data centres consume an enormous amount of electricity. The collected data and the estimates for February 2020 [[Global Energy. Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)] indicate that:

- ◆ The energy required by digital devices and infrastructures is growing faster (at 7% per year) than overall electricity consumption worldwide (at 3% per year).
- ◆ ICT production and operation will increase electricity consumption to around 21% of global electricity consumption by 2030 [absolute consumption is expected to be 8000 Terawatt hours (TWh), 4 times higher than in 2010].
- ◆ Data centre energy consumption, in particular, is increasing very rapidly, due to the increasing amount of cloud storage and services, and will significantly reduce the benefits of the energy transition. In particular, data centres consume almost one third of the electricity consumed by ICT (36% of energy is consumed by communication networks, 30% by data centres and 34% by computers of all types).

Some estimates are even more aggressive, predicting that the "data tsunami" could consume a fifth of the world's electricity by 2025 [['Tsunami of data' could consume one fifth of global electricity by 2025 \(The Guardian\)](#)], five years earlier than predicted in [[Global Energy. Consumption of Information Technology \(imgur.com\)](#)].

These estimates already take into account the enormous advances resulting from scientific research and technological development in the ICT sector. These advances have made it possible to increase the computing power of computers of all types exponentially over several decades, while at the same time increasing energy efficiency by a similar factor. According to [Infographic: The Growth of Computer Processing Power \(offgridweb.com\)](#), from 1956 to 2015, the computing power of the most powerful computers, expressed in number of floating point operations per second (FLOPS), has increased by a factor of one trillion (10^{12}), a factor that has to be multiplied by 13 if we incorporate the evolution from 2015 to 2021, according to the TOP500 lists [[November 2015](#)], [[November 2021](#)]. The improvement in energy efficiency has been equally dramatic. The ENIAC, considered to be the first electronic computer, announced in 1946, consumed 174,000 watts [[ENIAC: The Press Conference That Shook the World](#)]. With a computing power of about 400 FLOPS, it could only execute about 2 milliFLOPS per

watt of power. The computer at the top of the list in the [Green500 in 2021](#) is capable of executing almost 40 GigaFLOPS per watt, improving over the energy efficiency of the ENIAC by a factor of 2×10^{13} .

But the future of ICT may become a threat to humanity. The annual increases in computing power and energy efficiency achieved in the past will not be sustainable in the future, because the integration scale of the technology used in integrated circuits is reaching its limits, and there are no alternative technologies that can cost-effectively replace it [[No more transistors: The end of Moore's law \(interestingengineering.com\)](#)], [[Preparing for the end of Moore's Law \(wired.com\)](#)], [[End Of Moore's Law - What's Next For The Future Of Computing \(brainspire.com\)](#)], [[Moore's law \(Wikipedia\)](#)]. These forecasts of little improvement, coupled with the aforementioned predictions of growth in ICT energy consumption, make it more important than ever to invest in research to make ICTs more energy efficient. In particular, improvements in the algorithms used in many software applications will allow a drastic reduction in the cost of the necessary infrastructure and in the energy consumption of such infrastructure.

7. Additional considerations on climate change and research in renewable energy sources

As already mentioned in dealing with the importance of AI in data management for machinery involved in new energy sources (see Section 6), the majority of renewable energies are based on intermittent sources, which on occasions are of difficult prediction. As an example, most wind-based energy requires a storage infrastructure still to be developed. Iberdrola has the largest reversible pumping centres in Europe, termed Aldeadávila/Almendra and La Muela II, associated with the Cofrentes nuclear plant. Despite this, much remains to be done in this area in which basic research is still very necessary.

Climate change is a global problem. Energy transition is one of the main tools provided by engineering for its effective control, as well as an “altruistic” obligation for all countries. Both, climate change and energy transition have a direct impact in Spain, so that attenuating climate change and pushing the energy transition are national needs. While fossil fuels to be eliminated are imported from other world locations, alternative energies offer a range of possibilities within reach by our country due to its geographical location, and climate conditions. To stop climate change and undertake the energy transition will involve at least an entire generation,

which gives sufficient time to engineering and basic research to investigate and apply new procedures. We need to solve our specific problems, but we should also try to export solutions.

A model on how to approach these problems could be Israel, a country with initially an agriculture-based economy that, prior to reaching the technological power it has today, exported worldwide agriculture technology for desert areas. The greenhouse technology we have in Almería is originally from Israel. Another model is South Korea, with a gross income and population similar to ours in Spain, but that exports technology rather than tourism. Both countries differ from Spain in their investment in science which amounts to 4% of the GDP, compared with our 1.3% in Spain [with doubts on the actual use of such a percentage due to the incomplete implementation of the budgeted amounts, and the assignment as research of funds which actually are not applied research (see RAC Declarations of [2018](#) and [2019](#))], and for its care in the education of its élite populations. There is no reason to focus Spanish research solely into converging with Europe. Climate change is, among other things, a change in the game's rules, and it should help us in occupying knowledge niches which are still underexploited. Spanish science has an excellent level in several areas related to environmental applications, such as catalysis and agronomy. In other subjects, Spanish science has also reached high standards, and it only requires attaining a critical mass.

Some of the strategies of the above mentioned countries could be adapted to Spain. One of our major problems is, undoubtedly, the loss of talent during the last decades. It will not be easy to revert, but Israel has solved creatively a similar problem. Many Jewish scientists and engineers are in the diaspora, but Israel has offered them a double permanent affiliation, so that a researcher belongs both to a foreign and to an Israeli institution. The same strategy has been implemented in China, with positive results. A similar program, not necessarily restricted to outstanding professionals, might be successful in Spain.

There is a final topic to consider. It is increasingly clear that the Paris Objectives on climate change will not be reached in the planned time frame, and that rescue plans will be needed. Also in this regard there are global (CO₂ capture) and local (rain and hydrological basins) aspects. For both, the scientific foundations are not totally clear, and there is room for basic research and export of results. Spain should take advantage of this knowledge gap.

8. Multiple forms of clean energy. Versatility, interconnections and urgency of implementation

In this Declaration-22 we have outlined increasingly accepted evidence of the serious consequences of global warming and the urgent need for an energy transition towards the use of clean energy sources. We have focused on a few forms of energy, such as solar, photovoltaic, wind, geothermal, tidal and wave. We realize that to develop all the novel research opportunities and their exploitation in the Spanish context would require, even for each of them, treaties of dimension incompatible with a short statement.

Given the urgency of the situation, in future Declarations the RAC will focus attention on the importance of other forms of energy and processes that are affordable in today's world and which, however controversial, are part of the options to be considered. These include the controversial extension of nuclear power, proposed as "green energy" by the European Commission until 2045, to facilitate the transition to zero CO₂ emissions. We will also discuss hydroelectric energy, the storage of which will be affected by the progressive scarcity of water in the hydrographic basins of the Iberian Peninsula.

Although it has already been made clear in this Declaration-22, one characteristic of the range of clean energy sources available to us is their versatility and capacity to adapt to the local environments of the Iberian Peninsula and the Balearic and Canary Islands, or the particularities of Ceuta and Melilla. One of Spain's problems in tackling the much-needed energy transition is the lack of impetus from public and private authorities towards innovative explorations. Successive governments, which should be watching over the developments that are launching a society towards modernity, are anchored in a notorious scientific-technological conservatism. On the other hand, other organizations such as this Academy, with very limited executive power, are the ones that try in vain to raise awareness among governments. The serious situation we are experiencing makes it imperative to propose a parallel increase in investment in basic research, both in public bodies (Universities, Research Institutes, etc.) and private institutions. This implies both a profound revision of the National Budget, as well as detaching oneself from the influence of pressure groups that wish to perpetuate the use of fossil fuels. The problem, which is both Spanish and global, must be tackled with a concrete, realistic and consensual timetable, and with the supervision of an external, interdisciplinary and independent monitoring commission.

The problem of delaying the energy transition has other adverse ramifications, including the increasing environmental degradation, or the slowing agricultural and industrial conversion to more sustainable forms. The environmental problems are best exemplified by the periodic crises of massive wildlife deaths from anoxia in Murcia's Mar Menor, which are precisely caused by discharges resulting from unsustainable agricultural and industrial practices (see, for example, [National Geographic Spain 24.08.2021](#)).

In addition to offering favourable conditions for the development and implementation of renewable energy technologies (wind, photovoltaic), the Iberian Peninsula is a biodiversity "hotspot" at a European and even global scale. It also stands out for the variety and attractiveness of its landscapes. An ideal energy transition should ensure the conservation of the Iberian natural environment and in no way aggravate the problems associated with the loss of habitats and species, the degradation of ecosystems, and the deterioration of the landscape that Spain is suffering. Scientific research also has a role to play in this effort to make the necessary decarbonisation compatible with the no less essential conservation of biodiversity. [[Responsible renewable energy planning](#); [Decalogue of responsible renewables](#)].

Climate change is also scientifically identified as one of the factors in the emergence and re-emergence of infectious diseases (cellular and viral pathogens) affecting humans, animals and plants. COVID-19 offers a dramatic testimony to this. Climate change, environmental degradation and public health overlap in several facets that need to be understood and addressed in a coordinated manner.

As we have highlighted in all previous Declarations on the State of Science in Spain [[rac.es/informes](#)], RAC reiterates to the experts of the Ministries and Departments involved in the urgent task of accelerating the energy transition, its offer of help to jointly analyze the problems, and specify solutions.

Conclusions

- **Climate change and several of its consequences for life on planet Earth have been scientifically proven. Several international organizations are setting standards for a transition towards clean energy forms.**
- **To progressively abandon the use of fossil fuels is mandatory to confront and minimize the consequences of climate change.**

- **There are several sources of renewable energy which can be adapted to different geographical areas and climate conditions. Spain (Iberian Peninsula, Balearic Islands, Canary Islands, Ceuta and Melilla) are in an excellent position to investigate and exploit different forms of clean energy, as well as to create high quality employment, and export new methodologies.**
- **Specifically, solar, wind farm, geothermic, seawater, and sea-wave energies offer excellent opportunities for exploitation in Spain.**
- **Digital transition is fundamental to optimize the performance of renewable energy production facilities, to attain a sustainable economy. The digitalization of industrial processes will contribute to diminish very considerably CO₂ emissions.**
- **A responsible use should be made of the information and communication technologies to diminish as much as possible the energy consumption that they entail.**
- **To achieve the energy transition, the budget devoted to research, development and innovation should be increased, public-private cooperation should be enhanced for the required technological developments. The roadmap requires to abandon the use of fossil fuels by 2050.**
- **The success of the energy transition depends on individual attitudes, collective decisions, and on following the guidelines proposed by the relevant international organizations.**
- **RAC is aware of the difficulties, but also of the urgency of the undertaking. Because of this, as expressed also in previous declarations regarding the situation of science in Spain, RAC remains available to experts from the relevant Ministries and Departments to contribute to an effective energy transition.**

Acknowledgments

RAC thanks to its members Fernando Briones, Manuel de León, Esteban Domingo, José Duato, Nazario Martín, Javier Jiménez Sendín and Caridad Zazo for their work to prepare the present Declaration, and to the Association of Friends of the Royal Academy of Sciences (aRAC) and to its President José María Fuster, for the strong support to disseminate its contents.