



**REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES
DE ESPAÑA**

Comisión sobre el estado de la ciencia en España

DECLARACIÓN SOBRE LA FINANCIACIÓN Y GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN ESPAÑA - 2023

**Oportunidades en transformación energética y digitalización.
Papel de las Academias en el impacto de la ciencia en nuestra sociedad**

1. Introducción: el contexto de la ciencia española en la necesaria transición hacia una economía sostenible

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España (RAC), de acuerdo con sus mandatos estatutarios, presenta su quinta *Declaración sobre la situación de la investigación científica en España*. Durante su redacción, se han revisado las cifras de inversión en Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), que constituyen la Función 46 (F46) [o Política de Gasto 46 (PG46)] de los Presupuestos Generales del Estado (PGE), actualmente denominada “Investigación, Desarrollo, Innovación y Digitalización (I+D+i+D). En los datos publicados, se constata que España está todavía muy lejos de acercarse a los objetivos de la Unión Europea (UE) en cuanto a la financiación de la ciencia. Ello se refleja en el informe de la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) de 2022 titulado [“Financiación Pública de la I+D+i: Presupuestos Generales del Estado \(PG46\) y Fondos Europeos”](#) cuyos autores son José de Nó, José Molero, Ana Fernández-Zubieta e Ismael Serranía. El informe señala que el 40% de los recursos presupuestados para I+D+i+D en los PGE de 2022 provienen de fondos europeos del mecanismo de recuperación y resiliencia (MRR), introduciendo la duda de qué ocurrirá cuando ya no se disponga de tales fondos. En esta línea también se expresa el exhaustivo informe de Comisiones Obreras (CCOO) publicado el 31 de marzo de 2023, titulado “PGE 2023 de I+D+i: ¿el fin de una ilusión?”, cumpliendo CCOO 40 años emitiendo un documento anual sobre los presupuestos de ciencia en España. En los informes recientes de varias agencias se constata que el total de los recursos de la Agencia Estatal de Investigación (AEI) alcanzaron en 2022 los 1.293 millones de euros (ME), lo que supone un aumento del 78.9% respecto a 2021. Este es un dato positivo siempre y cuando responda a una consolidación de esta inversión en futuros presupuestos y no a un aumento meramente coyuntural. A día de hoy, no se dispone de previsiones sobre esta necesaria consolidación por parte del gobierno. Los informes también inciden en la escasa colaboración público-privada en la financiación de la investigación científica. Todo ello hace que nos distanciamos de otros países europeos y que no podamos alcanzar los objetivos de la UE de orientar las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación hacia la solución de problemas sociales y económicos,

dando entre ellos prioridad a la sostenibilidad. Es decir, no nos acercamos al objetivo troncal de que la ciencia se convierta en el principal motor del desarrollo y bienestar social de los estados de la UE.

En una línea parecida de opinión se ha manifestado la fundación COTEC para la innovación. En su [informe de 2021](#), elaborado a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) y de Eurostat, se destaca que la inversión en I+D en España creció en 2021 respecto a 2020 en un 9.4%, lo que representa el mayor aumento inter-anual desde 2008. A pesar de ello, esta inversión de 17.249 millones de euros en I+D solo representó el 1.43% del producto interior bruto (PIB), frente al 1.41% en 2020, año para el cual el promedio de los países de la UE fue del 2.32% del PIB. Ciertamente estamos lejos de alcanzar la meta del 2.12% del PIB propuesto para 2027, según marca la Estrategia de Ciencia, Tecnología e Innovación en España para 2021-2027. Aunque estas cifras revelan una tendencia esperanzadora, la inversión en I+D en España en 2021 era todavía el 63% de la media de la UE, y la contribución del sector empresarial, situado en un 56% del total, tampoco alcanza el 66% de la media para la UE. También en ese informe se incide en que el aumento de 2021 está vinculado a los fondos MRR de la UE, que empezaron a asignarse en 2021.

En 2023 los MRR aportan a España 7.656 millones de euros, de los cuales el 21% se asignan al Ministerio de Ciencia e Innovación. El 55% de esos fondos serán gestionados por el Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, uno de cuyos objetivos es impulsar la digitalización y renovación tecnológica de las empresas españolas, como parte del programa España Digital 2025 del Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital de 2020 (ver también el apartado 4 de la presente Declaración-2023). El temor a un retroceso cuando no se disponga de los fondos MRR se sustenta también en el hecho de que el gasto en I+D+i+D en 2023, sin contar los fondos MRR, no alcanza la inversión que se hizo en 2009, que significó el pico en la inversión en ciencia en nuestro país. Se teme que los ajustes para reducir el déficit público durante 2023 y 2024 también se hagan a costa de reducciones en I+D+i+D.

Los fondos FEDER recuperados, juntamente con los MRR, han permitido incrementar los fondos destinados a la convocatoria de proyectos de I+D, que han pasado de 362 millones de euros en 2019 a 412 millones de euros en 2020 y hasta 616 millones de euros en 2023. De nuevo, se trata de una tendencia esperanzadora que debería mantenerse si se aspira a que España evolucione

hacia una economía sostenible basada en el conocimiento y la innovación (con sus vertientes de respeto al medioambiente, implementación de digitalización y rentabilidad económica), en línea con la Agenda 2030 aprobada por la ONU en 2015. Respecto a la innovación, concepto clave para abordar dichos desafíos, en 2021 y 2022 España ocupó el puesto 16 del total de 27 países, según los informes del *European Innovation Scoreboard* que publica la Comisión Europea, lejos de los países altamente innovadores.

Aspectos también muy relevantes y complementarios a los anteriores fueron estudiados por la Fundación Alternativas y resumidos en su [“IV Informe sobre la Ciencia y Tecnología en España”](#) dirigido por Isabel Álvarez González y Vicente Larraga, publicado el 1 de junio de 2023. El informe resalta que en las transiciones en marcha [como son digitalización, gestión del cambio climático y de recursos hídricos, inteligencia artificial (IA), o nueva industrialización] España no puede ser un mero espectador. En su resumen general se destacan las siguientes necesidades: a) inversión pública en ciencia y formación; b) elaboración de una hoja de ruta contando con empresas dotadas de capital humano y tecnológico; c) definición de ámbitos estratégicos clave que a su vez movilicen a otros sectores; y d) desarrollo de políticas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) que solucionen desigualdades de género y territoriales. Ello se amplía en los distintos capítulos del informe cuyos conceptos se sustentan en numerosos estudios citados en las referencias bibliográficas. Entre otros puntos, se incide en que la digitalización requiere la colaboración entre investigación y empresas especializadas. Se subraya la “transición gemela”, en busca de sinergias entre procesos de digitalización y sostenibilidad ambiental, en línea con el antes mencionado programa España Digital 2025. [Las actuaciones necesarias para reducir el consumo energético en el uso de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) se trata en el punto 4 de la presente Declaración-2023]. Se alerta del posible aumento de desigualdades sociales y territoriales por diferencias en el nivel de formación necesario para llevar a término los planes de digitalización. Otros puntos que se tratan en los distintos capítulos del informe de la Fundación Alternativas son: a) el talento humano en España que no es aprovechado; b) la importancia que ha tenido la biotecnología en España, su atenuación tras la pandemia de COVID-19 y necesidad de su reactivación por su trascendencia en salud y medio ambiente; c) el impacto de la IA y su salto desde el mundo académico al empresarial y mediático; d) necesidad de agentes intermediarios como son los Institutos Tecnológicos como puente entre la investigación básica y

desarrollo tecnológico; e) necesidad de atender a la ciberseguridad para implementar una tecnología digital segura; f) políticas para eliminar la brecha de género en la actividad científica, con planificación de carreras y sistema de evaluación no basados en un patrón masculino; y g) necesidad de encuentros para la participación de la ciudadanía en los desarrollos necesarios.

Ninguno de los planes necesarios que se han expresado en distintos informes será factible sin una adecuada gestión y financiación. Como resumen de partidas presupuestarias clave para 2023 en España, los fondos asignados a la PG46 para 2023 (sin los fondos MRR) son de 8.673 millones de euros, que representan un incremento del 10% respecto a 2022, aunque 893 millones de euros se destinan a gastos de armamento militar, probablemente debido a compromisos contraídos con la OTAN. Aun así, la asignación es un 10% inferior a la que había en 2009 (9.662 millones de euros). Ese año se toma como referencia antes de las consecuencias de la crisis financiera que, contrariamente a otros países, España abordó con recortes en I+D+i (ver [Declaración-2019](#) de la RAC).

En este contexto, la presente declaración incide en problemas que ya fueron esbozados en declaraciones anteriores de la RAC y que adquieren especial relevancia ante la necesidad de inversiones en ciencia para lograr la tan necesaria transición energética.

2. La gestión de los recursos humanos en investigación y desarrollo

España tiene cada vez más empresas tecnológicas excelentes, y más centros de investigación de relevancia mundial, a pesar de lo cual exportamos poca tecnología. Sólo un 1% de las solicitudes a la Oficina Europea de Patentes en el año 2021 provino de España, colocándonos en la posición 24 entre los 30 países listados por dicha oficina.

En la práctica, eso nos hace importadores netos de tecnología, en consonancia con la deficiente financiación de la I+D+i+D descrita en la sección anterior de la presente Declaración-2023. Este déficit cobra especial importancia en un momento como el actual, en el que los cambios estructurales demandados

por una evolución climática cada vez más evidente, y probablemente también por innovaciones como la IA (ver sección 4 de esta Declaración-2023), abren nuevas necesidades y nuevas oportunidades. Una contrapartida paradójica de este déficit de innovación es que, aunque España importe tecnología, tiende a exportar tecnólogos. Los jóvenes ingenieros y científicos españoles están generalmente bien formados, con el consiguiente gasto a cuenta del país, y como tal son muy demandados en centros europeos y americanos. Muchos de ellos, generalmente entre los mejores que consiguen ofertas de trabajo, se van al extranjero al poco tiempo de terminar sus estudios. En el periodo 2007-2017, España fue uno de los 27 países de la UE que menos población perdió debido a la emigración, pero casi toda la emigración neta consistió en personal altamente cualificado ([EU Mobile Workers: A challenge to public finances?](#)).

Algunas de las razones de esta emigración preferencial que señalan los informes son previsibles: mejoras de sueldo, nivel de empleo, disponibilidad de servicios públicos, etc., pero una de las razones más citadas es la mejor posibilidad de desarrollar una carrera profesional en el extranjero. Por ejemplo, una encuesta informal entre científicos jóvenes en el ámbito académico español dio como resultado que un universitario debe esperar hasta cumplir los 40 años para empezar a formar un grupo de trabajo propio. En los países anglosajones, por el contrario, ese mismo universitario habría recibido financiación inicial de su Universidad o Centro para organizar una línea propia desde el momento de su contratación. La formación de una línea propia suele ser uno de los criterios por los que se retienen a los candidatos al cabo de unos años. Es comprensible que esas posibilidades tientes a nuestros tecnólogos, cuya promoción debería ser uno de los ejes centrales de la política de recursos humanos en nuestro país. Es importante observar, que una acción de este tipo sólo es útil si conlleva un compromiso de estabilidad frente a los jóvenes, que se extienda a períodos que en todo caso deberían abarcar más de una legislatura.

3. El desarrollo actual de la Ciencia y el aporte de las Academias

A lo largo de las últimas décadas del pasado siglo y particularmente de las primeras décadas del presente, el positivo papel de la ciencia, aportando muy apreciables beneficios a la sociedad, se ha reforzado progresivamente mientras que en otras áreas del conocimiento, de la cultura, la economía y la política no se ha podido desgraciadamente presenciar un progreso siquiera comparable. Nos referimos aquí a las ciencias básicas, aquellas que se fundan en descubrimientos, ideas y teorías que abren nuevas líneas de conocimiento en las que se apoyan investigaciones, desarrollos tecnológicos y aplicaciones. Las Academias de Ciencias tienen un papel de apoyo a la excelencia de la enseñanza universitaria y son también fundamentales para la difusión, crecimiento y maduración de la cultura científica en la sociedad. Es ya histórico por otra parte el papel de las Academias de Ciencias de todo el mundo a la hora de denunciar y demostrar científicamente el cambio climático y la insostenibilidad de la actual sociedad de consumo, más aún su extensión a una población global de 8.000 millones de personas manteniendo mínimamente los derechos humanos (véase la [Declaración-2022](#) de la RAC acerca de “La ciencia española ante la transición energética”).

En los países más avanzados económica y culturalmente las Academias gozan de un prestigio y reconocimiento social indiscutibles y sus miembros son invitados regularmente a participar en los comités de evaluación de las infraestructuras científicas nacionales más importantes o de programas de colaboración internacionales por su visión de amplio espectro con la garantía de imparcialidad demostrada y ausencia firmada de “conflictos de interés”. En Europa, en las últimas décadas, las 25 Academias nacionales de la UE, la Royal Society, a pesar del Brexit de UK, y las asociadas de Noruega y Suiza, han participado en la redacción y publicación de numerosos manifiestos, informes y muy sólidos documentos dirigidos a los gobiernos pero accesibles gratuitamente (<https://easac.eu/publications>) a cualquier ciudadano de la UE.

Nuestra RAC participa en varios comités especializados del *European Academies Science Advisory Council* (EASAC) y recientemente se ha celebrado en Madrid la reunión anual de su comité ejecutivo internacional. Asimismo la RAC mantiene vivos debates internos y públicos acerca de los grandes desafíos

a los que nos enfrentamos, así como sobre asuntos de actualidad de gran impacto social. Entre ellos cabe mencionar dos temas que han provocado una inquietud profunda y extendida entre investigadores y sociedades científicas, como son la situación del Parque Nacional de Doñana, amenazado por la sequía y por una propuesta legal para incrementar la superficie de regadío en su entorno, y el contenido y consecuencias de la Ley de Bienestar Animal en vigor desde el 29 de septiembre del presente año, que promueve las colonias felinas en pueblos y ciudades pese a los riesgos que implican para la biodiversidad y la salud pública. Asimismo, se ha debatido sobre la importancia de nuestros recursos geológicos, el impacto en salud pública de las enfermedades infecciosas, la experimentación con animales, la sobreexplotación y contaminación de acuíferos y aguas superficiales, etc. Todo ello se hace con la participación tanto de Académicos como de expertos externos que aportan conocimiento y rigor a los análisis y recomendaciones.

En estas actividades cabe destacar el papel creciente de la mujer, reflejado en la incorporación de Académicas Numerarias y Correspondientes como expertas en las distintas áreas científicas. En nuestra Academia estas incorporaciones están contribuyendo a un ambiente académico más activo y entusiasta y más apreciado por el entorno social.

Otro aspecto muy importante para analizar el progresivo aprecio del mundo académico por parte de la sociedad actual es el hecho de que, en estos momentos de impresionante implantación de tecnologías avanzadas, verdaderas cajas negras para cualquiera, la ciencia tradicional de excelencia es todavía el mejor sustrato para fomentar la creatividad y la consiguiente aparición de invenciones tecnológicas con posibilidades de llegar a ser competitivas y productivas. Por otra parte, en momentos como el actual de una forzosa y rápida transición energética y social, los cambios relevantes no pueden ser solamente cuantitativos, tienen que ser disruptivos o “ground-breaking”.

Hemos visto en la Sección 2 que muchos expertos se marchan de España por las condiciones poco favorables de trabajo. No obstante, hay instituciones españolas que ofrecen una contrapartida positiva. Este es el caso del ITQ ([Instituto de Tecnología Química](#)). Su co-fundador y primer director fue nuestro Académico el Prof. Avelino Corma Canós, quien ha sido recientemente galardonado con el premio de la Oficina Europea de Patentes (EPO) al mejor Inventor Europeo. El Prof. Corma ha conseguido que el ITQ sea reconocido

internacionalmente como centro de referencia y resulte muy atractivo para el regreso a España de los mejores investigadores e ingenieros jóvenes que están ahora en estancias postdoctorales en el extranjero. Varios Académicos de nuestra corporación han sido distinguidos mediante premios nacionales o internacionales en reconocimiento de su importante labor en distintos ámbitos de la ciencia.

Un aspecto de la transición energética, muy reseñable también por lo positivo para la recuperación de jóvenes científicos e ingenieros, se debe a las grandes inversiones extranjeras que están entrando ahora en España y en todo el Sur de Europa en energías renovables, particularmente la solar, por las excepcionales condiciones geo-climáticas y socio-económicas de esta región y la posibilidad real de cumplir en ella los objetivos del cambio de paradigma energético que pretende la UE para el 2030. En su Declaración-2022, la RAC destacó los graves problemas de sequía, despoblación, abandono e incluso destrucción irreversible y desertización final del suelo a que se enfrentan grandes extensiones interiores de nuestro país, si no fuese posible poner en marcha acciones políticas públicas de gran envergadura. Tales acciones deben y pueden ser abordadas adecuadamente mediante la supervisión y una regulación estricta de esas inversiones privadas. Por ejemplo, los paneles solares no sólo producen aquí energía eléctrica, a unos costes mucho más reducidos que en Europa del Norte (aproximadamente la mitad) sino que aportan algo muy valioso para el Sur, como es generar sombra. Esta contribuye directamente a un ahorro muy significativo de agua evitando evapotranspiración por la vegetación y ayudan a reducir la temperatura ambiente. Esta Academia ya convocó el pasado año una reunión sobre la tecnología híbrida agro-voltaica muy bien recibida por las cooperativas agrarias y por los expertos ambientales e institutos de investigación en producción de alimentos (INIA-CSIC). Pasó en cambio inadvertida para las autoridades locales a pesar del evidente interés del tema. Aparentemente, la formación especializada de urgencia del gran número de técnicos instaladores, ingenieros e investigadores, necesaria ya para maximizar los beneficios y minimizar el impacto ambiental de las gigantescas instalaciones intensivas de producción eléctrica, tendrá que ser asumida por los propios inversores.

4. Líneas de actuación en España para reducir el consumo de energía de las TIC

En la Declaración-2022 se puso de manifiesto que las previsiones de consumo de energía eléctrica de las TIC son alarmantes. Teniendo en cuenta que un elevado porcentaje de esta energía proviene de quemar combustibles fósiles, es evidente que cualquier tipo de actuación que conduzca a reducir el consumo de energía de las TIC va a ser beneficiosa para el medio ambiente. Estas actuaciones están en línea con el programa España Digital 2025 (véase el apartado 1 de la presente Declaración-2023).

Son varias las razones por las que está aumentando el consumo de energía eléctrica de las TIC. En primer lugar, la continua mejora de las características técnicas de los terminales móviles [en particular, la elevada resolución de las cámaras, que ya alcanza los 200 megapíxeles ([La Vanguardia. Andro4all.com](#))], la creciente sofisticación de las aplicaciones para estos dispositivos y, sobre todo, las tendencias sociales (canales de Youtube, TikTok, fotos compartidas en redes sociales, etc.) están incrementando muy rápidamente el consumo de ancho de banda en las redes de comunicaciones y la capacidad de almacenamiento requerida en los servidores de Internet ([20 minutos. 20 bits](#) [“Cada persona en la Tierra genera 1,7MB de datos por segundo, ¿qué se puede hacer con toda esa información?”](#); [es.statista.com. “A la espera de un Big Bang de datos”](#)).

En segundo lugar, el rápido incremento en el despliegue de aplicaciones de inteligencia artificial y la creciente sofisticación de las mismas están produciendo un rápido incremento en el consumo de energía eléctrica ([energiahoy.com. “Aumento del consumo de energía debido a la Inteligencia Artificial”](#)). Por ejemplo, cada vez son más los sistemas de seguridad que incorporan reconocimiento de imágenes. La precisión del diagnóstico por imagen médica también ha mejorado mucho gracias a la incorporación de la inteligencia artificial ([medimaging.es. “Algoritmos de IA que permiten un diagnóstico de imagen médica altamente preciso y rentable”](#)). Pero sin duda alguna, el mayor crecimiento lo han experimentado los sistemas de procesamiento de lenguaje natural (traductores de lenguaje hablado y escrito,

generadores de informes, herramientas conversacionales, etc.). Cabe resaltar la reciente aparición de [ChatGPT](#), que es capaz de mantener conversaciones sobre temas muy diversos. Es el caso más conocido de la denominada [inteligencia artificial generativa](#). Pero entrenar ChatGPT una sola vez cuesta entre dos y doce millones de dólares. Es más, debido a la elevada demanda, con una media de 13 millones de visitantes únicos a ChatGPT en enero de 2023, también la inferencia conlleva un coste muy elevado. Se requieren más de 30.000 GPUs Nvidia A100, con un coste diario de electricidad de unos 50.000 dólares ([techgoing.com. “How much does chatgpt cost?”](#)).

En tercer lugar, hoy en día se pueden conectar a Internet todo tipo de objetos: relojes, coches, electrodomésticos, televisores, máquinas industriales, etc. Es lo que se denomina el Internet de las cosas o IoT (*Internet of Things* en inglés) ([redhat.com. “¿Qué es el internet de las cosas \(IoT\)?”](#)). Gracias a IoT, se estima que la cantidad de información digital generada en 2035 ascienda a los 2.142 zettabytes ([es.statista.com. “A la espera de un Big Bang de datos”](#)). Esto se debe a que, aparte de la conectividad como tal, el IoT se caracteriza por su capacidad para recopilar datos. En particular, la progresiva implantación de las tecnologías globalmente denominadas [Industria 4.0](#) y, más concretamente, la monitorización de las cadenas de producción mediante redes de sensores interconectados a través de redes IoT y el procesamiento de los datos recogidos van a suponer un elevado consumo de energía eléctrica. En esta línea, cabe destacar la ingente cantidad de datos que se prevé que van a ser recogidos para realizar mantenimiento predictivo.

Para reducir en la medida de lo posible este rápido incremento en el consumo de energía eléctrica debido al despliegue de nuevas tecnologías TIC cabe abordar diversas líneas de investigación. Algunas de estas líneas tienen por objeto desarrollar investigación de base para mejorar los sistemas en el futuro, pero otras líneas son especialmente relevantes porque pueden tener una aplicación e impacto muy notable en el consumo de energía eléctrica que se hace en España. Por otra parte, también es interesante exponer unas recomendaciones encaminadas a mejorar nuestro comportamiento social y nuestra conducta ciudadana, contribuyendo con ello a la reducción del consumo de energía.

4.1. Líneas de investigación y buenas prácticas a promover en España

La creciente complejidad de las aplicaciones informáticas ha hecho que los esfuerzos durante las últimas décadas se hayan centrado en el desarrollo de metodologías, entornos y lenguajes de programación que facilitan el desarrollo y la verificación del código producido. En cambio, se ha invertido muy poco esfuerzo en desarrollar código eficiente, incluyendo en este concepto tanto la eficiencia en el consumo de recursos (cantidad de memoria consumida, tiempo de procesamiento, etc.) como la eficiencia energética, es decir, la realización de los mismos cálculos consumiendo una menor cantidad de energía eléctrica. Muchos programadores expertos no tienen en cuenta la jerarquía de memoria al desarrollar código, con lo que desaprovechan muchas oportunidades para minimizar el movimiento de datos, ahorrando así tiempo y energía. A ello también contribuye la gran popularidad de lenguajes de programación interpretados como Python, que genera código entre 10 y 80 veces más lento que el mismo algoritmo programado en lenguaje C ([Latest speed comparison results](#)). Esta situación se agrava cuando se desarrollan aplicaciones de inteligencia artificial, donde el lenguaje Python es el elegido para la mayoría de los desarrollos.

Ante esta situación, es imperioso fomentar tanto investigaciones como buenas prácticas de programación, conducentes al desarrollo de algoritmos más eficientes, que recientemente han recibido el apelativo de “algoritmos verdes” ([lamoncloa.gob.es. “El Gobierno lanza el Programa Nacional de Algoritmos Verdes”](#)), los cuales reducirán el tiempo de cálculo, el consumo de recursos del sistema (por ejemplo, memoria) y, sobre todo, el consumo de energía eléctrica requerida para su ejecución. La reciente convocatoria de cátedras universidad-empresa en inteligencia artificial, entre cuyas líneas se incluye la de algoritmos verdes y, sobre todo, la [aprobación del Plan Nacional de Algoritmos Verdes](#), que contará con una inversión de 257,7 millones de euros de los fondos europeos Next Generation EU, apuntan en esta dirección. Esta es una gran oportunidad para España, que no sólo tiene buenos investigadores en los campos de las matemáticas y la informática, sino que además cuenta con numerosas empresas que incorporan el desarrollo de aplicaciones

software o de aplicaciones de inteligencia artificial como parte de sus líneas de negocio.

Además del desarrollo de algoritmos más eficientes, existen otras oportunidades que se pueden aprovechar en esta dirección. Durante el desarrollo de aplicaciones informáticas es habitual analizar qué partes del código requieren más tiempo para su ejecución. Sin embargo, es menos frecuente realizar un análisis exhaustivo del uso de los diferentes recursos del sistema con el objetivo de realizar una gestión optimizada de los mismos. En esta línea cabe fomentar las buenas prácticas en programación, encaminadas a utilizar eficientemente los diferentes niveles de la jerarquía de memoria, gestionar los accesos a memoria en procesadores multinúcleo o utilizar protocolos y librerías de comunicaciones que minimicen las copias de datos en las comunicaciones entre dispositivos. También se recomienda fomentar investigaciones en estas líneas, pues toda optimización en la gestión de recursos conlleva una reducción en el consumo de energía. Muchas de estas investigaciones están consiguiendo reducciones significativas en el tiempo de cálculo y consumo de energía mediante el ajuste fino de diversos parámetros del sistema [Adrián Castelló, Enrique S. Quintana-Ortí, José Duato: [“Accelerating distributed deep neural network training with pipelined MPI allreduce”](#). *Clust. Comput.* 24(4): 3797-3813 (2021)].

Uno de los frentes en los que más han invertido las empresas de desarrollo de hardware ha sido en el diseño de aceleradores específicos para inteligencia artificial ([nvidia.com. IA y ciencia de datos. “Soluciones de deep learning”](#)). Dichos aceleradores no sólo incorporan un número muy elevado de unidades de procesamiento, sino que permiten operar con aritmética de baja precisión y, sobre todo, hacen un uso muy extensivo de la reutilización de datos. Todo ello permite que alcancen una eficiencia energética hasta dos órdenes de magnitud más elevada que un procesador convencional. En estos aceleradores es crucial desarrollar algoritmos muy eficientes, para poder aprovechar al máximo el potencial y la eficiencia que pueden conseguir. Si bien ya hay buenas soluciones para operaciones de álgebra lineal con estructuras de datos densas, tales como las matrices, queda mucho por hacer para optimizar las operaciones con estructuras de datos dispersas ([developer.nvidia.com. cuSPARSE](#)). Estas tienen por objetivo almacenar sólo los elementos no nulos, eliminando así las operaciones (suma y multiplicación) en las que al menos uno de los operandos es cero.

4.2. Otras actuaciones en relación a la implementación de las TIC

Si bien la investigación y las buenas prácticas pueden conseguir grandes logros, éstos se pueden complementar con cambios en el comportamiento de las personas que conduzcan a un uso más razonable de los recursos. Concretamente, el afán de popularidad de muchas personas y los hábitos de sus seguidores, así como la publicación masiva de grandes cantidades de contenidos multimedia de muy escasa relevancia, están produciendo un incremento cada vez más rápido del consumo de ancho de banda en las redes de comunicaciones, de la capacidad de almacenamiento en los servidores y del consumo de recursos computacionales para procesar y/o transformar dicha información. Por tanto, es necesaria una concienciación de los ciudadanos para que hagan un uso racional de estos recursos, cambiando sus hábitos de consumo de contenidos multimedia y de relación en las redes sociales.

Para fomentar dicho cambio de hábitos se recomiendan actuaciones a corto y largo plazo. A corto plazo, se recomienda la realización de alguna campaña de información y concienciación en medios audiovisuales (radio, televisión), dirigida a la ciudadanía en general. A largo plazo, se considera necesario incluir contenidos formativos desde las primeras etapas de escolarización, al igual que se hace en otros ámbitos tales como el reciclaje de residuos.

RESUMEN

En la presente Declaración-2023, la RAC subraya una vez más la importancia de la investigación científica para el progreso y bienestar de la sociedad. Varios informes publicados el último año han documentado la falta de inversión suficiente en ciencia en España, en comparación con otros países de la UE. La preocupación se acentúa al considerar cuál será la situación cuando ya no se disponga de los fondos europeos de recuperación.

Una de las facetas de la falta de inversión suficiente en ciencia es la pérdida de recursos humanos en forma de emigración al extranjero de profesionales bien cualificados, en un momento en el que la ciencia y la ingeniería serán clave para culminar una imprescindible transición energética.

Como nota positiva hemos mencionado el papel de las Academias de todo el mundo en el impulso y la difusión de la ciencia. En el caso de la RAC ello se está traduciendo en nuevas incorporaciones de talento, manteniendo un positivo equilibrio de género. Cabe añadir y destacar el reconocimiento nacional e internacional de varios de sus miembros por sus contribuciones en distintos campos de la ciencia.

En la presente Declaración-2023 también hemos destacado aspectos adicionales del desafío que representa la transición energética, ampliando algunos puntos que fueron tratados en la Declaración-2022. Entre ellos, hemos abordado con cierto detalle las líneas de actuación que son necesarias para reducir el consumo energético que conlleva la implantación de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones y, en particular, para el proceso de digitalización. Se incluyen recomendaciones para fomentar buenas prácticas, su difusión a la sociedad y para abrir líneas de investigación ante la importancia e inevitabilidad de la transición hacia la digitalización.

En cuanto a las actividades de la RAC para abrir debates acerca de asuntos de impacto para nuestra sociedad, tratamos de contrastar el punto de vista de expertos que pueden transmitir información clave y documentada al público en general, en un momento en el que el abordaje científico de los problemas es más necesario que nunca.

Agradecimientos

La RAC agradece a los Académicos Fernando Briones, Manuel de León, Esteban Domingo, José Duato, Nazario Martín y Javier Jiménez Sendín 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**