

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

INGENIERÍA PARA UNA ESTRATEGIA NACIONAL

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. RAFAEL GÓMEZ BLANCO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 24 DE SEPTIEMBRE DE 2024

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. JAVIER JIMÉNEZ SENDÍN



MADRID MMXXIV

INGENIERÍA PARA UNA ESTRATEGIA NACIONAL

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

INGENIERÍA PARA
UNA ESTRATEGIA NACIONAL

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. RAFAEL GÓMEZ BLANCO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 24 DE SEPTIEMBRE DE 2024

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. JAVIER JIMÉNEZ SENDÍN



MADRID MMXXIV

Obra producida en el ámbito de la subvención
concedida a la Real Academia de Ingeniería
por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Editado por la Real Academia de Ingeniería

© 2024, Real Academia de Ingeniería

© 2024 del texto, Rafael Gómez Blanco

ISBN: 978-84-95662-99-6

Depósito legal: M-20205-2024

Impreso en España

ÍNDICE

1. AGRADECIMIENTOS	7
2. MEDALLA XLVIII	9
3. INTRODUCCIÓN	11
3.1. Progreso e Ingeniería	11
4. TECNOLOGÍA E INGENIERÍA EN LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	15
4.1. Fase de innovación inicial	16
4.2. Fase de modernización o adopción	16
4.3. Fase de innovación tecnológica	18
4.4. La irrupción de Alemania y los Estados Unidos	19
4.5. Conclusiones parciales de la Revolución Industrial	20
5. LA REVOLUCIÓN CIBERNÉTICA O DIGITAL	23
5.1. Fase de innovación inicial. El Modelo Lineal de Innovación norteamericano	24
5.2. Europa y España	29
5.3. El final de la fase de innovación y el comienzo de la de modernización	32
5.4. Las nuevas potencias tecnológicas. El tiempo de Asia.	35
6. RETOS Y OPORTUNIDADES EN UNA FASE DE MODERNIZACION	39
6.1. El nuevo talento. La nueva ingeniería	39
6.2. Ecosistemas creadores	43
6.3. Estrategias Nacionales	45
7. CONCLUSIONES	49
8. REFERENCIAS	51
CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO EXCMO. SR. D. JAVIER JIMÉNEZ SENDÍN	57

1. AGRADECIMIENTOS

Excelentísimo Presidente de la Real Academia de Ingeniería, Excelentísimos Académicos, Autoridades Civiles y Militares, queridos amigos:

Estar hoy aquí es para mí un honor que difícilmente podía imaginar cuando hace casi cuarenta años accedí como un joven estudiante a la prestigiosa, a la par que intimidante, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos. Un honor que tampoco imaginaba cuando, seis años después, entré a formar parte del Servicio de Formación de Cuadros de Mando del Ejército del Aire, y hoy también del Espacio, para realizar el Servicio Militar, tras el cual ingresé sin solución de continuidad en su Cuerpo de Ingenieros.

Pero si el honor es grande, el privilegio de que este humilde ingeniero-soldado esté hoy entre todos ustedes, es aún mayor. Un privilegio que debo agradecer por encima de todo al Profesor Javier Jiménez Sendín. Ilustre Ingeniero Aeronáutico, prestigioso Científico y, sobre todo, mi Maestro. Un hombre de extraordinaria inteligencia y preclara visión del Universo Físico, del que intenté aprender, no ya los principios de la resolución de los problemas de la Turbulencia sino, lo que es más importante, su entereza y valentía intelectual y su constante búsqueda de la verdad, en su sentido más amplio.

Un agradecimiento que es obligado que extienda tanto al Ejército del Aire y del Espacio, como a la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid. Dos instituciones que me han dado todo cuanto soy como profesional y en gran medida también como persona. Dos familias que, siendo aparentemente muy distintas en su organización, formas, fundamentos y principios, comparten elementos comunes esenciales en su fin último: la búsqueda de un bien superior y altruista en beneficio de la sociedad. Dos instituciones a las que tengo

el inmenso privilegio de pertenecer y entre las que se encuentran grandes amigos y mejores compañeros, algunos de los cuales tengo la fortuna de que estén hoy aquí acompañándonos.

Gracias por supuesto a la Real Academia de Ingeniería. A sus presidentes: Jaime Domínguez, que ocupa actualmente ese demandante puesto, y a Antonio Colino, que lo ocupaba cuando comencé mis primeros contactos con la Academia, por su apoyo constante. A los académicos que me han considerado digno de este honor. A su gerente, Javier Vargas y al resto del personal que lleva sobre sus hombros el peso del día a día, y de este evento en particular.

Presidente, tenéis mi total compromiso de servir a la Academia como esa institución que, al igual que la milicia y la universidad, buscan el bien común al servicio de España, a través en este caso de su dedicación a la ingeniería, a su prestigio, a sus fundamentos y, sobre todo, a su futuro.

Un agradecimiento que debe terminar en mi querida familia, sólida, cariñosa y entrañable. Un refugio para el espíritu y la mayor de las motivaciones para seguir siempre adelante, contra toda dificultad. A mis padres, que por su avanzada edad no puedan acompañarme hoy, pero que siempre han estado a mi lado. A mis tres hijos: Blanca, que antes de que se dé cuenta será una excelente Ingeniera Aeronáutica por la Universidad Politécnica de Madrid, una carrera dura pero que sigue mereciendo la pena, pese a las dificultades que comporta; Rodrigo y Elena, nuestros pequeños mellizos que, con sus constantes interacciones demuestran que las leyes físicas que aplican a las partículas subatómicas, son extensibles a las relaciones entre hermanos; que llenan con su alegría nuestros silencios, pero que siempre cumplen con su palabra y sus responsabilidades, aunque tarden un poco en hacerlo. Y a mi querida Meli, mi esposa, mi compañera de vida y también de profesión, alegre, inteligente e infinitamente paciente en su apoyo para que siga dedicando muchos de mis días y algunas de nuestras noches a perseguir quimeras.

2. MEDALLA XLVIII

Terminados estos largos, pero más que merecidos agradecimientos, es pertinente rendir tributo al anterior depositario de la medalla número XLVIII, D. José Alberto Pardos Carrión, académico supernumerario desde el 1 de enero de 2022. El Profesor Pardos es Doctor Ingeniero de Montes por la Universidad Politécnica de Madrid y Doctor en Farmacia por la Universidad Complutense de Madrid. Catedrático de Botánica y Geobotánica en la UPM, ejerció como ingeniero del Cuerpo Nacional de Ingenieros de Montes, donde llevó a cabo los trabajos de campo para la confección del Mapa Forestal de España, integrándose en el Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias (IFIE), pasando al Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) durante su fundación, donde fue nombrado Coordinador de su Programa Nacional sobre Mejora Genética Forestal y más tarde Director del Departamento de Viveros y Repoblación Forestal. Académico de reconocido prestigio internacional en el ámbito de las Ciencias Forestales, es miembro fundador de la Sociedad Española de Ciencias Forestales (SECF), que presidió entre 1992 y 2001. Ha sido participe y director de numerosos proyectos de I+D en el ámbito de la investigación forestal y es autor o coautor de buen número de artículos en revistas científicas y técnicas, presentaciones en Congresos y de diversos libros de ámbito de su especialidad. El Profesor Pardos ha sido galardonado con numerosas distinciones nacionales y extranjeras entre las que destacan la Cruz de la Orden del Mérito Agrícola de España, la Orden Agrícola de la República Francesa y la Medalla de Honor del Colegio y Asociación de Ingenieros de Montes por su actividad científica.

Un modelo de académico que espero poder emular y un extraordinario ejemplo de ingeniero, en el sentido más puro de la profesión.

3. INTRODUCCIÓN

Y es precisamente ese sentido, el sentido de la ingeniería, su pasado, presente y, especialmente su futuro, en el que se centrará esta disertación.

Un discurso que está basado en mi profunda convicción de que la ingeniería es uno de los pilares esenciales para construir una sociedad avanzada y segura. Una ingeniería fundada sobre el talento transdisciplinar y aplicado de los ingenieros y en la existencia de ecosistemas creadores en los que éstos sean capaces de impulsar la innovación, en beneficio de la sociedad.

Aunque mi sesgo personal, derivado de mi especialización en las Tecnologías Aeronáutica y de Defensa, se apreciará durante todo el discurso, las principales ideas y conclusiones que les presentaré buscan ser de aplicación general al mundo de la ingeniería.

Un ámbito en el que hoy más que nunca son necesarias estrategias nacionales, como muchas de las que ya se han puesto en marcha sobre ciencia, tecnología, innovación o industria, que redefinan el carácter mismo de esta ingeniería, adaptándola a nuestros tiempos presentes y futuros, y conformen las instituciones que ayuden a crear, atraer y motivar el talento necesario para abordarlas.

3.1. Progreso e Ingeniería

La ingeniería ha acompañado a la humanidad desde sus orígenes como fuente creadora de progreso. Con diversas denominaciones, los ingenieros han aplicado los conocimientos técnicos acumulados durante generaciones al diseño, construcción y fabricación de infraestructuras, artefactos o sistemas. Un proceso de constante evolución técnica que ha ido incorporado con mayor o menor prontitud los avances científicos

del momento. Una evolución que es parte esencial del desarrollo humano global de cada época, con el que se acompasa e interactúa, contribuyendo de forma determinante a su avance.

En este largo camino, la ingeniería ha estado siempre ligada a las estrategias de los Estados que han dominado cada periodo de la historia, proporcionándoles las ventajas productivas, comerciales y militares que han necesitado.

Para comprender cómo es la ingeniería de hoy y cómo debe transformarse para responder a los retos del mañana, es imprescindible entender nuestra historia y progreso. Para su análisis, los estudiosos agrupan la evolución en distintos periodos temporales, cuyas fronteras se delimitan mediante grandes transiciones que, en sentido genérico, denominamos revoluciones (Jaspers 1953).

Esta estructuración de nuestro pasado, que nace como la conocemos hoy en la Ilustración y que modernamente se denomina periodización (Masayuki 2015), y que se acomoda a la perspectiva de la disciplina principal que la elabora, para emplearla en su estudio específico. Son las más conocidas la periodización histórica, la artística, la científico-tecnológica y la económico-productiva. Pero entre todas ellas existe una profunda interrelación, tanto en sus cronologías como en la profundidad de las transiciones que describen, mostrando que la evolución de la humanidad es un hecho global e interrelacionado, asociado a un estado social del momento al que debemos adaptarnos.

Esta aproximación hace que, en sentido amplio, las revoluciones puedan ser consideradas verdaderas explosiones informacionales (Rothschild 1990), cada una de las cuales es fruto de años de acumulación de conocimiento, obtenido durante situaciones socio-económicas favorables, que incentivan la creatividad y terminan desembocando en esas revoluciones.

Elegir la periodización más adecuada para analizar la evolución de la ingeniería es clave por tanto para comprenderla. Existen numerosas taxonomías relacionadas con la tecnología o los procesos productivos que serían aplicables a nuestro caso. Algunas de las revisiones sobre la materia (Murray 2022) identifican hasta 9 clasificaciones distintas sobre las revoluciones tecnológicas acaecidas desde mediados del siglo XVIII, fecha comúnmente establecida para la primera Revolución Industrial.

Por ello, es preciso identificar unos criterios que permitan disponer de una periodización realmente útil al caso que nos ocupa y que

hagan posible analizar en detalle las causas raíz de las revoluciones productivas pasadas, mediante criterios matemáticos objetivos que midan estos ciclos y profundicen de forma especial en el periodo tecnológico actual y los posibles escenarios de su evolución previsible.

Por ello, se ha elegido para este caso el modelo de Periodización de Revoluciones Productivas del economista ruso Leonid Grinin, (Grinin 2007), que divide la *Gran Historia* en cuatro periodos macroevolutivos: el periodo inicial de cazadores-recolectores; el artesano-agrícola; el comercial-industrial y el científico-cibernético actual.

Tres son por tanto las Revoluciones Productivas que identifica Grinin:

1. La Revolución Agraria o Neolítica. Que transcurre del 12.000 al 3.000 Antes de Cristo.
2. La Revolución Industrial. Que transcurre desde el último tercio del siglo XVI al último cuarto del XIX
3. La Revolución Cibernética o Digital. En la que nos encontramos inmersos, que comienza en 1950 y se espera que concluya en la década de los 70 del presente siglo.

Cada una de ellas se estructura a su vez en tres fases que parecen repetirse en un patrón cíclico: **innovación inicial**, que inaugura un nuevo sector productivo en una región determinada; **modernización o adopción**, un periodo de relativo estancamiento creativo, en el que se explotan de forma masiva las innovaciones desarrolladas en el periodo anterior en las zonas geográficas que las crearon y se exportan a otras nuevas; y una fase final de **innovación tecnológica**, asentada sobre el periodo de modernización previo, con un resurgimiento creativo que completa el ciclo, especialmente en aquellas naciones que mejor se modernizaron.

De estas revoluciones, nos detendremos en detalle en las dos últimas, sirviendo la primera para verificar la consistencia de las hipótesis de Grinin, que nos permitan entender la segunda, en la que nos encontramos plenamente inmersos.

4. TECNOLOGÍA E INGENIERÍA EN LA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Las clasificaciones tradicionales establecen que la Primera Revolución Industrial y la ingeniería moderna que la acompaña, nacen en el marco de la Ilustración de la Europa del siglo XVIII. Una revolución intelectual que removió los pilares de la sociedad del momento y estableció los principios que desde esta Europa se irradiaron al mundo y aún hoy establecen las bases de las sociedades contemporáneas desarrolladas.

La Ilustración se asienta sobre el uso sistemático del pensamiento racional, la búsqueda del desarrollo y la aplicación del método científico como herramienta fundamental para el estudio de la naturaleza. La promoción del cambio y el **progreso** son adoptados como valores fundamentales de la sociedad. Un concepto moderno de progreso que, articulado por primera vez en el célebre discurso que Jacques Turgot pronunció en diciembre de 1750 en la Sorbona, establece la diferencia entre el hombre, capaz de introducir cambios que deben mejorar la sociedad, y la naturaleza, sometida a leyes constantes y cíclicas.

Un ser humano que debe perseguir ese cambio de forma metódica, empleando para ello los principios científicos y el pensamiento racional, pero que debe profundizar también en el avance moral de la sociedad, como defendió Jean Jacques Rousseau en su famoso discurso de ingreso en la Academia de las Artes y las Ciencias de Dijon, también en 1750.

Girando alrededor de esta fecha como su punto álgido, la Revolución Industrial que aquí se analiza se inicia casi 100 años antes, y se puede estructurar en las tres fases antes mencionadas, que presentaremos en detalle a continuación:

4.1. Fase de innovación inicial

Desarrollada desde finales del Siglo XVI hasta mediados del XVIII, acontece fundamentalmente en Inglaterra, tras el largo periodo de estabilidad que inaugura su Revolución Gloriosa de 1688 y el importantísimo **desarrollo de las ciencias** que le sucede.

La aplicación sistemática de estos innovadores avances a nuevas tecnologías en agricultura, artesanía (abanderada por los telares) y minería, hace que éstas áreas productivas se desarrollen tanto en tamaño como en capacidad, en forma de una industria incipiente. Todos estos factores conducen a que a finales de 1760 la población activa rural británica era de solo un 53%, frente al 70% de la media europea (Shaw-Taylor 2008)

Aunque algunas teorías económicas en boga en los años 80 propugnaban que no fue su desarrollo científico, sino aspectos puramente económicos los que propiciaron este liderazgo británico, existe hoy un consenso que relaciona ciencia y tecnología con revolución productiva de forma inequívoca (Broadberry 2008).

Durante estos años se forja el modelo clásico anglosajón de dicotomía entre **ciencia** (conocimiento proposicional) e **ingeniería** (conocimiento prescriptivo) (Mokyr 2002). En este modelo, los ingenieros británicos tienen un somero conocimiento científico que se complementa con una formación eminentemente práctica, adquirida mediante el aprendizaje en las industrias y talleres del momento.

Es la orientación de los desarrollos científicos británicos a un uso en aplicaciones prácticas, encarnados en el ejemplo del inmortal de Isaac-Newton (1643–1727), y su capacidad para una ágil incorporación a los medios productivos, la razón principal de cómo la ciencia británica de la época contribuyó de forma decisiva a su temprana Revolución Industrial.

4.2. Fase de modernización o adopción

Durante esta fase, que transcurre desde mediados del Siglo XVIII a principios del XIX, los avances alcanzados en la fase previa de innovación son explotados y extendidos, primero en las Islas Británicas y a continuación en el resto de Europa.

Primero Francia y con posterioridad Alemania, estos países desarrollan **estrategias nacionales** impulsadas desde unos Estados Ilus-

trados que buscan la rápida asimilación de las tecnologías desarrolladas por los británicos, utilizándolas como fuente de innovación y desarrollo propios (Crouzet 2003).

La estrategia francesa de **adopción** se basa fundamentalmente en el desarrollo del moderno concepto de **Ingeniero de Estado**, una élite con una sólida formación científico-técnica orientada a su aplicación práctica, que les hace capaces de comprender, interpretar, incorporar y mejorar las invenciones británicas en beneficio del Estado Francés, desarrollando a partir de ellas nuevas invenciones propias, en base a los avances científicos del momento.

Esta aproximación se materializa en la creación de un nuevo **Cuerpo de Ingenieros del Estado**, diseñado a partir de los cuerpos de **ingenieros militares** de los siglos XVI y XVII y un sistema de nuevas **Escuelas del Estado** que los forma: la *Ecole des Ponts et Chaussées*, la primera de ellas, fundada en 1747; la *Ecole du Génie* (1748); la *Ecole des Mines* (1783) o la *Ecole Polytechnique* (1794). Una raíz militar que se mantiene en muchas de las formas y principios de estas instituciones hasta nuestros días.

El prestigio de estas instituciones y sus ingenieros se asienta sobre su pertenencia a la élite dirigente del momento, inicialmente por cuna y finalmente por el mérito derivado del cultivo de las virtudes Ilustradas, materializado en este caso en su elevada **educación científico-técnica**, que contrasta con la ingeniería británica del momento, y es adoptada como modelo en el resto de Europa.

España fue también parte de este proceso reformador del Siglo XVIII. Con una prestigiosa y desarrollada ingeniería militar, que tuvo un impacto tremendamente relevante en las infraestructuras de los territorios de ultramar y en la construcción naval del Imperio. El Siglo XIX busca emular a la ilustración francesa con la creación de los **Cuerpos de Ingenieros del Estado** sobre estas raíces militares. Bajo la supervisión directa de Carlos III, grandes políticos reformadores, como el Marqués de la Ensenada y el Conde de Floridablanca, e ilustres ingenieros, como Jorge Juan y Agustín de Betancourt, crean las primeras escuelas de ingeniería, que perduran hasta nuestros días: la Academia de Ingenieros de Marina del Ferrol (1772), la Escuela de Minas de Almadén (1777) posteriormente trasladada a Madrid, o la Escuela de Caminos de Madrid (1802) (Millán 1983).

4.3. Fase de innovación tecnológica

Alcanza hasta el último cuarto del Siglo XIX y completa el alcance de la Revolución Industrial en sentido amplio. Es en este periodo en el que se asientan los principios de esta revolución, extendida ya por la mayor parte de Europa y Estados Unidos, y se acuñan definitivamente la diferenciación entre: *invención* (un nuevo descubrimiento), *innovación* (la aplicación comercial de una invención) y *difusión* (el uso extendido de una innovación, con las modificaciones que sean requeridas), que posteriormente serán formalizados en el **Modelo Lineal de Innovación** norteamericano de mediados del Siglo XX y del que se hablará más adelante (Mokyr 1994)

Este periodo supone la constatación del triunfo del modelo francés de Ingeniería Ilustrada, que consigue dominar de forma indiscutible las invenciones e innovaciones de la época frente al modelo de ingeniería británico, mucho menos prestigioso, más especializado y basado en aprendizaje en la propia industria, más próximo al técnico especializado que al científico (Nuvolari 2023).

Esta decadencia relativa de la capacidad innovadora británica, se puso especialmente de manifiesto en las dos primeras Exposiciones Universales celebradas en París (1844) y Londres (1851), en las que se presentaban las principales invenciones del momento.

A raíz de estos hechos, el ideal liberal de *laissez-faire* y auto-regulación privada que los británicos habían aplicado hasta entonces a la educación técnica se modifica radicalmente, desarrollándose una nueva estrategia de ingeniería que emula en parte a la francesa y una decidida intervención del Estado, que define un nuevo marco en los tres niveles educativos. Fruto de esta iniciativa es la relativamente tardía creación del *Royal College of Chemistry* (1845) y la *School of Mines* (1851) de Londres, que acabaron formando el actual *Imperial College* (1907)

Pese al impulso del Estado la universidad tradicional británica tardó aún en adaptarse a este nuevo paradigma, aceptando su papel en la formación de los ingenieros. Así, la primera cátedra de ingeniería de la Universidad de Cambridge se ocupó en 1875, debiéndose esperar en Oxford hasta 1908.

4.4. La irrupción de Alemania y los Estados Unidos

Con un inicio tardío de su revolución industrial, debido a sus respectivas situaciones sociopolíticas, Alemania y los Estados Unidos irrumpen con fuerza en el último cuarto del Siglo XIX. La fundación de la Alemania moderna en 1871, tras las guerras franco-prusianas, y el final de la Guerra de Secesión Norteamericana en 1861, permiten a estas dos grandes potencias definir sus **estrategias** de adopción sobre los ya maduros avances de la industrialización (Focacci 2022).

Para ello, Alemania crea un modelo estatal de educación en ingeniería basado en el desarrollo de sus **institutos de tecnología** (*Technische Hochschulen*, hoy **universidades técnicas**) análogos en su concepción y principios a las Grandes Escuelas francesas, en un proceso denominado *emancipación* que busca además aumentar su prestigio, homologándolas a las Universidades alemanas tradicionales, profundizando en la formación científico-técnica que proporcionan, permitiendo y promocionando la emisión de doctorados y elevando notablemente el salario de sus profesores.

El desarrollo de estas escuelas hace que el Estado abandone temporalmente el apoyo a una formación técnica intermedia, que hasta entonces se extendía por los *Länder* alemanes, de aproximación eminentemente práctica al estilo británico, y que pasa a ocupar el lugar de la educación secundaria de tipo profesional. Esta decisión es tremendamente criticada por la industria, lo que lleva a la refundación de las denominadas Universidades de Ciencias Aplicadas, que terminan de conformar el sistema clásico alemán con **dos ingenierías** complementarias: Ingeniería Científica e Ingeniería Aplicada, similar al modelo español de Ingenieros y Ayudantes de Ingeniero.

En paralelo a la consolidación del sistema alemán de ingeniería dual, el Estado toma conciencia de la necesidad de establecer **laboratorios de desarrollo** con el objetivo de impulsar invenciones e innovaciones que den lugar a un verdadero desarrollo tecnológico e industrial. Para ello, se crean o reforman numerosos laboratorios especializados asociados a las principales tecnologías disruptivas del momento y vinculados a las universidades técnicas locales, como los de Química de Gottingen y Berlín, el de Ingeniería Mecánica de Múnich o los de Electricidad en Darmstadt y Hanover. A estos laboratorios se incorporan las industrias del sector para dar forma definitiva al tercer pilar de la formidable capacidad de ingeniería de la Ale-

mania de la fase final de la industrialización (Pombo 2002). En este periodo el número de ingenieros alemanes pasó de unos pocos miles a principios del Siglo XIX a más de 100.000 antes de la Primera Guerra Mundial, con un ratio de 1 a 5 entre los Ingenieros Científicos y los Aplicados (König 1996)

La eficacia del modelo alemán es tomado como modelo por Norteamérica, aunque sin una base científica previa tan imponente como la alemana. Para ello los Estados Unidos ponen en marcha un plan de acción para la industrialización que implica necesariamente la reestructuración de su **enseñanza técnica superior**. Para ello, el gobierno Federal emite numerosas leyes que potencian el desarrollo de Instituciones de enseñanza en ciencia y tecnología, entre las que se destacaremos la Ley Morrill de 1862, en la que se cedieron terrenos federales para la constitución de las más prestigiosas universidades técnicas con una sólida formación científico-técnica, asociadas a potentes laboratorios de orientación práctica, como el Instituto Tecnológico de Massachusetts (1861) o la Universidad de Cornell (1865), que sirvió a su vez de precursora de Stanford (1891), su homóloga de la Costa Oeste.

4.5. Conclusiones parciales de la Revolución Industrial

La Revolución Industrial ha sido un largo periodo de creatividad basado en un ciclo de importantes descubrimientos científicos que, aplicados al desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones, han contribuido de forma determinante al avance de la sociedad.

El papel de las **estrategias de los Estados** y el sector público para establecer marcos institucionales adecuados, ha sido determinante para el éxito de los distintos países que han liderado cada uno de los periodos de esta Revolución. Un liderazgo asentado sobre la adaptación a los conocimientos y principios desarrollados previamente por otros Estados, que ha propiciado la expansión de su industria. Aquellos Estados que han sido **complacientes** con su papel de liderazgo en las fases tempranas de la Revolución Industrial, no desarrollando estrategias adaptadas a cada momento, han sido reemplazados por otros que sí se adaptaron con éxito.

El papel de los **ingenieros**, su preparación científico-técnica y su motivación, basada en el sentido Ilustrado de búsqueda del progreso y en el prestigio social de una élite **meritocrática**, han sido determi-

nantes en estos éxitos. El desarrollo de **estrategias de ingeniería** específicas adaptadas a cada periodo, que determinaron y estructuraron las cualidades de estos ingenieros como talento creador de la tecnología y la innovación, y el modelo educativo que les acompañaba, fue esencial.

La vinculación directa del mundo **militar** con la **ingeniería** y las estrategias científico-técnicas nacionales fue fundamental, tanto por su carácter tractor sobre la innovación, como por la **interdependencia** entre las capacidades militares de un Estado y su madurez tecnológica.

Una época que finaliza con el tardío triunfo del **modelo alemán de ingeniería dual**, que combina un grupo seleccionado de ingenieros de amplio conocimiento científico-técnico **transdisciplinar**, capaces de liderar y conectar las fases de invención e innovación, con una amplia variedad de ingenieros **especializados** en tecnologías concretas, que se concentran en que esas innovaciones se conviertan en productos industriales. Una invención e innovación que se fraguan en potentes **laboratorios** creados al efecto, de orientación práctica y finalista, en los que participan intensamente universidades e industrias, constituyendo verdaderos **ecosistemas creadores**, que albergan y potencian ese talento.

5. LA REVOLUCIÓN CIBERNÉTICA O DIGITAL

El proceso de Revolución Industrial termina en el último cuarto del Siglo XIX, cuando da comienzo un periodo de **crisis económicas y sociales**, que derivan en conflictos bélicos de escala mundial. Durante este periodo no se producen grandes cambios en la ingeniería, que sigue aportando avances tecnológicos relevantes, pero hay una clara deriva a la industrialización con perspectiva eminentemente empresarial, en detrimento del progreso técnico Ilustrado previo que, unido a la ya mencionada inestabilidad social, da lugar a un periodo de estancamiento innovador que terminará a principios de los años 50 del Siglo XX.

Si la producción científica entre 1675 y 1815 presentaba un moderado crecimiento, con un tiempo de duplicación de 24.5 años, entre 1815 y 1880 se produjo una clara aceleración, en la que el tiempo de duplicación se redujo a 12.6 años, pasando de 1880 a 1950 a un estancamiento, con tiempos de duplicación de 18.7 años. Desde 1950, la ciencia ha crecido exponencialmente sin restricciones, con un tiempo de duplicación de 14.0 años que, en todo caso, sigue siendo inferior a la época dorada de la Revolución Industrial (Bornmann 2021)

Siguiendo el modelo de periodización de Grinin, que nos ha ayudado a describir en detalle la Revolución Industrial, el año 1950 sirve de inicio a la Revolución Cibernética o Digital en la que nos encontramos inmersos y que también podemos estructurar en tres fases (Grinin 2019):

1. **Fase de innovación inicial.** De 1950 a 1990, en la que se producen los principales desarrollos científicos y tecnológicos.
2. **Fase de modernización.** De 1990 a 2030 (estimada), en la que los avances obtenidos en la fase anterior se distribuyen de forma rá-

vida y generalizada por el Mundo y aparecen nuevos actores de relevancia.

3. **Fase de innovación tecnológica.** Que se espera comience alrededor de 2030 y finalice en el entorno de 2060, en el que se espera se desarrolle el salto final de la revolución cibernética.

A continuación, se desgranar en detalle los aspectos más relevantes de las dos primeras fases y se explora su posible influencia en el desarrollo de la tercera, aún por venir.

5.1. Fase de innovación inicial. El Modelo Lineal de Innovación norteamericano

Aunque durante el primer tercio del Siglo XX el Gobierno Federal había propiciado el establecimiento de casi 40 organizaciones científicas que impulsaran el desarrollo tecnológico norteamericano, su intervención en este proceso había sido mínima, dejando de la mano de la iniciativa privada tanto las prioridades en innovación como su fuente principal de financiación.

La participación de los Estados Unidos en la **II Guerra Mundial** pronto mostró la necesidad de **fortalecer su ciencia e ingeniería** como medio fundamental para ganar la guerra. En este contexto, el Presidente Roosevelt ordenó la creación en 1940 del Comité Nacional de Investigación para la Defensa, que un año después fue reemplazado por la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo cuyo Director, el afamado ingeniero Vannevar Bush, escribió poco antes de terminar la Guerra su famoso informe "*Science: The Endless Frontier*" por encargo del Presidente Roosevelt.

El informe de Bush pone de manifiesto las principales limitaciones del sistema de Investigación y Desarrollo norteamericano y propone las bases de la Estrategia Federal de Investigación y Desarrollo de los Estados Unidos, que se describen a continuación y que recuerdan en muchos de sus principios al **modelo alemán** forjado décadas atrás y basado en cinco pilares (Bush 1945):

1. Establece una distinción clara entre *investigación básica* (ciencia) y *aplicada* (ingeniería), que ordena secuencialmente de forma que una alimenta a la otra, impulsándola para alcanzar la innovación. De este principio surge el fundamento del **Modelo Lineal de In-**

novación, que es perfeccionado durante casi una década, hasta alcanzar sus cuatro fases actuales: *investigación básica - investigación aplicada - desarrollo e innovación*. Un modelo que constituye la base de la mayor parte de las estrategias nacionales de investigación y desarrollo que han llegado hasta nuestros días (Godin 2005)

2. Formaliza la necesidad de que el **Gobierno** intervenga con el desarrollo de políticas de **largo plazo** y **fondos** suficientes, dado que la iniciativa privada está movida por visiones más cortoplacistas y económicas. Para ello crea **Agencias Gubernamentales** especializadas, como la *National Science Foundation* (NSF, 1950) o la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 1958), dirigidas por **expertos** de reconocido prestigio en cada materia, que gestionan de forma independiente los recursos de apoyo a la investigación y desarrollo y a la educación científico-técnica, en base a criterios objetivos de **calidad** y visión a **largo plazo**.
3. Destaca la importancia de **universidades e institutos tecnológicos**. La verdadera clave de una capacidad de investigación, desarrollo e innovación relevante es el **talento de científicos e ingenieros**. Por ello, una educación superior de calidad es imprescindible para **formar o atraer** el mejor talento en estas áreas, como base de un sistema generador de nueva tecnología. Para ello se perfeccionan y potencian sus universidades más prestigiosas, fundamentalmente de carácter privado, enfocándolas no solo a la creación de talento a través de una **enseñanza excelente**, sino como la principal fuente de **investigación**, en un ambiente de libertad académica y sin una presión inmediata para obtener resultados.

Es esencial garantizar el **prestigio de las universidades** a través del de sus profesores y alumnos, medido fundamentalmente por la calidad de sus investigaciones y desarrollos. En función de este prestigio, que comienza a medirse a través de los primeros rankings reputacionales (Mayers 2009), las universidades obtienen más fondos tanto gubernamentales como privados. La captación de científicos e ingenieros **extranjeros**, especialmente europeos en este periodo, es una de sus principales fuentes de talento, cuyas contribuciones superan a las de los nativos norteamericanos en su conjunto (Hunt 2008). Sólo la Operación *Paperclip* aportó más de 1500 expertos alemanes y austriacos de gran pres-

tigio tras la II Guerra Mundial, cuya contribución al avance norteamericano fue determinante (Jacobsen 2014).

4. Impulsa los grandes **laboratorios y centros de desarrollo gubernamentales**. El Modelo Lineal de Innovación exige la creación de **ecosistemas** en los que científicos e ingenieros desarrollen nuevas tecnologías con una fuerte vinculación con las Universidades, de las que se nutren y a las que sirven como centros de investigación de profesores y alumnos y apoyo a la formación de los nuevos talentos.

Para ello, el Gobierno reforma o crea laboratorios sectoriales, **asociados a las universidades** más prestigiosas, sobre los que las agencias nacionales canalizan la mayor parte de la financiación gubernamental en I+D, que debe ser superior al 70% en cada laboratorio y en el que tiene cabida la participación industrial. Creados inicialmente bajo el nombre de *Federal Contract Research Centers*, en 1967 pasaron a adoptar su designación actual de *Federally Funded Research and Development Centers* (CRSREPORT 2020). Algunos ejemplos destacados son: *Los Álamos National Laboratory*, vinculado a la Universidad de California y fundado por el Departamento de Defensa (1943); el *Jet Propulsion Laboratory* (1939), vinculado a Caltech y esponsorizado por NASA; o el *Lincoln Laboratory*, vinculado al MIT y esponsorizado por el Departamento de Defensa. Hoy en día existe un total de 42 FFRDCs, gestionados por 13 agencias gubernamentales (CRS 2020).

En paralelo, se establecen estrategias de financiación a **largo plazo** en base a **programas** concretos que estructuran el I+D y le dan un carácter finalista y práctico, incentivando el talento mediante un incremento muy importante del salario de los investigadores, parte del cual se vincula a sus éxitos. El programa nuclear o el programa espacial, son solo dos ejemplos famosos de decenas de macro-programas impulsados desde el Gobierno y cofinanciados por la Industria.

Estos laboratorios cuentan con una gran **flexibilidad** en sus procesos administrativos, incluida la contratación de personal y equipamiento, para lo que se establecen mecanismos de **gestión semi-privada** específicos, **independientes** del propio Estado, aunque supervisados por las agencias que los dirigen.

Aunque el concepto de **laboratorio nacional** y sus principios están vinculados a organizaciones gubernamentales, es importante

mencionar algunos **laboratorios privados** organizados con principios similares, que tuvieron una importancia capital en los avances tecnológicos del momento y entre los que se encuentra los Laboratorios Bell (de AT&T), IBM Watson y Xerox Parc. Financiados por sus respectivas industrias y también vinculados a las universidades más prestigiosas, defendían una visión de la investigación y desarrollo a largo plazo, donde la potenciación del talento y la libertad de invención eran prioritarias (Georgescu 2022).

5. Considera que el papel de la **Defensa** es esencial como impulsor de la innovación y beneficiario de la misma. Así, bajo la presidencia de Eisenhower (1955) se desarrolla el **Primer Offset Tecnológico**, que establecía la superioridad tecnológica como uno de los objetivos prioritarios en su confrontación con la Unión Soviética. A ésta le suceden posteriormente otras dos estrategias de offset tecnológico en las administraciones de Carter (1979) y Obama (2016), como bases fundamentales de la Seguridad Nacional norteamericana (Gentile 2021). Aún hoy, el Departamento de Defensa conserva sus propias agencias de gestión de la investigación y desarrollo como el *Office of Naval Research* (1946), la *Defence Advanced Research Projects Agency* (1958) o la más tardía *US Air Force Office of Scientific Research* (1961). Muchos de los laboratorios nacionales antes mencionados, han sido o aún son gestionados por estas agencias.

Dentro de este contexto, describiremos un importante tipo de ecosistema creador de tecnología, más orientado a la innovación que los grandes laboratorios, cuyas raíces se sitúan en la investigación y el desarrollo y conocidas con el sobrenombre de **Skunk Works**, en honor al más famoso de ellos. El *Skunk Works* fue una iniciativa de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (USAF) y la compañía Lockheed, como sinónimo para la organización de Programas de Desarrollo Avanzado de esta compañía, que desarrolló los aviones militares más punteros hasta la década de los 90, como el U2 (1957), el SR71 (1966) o el F117 (1983).

Fundada en 1943 por el mítico Ingeniero Aeronáutico Kelly Johnson, estaba formada por un selecto grupo de ingenieros y especialistas de Lockheed, dirigidos por el propio Johnson. *Skunk Works* estableció su sede principal en un área restringida de la Base Aérea de Edwards, dependiente del Mando de Apoyo Logístico

de la USAF y donde se ubicaba su centro principal de Ensayos en Vuelo, que aportaba además pilotos, ingenieros y los mejores medios de ensayos.

Skunk Works basa su éxito en los famosos 14 principios de Kelly Johnson, que podemos agrupar en tres premisas fundamentales:

- La selección de un **talento en ingeniería excepcional**. Un pequeño núcleo de expertos elegidos, capaz de afrontar problemas complejos y transdisciplinarios con gran autonomía y que se complementan a demanda con apoyos externos en áreas específicas que así lo requieran.
- Una ágil toma de **decisiones técnicas** orientada a buscar el mejor producto posible para responder a las **necesidades operativas**, que dispone de financiación estable y suficiente y a la que se **supedita** una gestión administrativa dinámica de los recursos, con la mínima burocracia imprescindible.
- Un **ciclo integrado** de diseño, prototipado y ensayos muy flexible, que permitía identificar problemas con agilidad y realizar rápidas iteraciones sobre éstos, con un adecuado equilibrio entre las actividades de diseño y la documentación que debe acompañarlas. El talento y experiencia de sus ingenieros era la mejor garantía.

Gracias a estos preceptos, Kelly Johnson y otros 23 ingenieros fueron capaces en 1945 de desarrollar en solo 143 días el XP-80, el primer prototipo de avión a reacción norteamericano, e inauguraron una nueva era en el desarrollo de la aviación.

Los cinco pilares establecidos por Bush en el marco del Modelo Lineal de Innovación, y las políticas que le acompañaron, supusieron un salto tanto cualitativo como cuantitativo en la producción científico-técnica de unos Estados Unidos que en 1959 destinaba a la investigación el 7% del presupuesto Federal, con una aportación gubernamental próxima al 60% de los recursos de I+D nacionales, que eran complementados por una fuerte contribución industrial. Ese mismo año Norteamérica contaba con 1.000.000 de ingenieros y científicos, con un crecimiento anual de casi un 7%, 300.000 de los cuales trabajaban en áreas de investigación y desarrollo, complementados con casi 900.000 técnicos y auxiliares so-

bre los que se asienta el **liderazgo tecnológico norteamericano** de la época (Gómez Ayau 1959)

Un liderazgo basado en la concentración de un **talento excelente**, propio e importado, trabajando y aprendiendo en **ecosistemas creadores** variados y dinámicos, que colaboran entre sí para generar tecnología y aplicarla a productos industrializables.

Uno de los máximos exponentes de este *círculo virtuoso* es el famoso **Silicon Valley**, situado en la bahía de San Francisco, California, y cuna de las empresas más innovadoras. Allí nacieron compañías tan emblemáticas como Hewlett & Packard (1939), Intel (1968), AMD (1989), Apple (1976), Oracle (1977), Cisco (1984) o Google (1996), fundadas en su mayor parte por ingenieros de las prestigiosas universidades de la zona, encabezadas por Stanford.

El origen del *Silicon Valley* como cuna de emprendedores se remonta a 1951, cuando el entonces Director de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Stanford, Frank Terman, crea el Parque Industrial de esa Universidad, para atraer grandes empresas tecnológicas e incentivar el emprendimiento de sus estudiantes, ofreciéndoles financiación y espacios de trabajo a muy bajo coste.

Los terrenos propiedad de Stanford tenían una ubicación privilegiada, próxima no solo a la propia Universidad, sino al imponente Centro de desarrollo de NASA-Ames y a escasa distancia otras prestigiosas universidades como Berkeley y grandes laboratorios nacionales como Livermore. Muy pronto, grandes compañías como Hewlett-Packard, General Electric, o Lockheed Corp. se trasladaron al Valle y cientos de ingenieros iniciaron sus nuevas aventuras como emprendedores con una filosofía común muy similar a *Skunk Works*, acuñando el célebre lema: *move fast and break things*.

Una ingente concentración del mejor talento, en un variado ecosistema de laboratorios, universidades y empresas de todos los tamaños, que interactuaban entre sí ágilmente para liderar la innovación tecnológica.

5.2. Europa y España

Durante este periodo **Europa** inicia una intensa recuperación económica y social, tras la devastación provocada por las dos Grandes Guerras, que habían supuesto la destrucción de una parte importante de su tejido industrial. Pese a este cataclismo, Europa aún con-

taba con el **talento y conocimiento** de sus científicos e ingenieros, que continuaban siendo los más brillantes del mundo. En este marco, se inicia un periodo de gran permeabilidad y **cooperación técnico-científica** entre los países europeos y los Estados Unidos, con iniciativas como el Programa *Fulbright*, establecido en 1946, que estimulaba la inmersión de científicos e ingenieros europeos en Norteamérica. La cooperación en el marco de la Defensa, principalmente a través de la Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN, 1949), aporta una fuerte componente de desarrollo científico-técnico, siguiendo la Estrategia del **Primer Offset tecnológico**.

Mientras el talento de Europa fortaleció la tecnificación de los Estados Unidos, el poderío industrial y económico de éstos ayudó a iniciar la reconstrucción industrial europea, a través de su *European Recovery Program*.

A partir de entonces los principales países europeos realizan un importante esfuerzo inversor en ciencia y tecnología, inicialmente apoyado por Norteamérica dentro de su programa de recuperación. Alemania, Reino Unido y Holanda presentan en los años 60 cifras relativas de esfuerzo económico inversor en ciencia y tecnología y en cantidad de ingenieros, muy similares a las de los Estados Unidos, con algunos retrasos reseñables de Francia e Italia. Todo este esfuerzo europeo se adapta también al **Modelo Lineal de Innovación**, que acaba por imponerse en todo Occidente.

Europa está plenamente recuperada en los años 70 y continúa con su política de apoyo estratégico a la Ciencia y la Tecnología, que la coloca como un actor principal en la producción científica y técnica de esas décadas, en competencia con los Estados Unidos.

En este periodo la cooperación europea en esta materia comienza a fortalecerse decididamente tanto en el ámbito civil, con el establecimiento del *Centre European pour la Recherche Nuclear* (CERN, 1954) o la *European Space Agency* (ESA, 1975), como en el militar, con el desarrollo de grandes programas de armamento, con una innegable componente de apoyo a la innovación, donde destaca el programa Eurofigter (1983).

El proceso de convergencia europea alcanza también a la Política de Ciencia y Tecnología, con la reforma del Tratado de la Unión de 1987, que la incluye como uno de sus pilares fundamentales, el desarrollo de los distintos Programas Marco que comienzan en 1985 y

la creación de la *European Research Coordination Agency* (EUREKA).

Todas estas políticas e iniciativas coordinadas hacen posible que los países europeos ocupen los primeros puestos en los rankings de impacto científico (SCIMAGO 2023) e innovación (GII 2023)

En cuanto a España, debido al **aislacionismo** internacional impuesto tras la Guerra Civil, nuestra participación en el proceso de recuperación europea se retrasa casi dos décadas, iniciándose tras los Pactos de Madrid de 1953 con los Estados Unidos que permiten una limitada transferencia de tecnología y la apertura de algunos canales de conocimiento a través de su *Military Assistance Training Program* y el *Technical Exchange Program* (Delgado, 2021).

España alcanza en los años 50 un escaso 2% de gasto agregado del Estado en Ciencia y Tecnología, muy inferior a la media europea, y con una aportación industrial de solo el 13%, aunque realiza un esfuerzo importante en aumentar el número y la calidad de sus ingenieros. Una de las principales herramientas para conseguirlo fue la Ley de 20 de julio 1957, sobre ordenación de las Enseñanzas Técnicas, diseñada por **Gregorio Millán**, ilustre Ingeniero Aeronáutico militar y profesor de la Escuela de Ingeniería Aeronáutica.

Esta Ley busca potenciar la capacidad de ingeniería e innovación españolas, reformando las Escuelas Especiales que, con un pasado glorioso, habían perdido **calidad** en sus enseñanzas y **prestigio** entre sus profesores y alumnos. Para ello crea o refunda a muchas de las **escuelas de ingeniería** actuales (como la de Aeronáuticos, en ese momento una escuela militar), aumenta la retribución y consideración del profesorado, incrementa la formación práctica, dota los laboratorios necesarios en las Escuelas, crea el doctorado técnico y establece un riguroso proceso de selección del alumnado.

De forma paralela, se fundan institutos de investigación gubernamentales o se reforman los existentes, que son especialmente potenciados tras el apoyo norteamericano, como el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (creado en 1939 y reformado en 1942), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA, 1942) y la Junta de Energía Nuclear (1951); y se favorece la participación de profesores y alumnos universitarios en estas instituciones, que crecen decididamente durante los años 60 y 70. (Gómez Ayau 1959).

Los años 80 y 90 suponen para España su incorporación definitiva al Occidente contemporáneo y el desarrollo de una **política de ciencia y tecnología actualizadas**. Hay que destacar la Ley 13/86 de

Fomento y Coordinación de la Investigación Científica y Técnica o Ley de la Ciencia, que establece la nueva organización del Estado en esta materia y configura un nuevo Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación, que tiene en cuenta el papel de las Comunidades Autónomas y nuestra pertenencia a la Unión Europea, crea organismos colegiados y Agencias Estatales que lo articulan, y planifica las políticas aplicables a través del Plan Nacional (posteriormente Estatal) de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, con una vigencia esperada de 4 años.

Estas actuaciones en su conjunto suponen un **salto tanto cualitativo como cuantitativo** de las capacidades españolas en Investigación y Desarrollo, que multiplican su tamaño por 6 en sólo 20 años y colocan a España entre las **12 potencias mundiales en producción científica** (SCIMAGO 2023) aunque con una posición mucho menos favorable en el ámbito de la innovación, donde España se ubica alrededor de la posición 30 del Mundo y 17 de Europa (GII 2023, EIS 2023)

5.3. El final de la fase de innovación y el comienzo de la de modernización

El final de los 80 marcó el triunfo del modelo socio-político norteamericano, seguido muy de cerca por sus aliados Occidentales, especialmente Europa. La caída del Muro de Berlín en 1989 es uno de sus símbolos principales.

Este liderazgo es también muy reseñable en el ámbito científico-técnico, en cuyo marco fueron creadas las nuevas tecnologías que supusieron el gran salto del Siglo XX: nuevos materiales, fuentes de energía, medios de transporte, productos químicos, comunicaciones, alimentos y tantos otros avances de los que hoy disfrutan nuestras sociedades.

Entre todas ellas destacaremos el desarrollo de la **microelectrónica** y las tecnologías **digitales** que la acompañaron, que aumentaron exponencialmente nuestras posibilidades de cálculo, control y automatización, sentando las bases de la Revolución Cibernética. Hoy las denominamos Tecnologías Clave Habilitadoras¹ por su carácter **convergente**: su aplicación **transversal** a casi todos los desarrollos actuales.

¹ *Key Enabling Technologies* en Europa (CE 2015); *Critical and Emerging Technologies* en Estados Unidos (NSTC 2024) o *Critical Technologies* en Reino Unido (STF 2023)

Una transversalidad que ya es conocida por las ciencias básicas del desarrollo Ilustrado, como las matemáticas, la mecánica newtoniana o la termodinámica, y que deben ser extendidas y adoptadas de forma análoga por nuestros ingenieros de hoy en día.

Pero esta fase de transición da ciertas muestras de cansancio del modelo de desarrollo tecnológico que nos ha llevado hasta aquí, con tres síntomas principales:

- **El aplanamiento de la inversión estatal en ciencia y tecnología.** La reducción de amenazas reduce el estímulo de los gobiernos a invertir en I+D, afectando especialmente a la investigación básica y aplicada, en la que la financiación gubernamental es esencial, y no se ve compensado por el importante incremento de la inversión industrial en innovación, que busca la generación de nuevos productos a partir de las tecnologías existentes (OECD 2021), (NSF 2008). Este menor impulso gubernamental, afecta también a laboratorios y universidades, implicando una pérdida en la captación de talento en estas instituciones en beneficio de la industria, especialmente en los ingenieros.
- **La reducción de la investigación disruptiva o con impacto.** Pese a que durante las últimas décadas se produce un aumento en la cantidad de publicaciones de artículos científico – técnicos, hay evidencias de una reducción en el impacto de esta gigantesca producción en la generación de avances disruptivos (Park 2023). El aumento de la producción científica parece deberse tanto a la entrada de nuevos actores internacionales, especialmente China, como a la aplicación sistemática de los principios de medida de la calidad en investigación en universidades y laboratorios (Nagler 2021).
- **El aumento exponencial de la complejidad en la gestión de los grandes proyectos tecnológicos.** La complejidad intrínseca de los proyectos de tecnología no deja de crecer, tanto por la variedad como la originalidad de las tecnologías empleadas, aumentando el número y las especialidades de los ingenieros que intervienen en ellos y que necesitan una adecuada coordinación. Simultáneamente, los ingenieros responsables de su dirección técnica tienen serias dificultades para incorporar a su conocimiento **transdisciplinar** clásico las nuevas tecnologías transversales (Johnson 1997).

Estas dificultades hacen necesario desarrollar métodos sistemáticos de gestión de la ingeniería que, basados en el *Taylorismo* de finales del Siglo XIX (Taylor 1903), evolucionan rápidamente en el marco de los gigantescos proyectos tecnológicos militares de mediados del XX, principalmente el Proyecto Manhattan, el desarrollo de los misiles Polaris y las distintas iniciativas de la carrera espacial (Johnson 2013).

Nacen así la **Ingeniería de Sistemas** y la **Gestión de Proyectos** modernos. La primera coordina técnicamente las distintas disciplinas que intervienen en un proyecto con una aproximación **interdisciplinar** e independiente de cada tecnología, a través de la definición y descomposición de los requisitos y su verificación y validación (INCOSE 2024). La Gestión de Proyectos se centra en la coordinación no técnica de las actividades necesarias para llevar a término estos proyectos de ingeniería que gestiona la ejecución, los recursos y los riesgos de los citados proyectos, en algunos casos es considerada la parte no técnica de la Ingeniería de Sistemas (PMI 2024)

Estas metodologías haciendo necesario contar con estructuras de gestión cada vez más relevantes en las compañías tecnológicas, que van ganando relevancia, aumentando su prestigio y salarios sobre las estructuras técnicas, y que captan de forma temprana una parte importante de los mejores talentos, dominando la mayor parte de las decisiones estratégicas (Bolzan 2022).

Algunos reputados analistas de ciencia y tecnología identifican estos factores con el **agotamiento** del clásico Modelo Lineal de Innovación. Un modelo que no es útil en este nuevo escenario, porque incentiva las fronteras entre investigación básica, aplicada, desarrollo e innovación, que se acentúan con el tiempo y reducen su eficacia, proponiendo nuevos modelos que propicien una **mayor integración entre ciencia y tecnología**, como los Modelos Cíclicos de Innovación (Narayanamurti 2016).

En nuestra opinión, el fallo del Modelo Lineal para conseguir una adecuada continuidad desde la investigación a la innovación, no se debe a su falta de aplicabilidad al momento tecnológico actual sino a la deficiente aplicación de una parte importante de sus principios originales, que podemos agrupar en dos aspectos:

- Un importante **déficit de la capacidad técnica transdisciplinar de la ingeniería**, que debe dirigir técnicamente a los ingenieros especialistas y complementarse con la ingeniería de sistemas, debido a dos razones principales: la lenta adaptación a las nuevas tecnologías clave de los ingenieros no especializados en ellas que lleva a una excesiva especialización de la ingeniería en todos los niveles y la falta de motivación de los nuevos ingenieros para enfocarse en sus carrera técnica frente a la de gestión.
- La **pérdida de capacidad de los ecosistemas creadores** debido principalmente a la reducción en la eficacia en la interconexión entre la universidad, los grandes laboratorios y la industria en dos aspectos: el flujo de personal y actividades entre ellos y el déficit de macro proyectos gubernamentales concretos a largo plazo, coordinados desde las agencias estatales.

5.4. Las nuevas potencias tecnológicas. El tiempo de Asia

Los gigantes asiáticos tecnológicos participan en esta fase de adopción de la Revolución Cibernética, replicando el patrón seguido por las todas las potencias tecnológicas emergentes que se ha descrito hasta ahora:

- Un comienzo basado en la importación de tecnologías aplicadas sistemáticamente a la producción.
- El desarrollo de una eficaz innovación propia impulsada por esa industria.
- La consolidación final de sus capacidades de investigación, desarrollo e innovación gracias a la implantación de los mecanismos que la hacen eficaz: un **talento excelente** y **ecosistemas creadores eficaces**, construidos en base a **estrategias estatales de largo plazo**.

Estudiaremos en detalle el caso de China, por su especial relevancia para entender la realidad del momento, y el futuro próximo.

China comienza su despegue industrial tras un periodo de acercamiento a las potencias occidentales en los años 70, marcado por el **Comunicado de Shanghai de 1972**, en el que el Presidente Nixon la reconoce como un aliado. Hasta entonces, China ha cultivado su desarrollo tecnológico en base a su vinculación a la Unión Soviética, que se

malogra debido a diferencias tanto ideológicas como de intereses y que terminan por explotar en la crisis fronteriza entre ambos países de 1969.

A partir de este momento, la política tecnológica china va modificándose según progresan sus relaciones diplomáticas y comerciales con Occidente, que favorecen a China en el marco de la Guerra Fría, donde destacaremos dos hitos:

- **El *Taiwan Relations Act* (1979).** Con el que China recibe un importante paquete de cooperación, el inicio de transferencia tecnológica industrial, la apertura a la inversión de compañías norteamericanas y el acceso de estudiantes y profesores chinos a las universidades de Estados Unidos
- **El acuerdo de cooperación nuclear chino-norteamericano (1985).** En cuyo marco se reforzaron las relaciones industriales y tecnológicas entre ambos países, incluyendo la autorización del presidente Reagan en 1984 para que China pudiera acceder a tecnología militar norteamericana.

Todas estas medidas permiten un despegue de la industria manufacturera China, bajo licencia de compañías occidentales y un fuerte incremento de su comercio exterior, que culmina con la admisión de China en la Organización Mundial del Comercio en 2001 y su imponente crecimiento económico posterior (Burke 2020).

Entre todas las medidas de potenciación de su capacidad de desarrollo industrial, China presta especial atención su sistema de educación en ingeniería, que se reforma íntegramente en 1980 con su Programa Nacional de Estudios de Ingeniería en Universidades y Escuelas Técnicas, que pone su foco inicial en la formación de ingenieros de cuatro años, análogos a los *Bachelor* norteamericanos, para alimentar su naciente industria manufacturera.

En 1985 China lanza su nueva estrategia de desarrollo tecnológico, reformando su sistema de gestión de ciencia y tecnología, creando la Fundación Nacional de las Ciencias de China (1986), y sentando las bases de sus avances posteriores, generalmente sincronizados con los planes quinquenales del país.

En ese marco, se inician las importantes reformas de los años 90, que suponen el verdadero salto en su estrategia de desarrollo tecnológico, con tres hechos relevantes:

- La fundación de la **Academia China de Ingeniería** (1994). Que ocupa el más alto nivel del país como institución académica y consultiva en la materia.
- El desarrollo de los **parques industriales y tecnológicos**, ecosistemas que combinan universidades técnicas, laboratorios nacionales e industria para impulsar el I+D nacional, como el *Shenzhen High Tech Industrial Park* (1996), considerado el *Silicon Valley* chino.
- La reforma de la **educación en ingeniería** (1998), en la que se implantan los programas de Master y Doctorado y se establecen los programas *211* y *985*, que seleccionan determinadas universidades que se potencian para crear **talento excelente** en ingeniería.
- El inicio de la **internacionalización** de la educación superior, con la que estudiantes chinos son enviados a estudiar al exterior, y que consigue aumentar desde menos de 3.000 estudiantes fuera de China en 1995, a más de medio millón en 2015 (Tsegay 2019).

Los programas 211 y 985 no consiguen los avances esperados en I+D y en 2010 se desarrolla un nuevo **Plan de Excelencia en Ingeniería**, con el que se implanta un Plan Nacional para reformar su sistema de enseñanzas técnicas hasta 2020, basado en muchos aspectos sobre el modelo Alemán en su orientación práctica y colaboración con la industria, y en el que se prioriza la introducción de nuevas metodologías de enseñanza en ingeniería: CDIO: *Conceive, Design, implement and Operate*; STEM: *Science, Technology, Engineering and Mathematics* y PBL: *Project Based Learning* (Dong 2017, Xie 2019)

Hoy China es la segunda potencia económica mundial y está desarrollando rápidamente sus capacidades de Investigación y Desarrollo, ocupando la primera posición en la producción total de publicaciones del índice SCIMAGO, con más de 1.000.000 de publicaciones, habiendo triplicando su producción desde 2010, y superando ampliamente las 700.000 de los Estados Unidos, aunque con métricas de calidad aún muy inferiores². China ocupa el primer lugar en el *World Intellectual Property Index* por número de patentes solicitadas, quintuplicando su producción de 2010 y casi triplicando la de Estados Unidos.

² Índice H de 1300 frente a 3000 de Estados Unidos.

Aunque aún aparece en el décimo segundo lugar en el *Global Innovation Index*, ha conseguido escalar desde el cuadragésimo tercero que ocupaba en 2010 y el hecho cierto es que China es ya la nación líder en determinadas tecnologías críticas, como la nanotecnología (Shelton 2010), en una evolución que parece imparable.

6. RETOS Y OPORTUNIDADES EN UNA FASE DE MODERNIZACION

Llegados a este punto parece demostrado que el éxito de la capacidad innovadora futura de un país depende de su capacidad de transformarse socialmente y prepararse para un futuro siempre incierto en el que es imposible identificar qué tecnologías emergerán y serán dominantes entre todas las presentes.

Tres son los pilares que la historia ha demostrado esenciales para impulsar ese proceso adaptativo: la creación y retención del **nuevo talento**, la generación de **ecosistemas creadores** donde éste opere y finalmente las políticas y **estrategias estatales** que favorezcan y enmarquen el resto de procesos transformadores.

España ha progresado notablemente durante los últimos años en su proceso de modernización y en el desarrollo de una importante capacidad de investigación, desarrollo e innovación. La conciencia de la importancia de este desarrollo tecnológico de todos los estamentos de la sociedad y el impulso de las políticas estatales en las últimas décadas, han sido determinantes.

Es el momento de describir la situación presente de este triángulo innovador en España, con el optimismo que dan las numerosas políticas y acciones en curso desde hace años y que nos han llevado hasta un país moderno y avanzado, pero identificando algunas áreas con claro potencial de mejora.

6.1. El nuevo talento. La nueva ingeniería

Hasta ahora se ha descrito la evolución tecnológica que despegó en la Revolución Industrial y en la que la ingeniería ha jugado un pa-

pel central como la profesión que, con una rigurosa formación **científico-técnica**, es capaz de aplicar sistemáticamente esos conocimientos para **crear** los nuevos productos que la sociedad precise.

La necesidad de ingenieros no hace sino crecer y sólo en España se estima que se requerirán más de 200.000 nuevos ingenieros en la nueva década.

Según los datos del Observatorio de la Ingeniería de España nuestro país cuenta hoy con una importante fuerza de ingeniería de más de 750.000 profesionales, 15,7 ingenieros por cada 1.000 habitantes, ligeramente por encima de Francia (14,4) y por debajo de Alemania (20,4). De ellos, un tercio tienen nivel Master y un 6% son doctores, en un balance análogo al de nuestro entorno.

Una profesión sólida que está contribuyendo al progreso de España y a que nuestro país haya avanzado tremendamente en los últimos años. Pero una profesión que también se enfrenta a algunas incertidumbres importantes que debe resolver:

- **La necesaria modernización de las habilidades y conocimientos de los ingenieros.** La revolución digital nos ha traído nuevas tecnologías clave, las *Key Enabling Technologies* (KET) antes mencionadas, transversales a todos los nuevos desarrollos y por ello convergentes, y que deben ser incorporados al acervo de nuestros ingenieros en forma de conocimientos troncales, como lo fueron el cálculo, el álgebra y la física newtoniana para los ingenieros de la Ilustración, por supuesto sin abandonar éstas.

El verdadero impulso tecnológico innovador se producirá cuando los ingenieros seamos capaces de aplicar estas KET con una aproximación **transdisciplinar** y no solo interdisciplinar, que permita **coordinar técnicamente** los especialistas en distintas tecnologías específicas. La Ingeniería de Sistemas, herramienta imprescindible para la gestión técnica de los cada vez más complejos proyectos, debe ser complementada con **aproximaciones integrales de los líderes técnicos** de los proyectos, que les permita alcanzar el máximo potencial tecnológico disponible (Butter 2014).

Y es precisamente esa *transdisciplinariedad*, basada en un profundo conocimiento de las ciencias y tecnologías convergentes del momento, la esencia de la ingeniería desde sus orígenes ilustrados y la garantía de la mejor innovación.

Una adecuada enseñanza superior inicial y recurrente, adaptada a estas tecnologías, así como oportunidades constantes para el acceso y el ejercicio práctico continuo de estos conocimientos en la universidad, los laboratorios y la industria, serán la garantía del éxito.

- **El adecuado balance entre técnica y gestión de la ingeniería.** El aumento de la complejidad de los proyectos ha conducido a la potenciación de las carreras de gestión en algunas compañías tecnológicas o industriales.

Con mejores salarios, mayor prestigio y más perspectivas de progreso, una parte importante de los mejores talentos tecnológicos abandonan su carrera técnica y se vuelcan en la gestión de los programas, en muchas ocasiones sin un adecuado conocimiento de los fundamentos de las tecnologías clave.

Simultáneamente, algunos ámbitos de la enseñanza de formación superior en ingeniería potencian los programas de administración o gestión empresarial en detrimento de los tecnológicos, especialmente los **transdisciplinares**, tan necesarios para garantizar un adecuado ciclo innovador.

Es por tanto necesario establecer un adecuado **equilibrio** entre las actividades y las carreras de ingeniería de gestión, ingeniería de sistemas, ingeniería de desarrollo e ingeniería de producto, que permita disponer de los mejores talentos en cada una de ellas. En particular, es imprescindible garantizar un adecuado conocimiento de las tecnologías convergentes en todos los niveles de ingeniería de las compañías, reforzando especialmente además el papel de la transdisciplinariedad en la dirección técnica de los proyectos innovadores.

- **La aparente falta de atractivo de los estudios de ingeniería en España**, especialmente reseñable en mujeres, que ocupan menos del 30% de las matrículas en ingeniería, siendo mayoritarias en el conjunto de carreras universitarias, con un 54% de matriculadas.

Los estudiantes de ingeniería alcanzaron su máximo en 2002 con 360.000 matriculados. Desde entonces el número de alumnos ha descendido año tras año hasta alcanzar 219.000 en 2022, lo que contrasta con un aumento constante del total de estudiantes universitarios españoles desde 2006. Así, hoy las matriculas de inge-

niería son solo el 12,7% del total, casi la mitad de cuota que en 2002. A esta reducción del número de matriculados se une una tasa de abandono de las titulaciones en ingeniería en torno al 50%. Parte de esta tremenda caída es compensada por el aumento de matriculaciones en ciencias y matemáticas, hasta completar un 20% de carreras STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), pero aún muy por debajo del 25,8% de la media de la Unión Europea (INGITE 2023, SIIU 2023)

- Las ingenierías han perdido una gran parte de su atractivo en España, lo que nos hacen perder competitividad frente al resto de países de nuestro entorno, que aumentan sus egresados, e impedirán cubrir la demanda de estas titulaciones cuyo crecimiento se estima que cuadruplica al del resto de titulaciones. Aunque con un incremento moderado de los estudiantes extranjeros en España, nuestra captación de estudiantes foráneos en estas áreas es muy inferior al de los países de nuestro entorno.

La pérdida de prestigio de la profesión, la asociación negativa entre gran esfuerzo (con un 50% de abandonos) y escaso beneficio (una prima de salario del 50% sobre el salario medio, pero muchas más horas de trabajo no remunerado) o la falta de cultura tecnológica en la enseñanza primaria o secundaria, son algunas de las razones, que deben ser analizadas en profundidad y acompañadas de estrategias que nos permitan disponer de los profesionales necesarios.

- **Las distintas perspectivas sobre el papel de los Grados y Másteres** en ingeniería tras el Plan Bolonia y la creación del Espacio Europeo de Educación Superior, cuyo desarrollo e implantación desde 2010 ha planteado numerosas dudas y diferencias de perspectiva sobre el acceso de los ingenieros al ejercicio de la profesión y sus atribuciones.

Estas dudas crean incertidumbres y fricciones entre los propios ingenieros, los colegios, las asociaciones profesionales y las instituciones de enseñanza superior, y pueden reducir la atención a otros problemas fundamentales que afectan a la ingeniería.

Es por tanto imprescindible resolver estas diferencias y diseñar sin complejos un modelo de ingeniería que se centre realmente en el proceso de transformación tecnológica y social en el que nos

encontramos inmersos, buscando la eficacia y la excelencia de la ingeniería, con un amplio consenso entre todas las instituciones y organismos involucrados.

6.2. Ecosistemas creadores

Todos los modelos de investigación y desarrollo analizados se han mostrado eficientes cuando son capaces de concentrar el suficiente talento excelente, propio e importado, en ecosistemas variados y dinámicos, que colaboran entre sí en las diferentes etapas de la investigación, desarrollo e innovación y fomentan su interacción a largo plazo, con una perspectiva finalista: crear nueva tecnología e incorporarla a productos sofisticados.

Tres son los grupos de instituciones que conforman los ecosistemas innovadores que han triunfado sistemáticamente hasta nuestros días:

- **Las universidades técnicas.** Principales captadores y creadores de talento propio, esenciales en la captación del talento foráneo y esenciales en la investigación básica y aplicada.

Las universidades técnicas son el **núcleo central** de los grandes ecosistemas de innovación presentados, sirviendo como nexo de unión con los grandes laboratorios estatales y los centros de innovación empresarial, por lo que su potenciación en busca de la excelencia transdisciplinar y aplicada son una de las claves del éxito.

Para ello, se requiere una constante adaptación del contenido formativo a las tecnologías convergentes del momento, orientando siempre su modelo formativo a la aplicación práctica de estas tecnologías, con el empleo de métodos de enseñanza modernos como, por ejemplo: CDIO, *Conceive, Design, Implement and Operate* o PBL: *Project Based Learning*.

Una enseñanza que debe acompañar a los ingenieros durante toda su vida profesional proporcionándoles una **formación continua** imprescindible en un mundo de tecnologías cambiantes, adaptando sus conocimientos al estado del arte y las posiciones que ocupen, en coordinación directa con la industria.

Es necesario favorecer la participación de profesores y estudiantes universitarios en el desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo, y en los grandes laboratorios nacionales, que

deben actuar como centros de intercambio tecnológico y co-creación, a través del desarrollo de programas de largo plazo.

Es imprescindible mejorar la **motivación del profesorado** en ingeniería, proporcionándole además tiempo suficiente para que complemente su docencia con la obligada participación en iniciativas de investigación, desarrollo o innovación, estimulando a su vez las **vocaciones** de jóvenes ingenieros para la enseñanza, tremendamente escasas en estos días.

Se debe revisar la **metodología de evaluación** del profesorado en ingeniería en la que actualmente predominan los méritos académicos tradicionales en investigación científica, para tener en consideración los trabajos en laboratorios e industria, que en muchos casos no terminan en publicaciones o patentes. Es importante valorar de forma muy relevante el necesario paso de los profesores de ingeniería en la industria o grandes laboratorios tecnológicos, de forma análoga a modelos como el alemán (Liu 2024)

Se debe **facilitar** finalmente la participación de ingenieros procedentes de Industrias e instituciones públicas como docentes Universitarios en todos los niveles, de forma que sea posible potenciar el carácter aplicado y la integración multinivel de todos los estamentos de la ingeniería.

Se deben continuar las estrategias de internacionalización, en las que continúe la potenciación de la captación de estudiantes extranjeros en todos los niveles de la Educación Superior, para complementar el talento nacional.

- **Grandes laboratorios estatales tecnológicos.** Estos grandes laboratorios son clave para el desarrollo de grandes proyectos de investigación, en coordinación directa con las Universidades con las que deben tener ágiles y flexibles mecanismos de intercambio de profesores, alumnos e investigadores.

Estos laboratorios deben alojar las instalaciones y capacidades más caras y difíciles de conseguir por las industrias, a través de políticas de inversión a largo plazo, donde el Estado garantice la financiación de esas grandes instalaciones, articulándola a través de programas a largo plazo, con objetivos concretos y finalistas.

Para que todos estos recursos humanos y materiales sea efectiva, es imprescindible mejorar la eficacia de estos laboratorios gubernamentales, estableciendo mecanismos **flexibles de gestión y**

contratación, tanto de personal como de recursos materiales, que permitan un desarrollo ágil de sus trabajos, respondiendo a los reducidos tiempos que la investigación, el desarrollo y la innovación de nuestros días requieren, y a las necesidades de la industria.

- **Centros de innovación industriales o mixtos.** Para completar el ecosistema de organismos creadores de innovación, es necesario incorporar centros de innovación industriales, agrupados o no en Parques Tecnológicos, que interactúen de forma ágil y flexible con universidades y grandes laboratorios.

Es recomendable que los organismos industriales que participen en estos ecosistemas sigan los principios de *Skunk Works*, con estructuras flexibles, muy autónomas, de menor tamaño que las grandes empresas matriz y les permitan *romper las reglas* y realizar desarrollos rápidos y disruptivos al estilo del *Google X Lab* o el *Microsoft Research Lab*.

En muchos casos, como por ejemplo aquellas áreas innovadoras en el ámbito de la Defensa, estas organizaciones deben tener una estructura pública, con participación industrial, como lo fue el *Skunk Works* original (Bommer 2002).

6.3. Estrategias Nacionales

Como se ha demostrado a lo largo de esta disertación, solo la intervención de los estados ha sido capaz de impulsar el desarrollo tecnológico de los países a través de políticas gubernamentales a largo plazo, decididas, bien financiadas, estables en el tiempo y consensuadas con los actores más relevantes en este proceso: la industria, la academia y las asociaciones profesionales.

En este marco, España ha establecido durante los últimos años numerosas e importantes estrategias de ciencia, tecnología e innovación para impulsar este proceso de transformación, herederas de la Ley 13/86 de la Ciencia y su sucesora la Ley 14/2011 de la Ciencia y la Tecnología y alineadas con las Políticas Europeas en la materia, como la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología e Innovación – EECTI (2021-2027), la Estrategia Nacional de Ciencia Abierta (2023-2027) o las Directrices Generales de la Nueva Política Industrial Española 2030 y diversas estrategias sectoriales como la Estrategia Española de I+D+I en IA, Estrategia Española de Industria conectada 4.0 o la

Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa, derivada de la Estrategia de Seguridad Nacional.

España dispone además de un Sistema de Organismos Públicos de Investigación (OPIs), una amplia red de Infraestructuras Científicas y Técnicas Singulares y un sistema de Consorcios, Fundaciones, Centros y Unidades de Excelencia, eminentemente orientadas a la investigación científica.

Este conjunto de políticas y estrategias han conseguido que nuestro país avance de forma decidida posiciones en el ámbito de la producción científica en el que ocupamos un meritorio lugar en producción total y un decimosegundo en relación al impacto de las publicaciones de nuestros científicos (SCIMAGO 2023).

Este importante avance en el ámbito científico no se ve aún reflejado en nuestras capacidades de innovación tecnológica, pese a los esfuerzos transformadores en algunas áreas especialmente importantes, como la digitalización, tan relevante en la fase de la revolución digital en la que nos encontramos. Gracias a la aplicación nacional de la **Estrategia Digital de la Unión Europea** (2020-2030), España está muy por encima de la media europea en sus infraestructuras aunque aún con mucho trabajo por delante, ocupando el puesto trigésimo primero en el *World Digital Competitiveness Ranking* (WCC 2024), que lidera los Estados Unidos en el mundo y Holanda y Dinamarca en Europa, pero por delante de países tan relevantes como Japón o Italia.

Nuestro país dispone de más de 50 parques tecnológicos distribuidos por toda nuestra geografía, y una importante capacidad industrial en los sectores de automoción, agroalimentario, química, textil, bienes de equipo o tecnologías de la información. Las empresas españolas son además especialmente competitivas en el ámbito internacional en sectores tan disputados como la construcción o el aeroespacial.

Pese a ello, nuestro sistema de innovación sitúa a España en el vigésimo noveno puesto del *Global Innovation Index* (GII 2023), dominado por los Estados Unidos y los países europeos más innovadores; con una producción de patentes tremendamente reducido según el *World Intellectual Property Index* (WIPO 2023) y la décimo séptima posición en el *European Innovation Scoreboard*, con un índice de eficacia del 89% con respecto a la media europea (EC 2023).

España necesita **mejorar de forma decidida en las áreas de la innovación**, disponiendo de una capacidad científica sólida y relevante.

Una innovación en la que el poder transformador y aplicado de **la ingeniería, es esencial** y que requiere por tanto de una **estrategia específica** en la materia que comience con la **formación universitaria en ingeniería**, que impulse la transformación en el talento técnico, los ecosistemas creadores y el papel del ingeniero en la industria.

Una transformación en la que el papel de la Defensa es fundamental como tractor del proceso debido a tres razones principales:

- La elevada **intensidad tecnológica** inherente a la Defensa en general y ámbitos como el Aeroespacial en particular. Una intensidad que es además una de las bases de la Estrategia de Seguridad y Defensa tanto española como aliada, en base al ya mencionado concepto de *offset* tecnológico.
- La disponibilidad de **recursos** materiales y humanos de carácter tecnológico que, coordinados con una potente industria de la Defensa, pueden actuar como impulsores o elementos coadyuvantes en el triángulo **talento – ecosistemas creadores – industria**.
- La existencia de mecanismos y regulación que permiten la aplicación **flexible** de los principios anteriores, que pueden ser puestos en práctica y **experimentados** en entornos reales, nacionales y multinacionales de primer nivel, que sirvan a su vez para la proyección internacional de la calidad innovadora española.

Grandes laboratorios como el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, o Skunk Works innovadores como el Centro Logístico de Armamento y Experimentación del Ejército del Aire y programas a medio y largo plazo como el *Next Generation Weapon System* pueden ser claves como impulsores de la innovación.

Una transformación en la que el papel de la Real Academia de Ingeniería debe ser relevante, como institución neutral, colectora de conocimiento y prestigio y con importantísimos lazos con instituciones homólogas de otros países que han liderado su transformación.

7. CONCLUSIONES

El papel de la ciencia y la tecnología es esencial para el desarrollo de las sociedades que evolucionan a través de sucesivas revoluciones productivas, destacando la Revolución Industrial que sentó las bases de nuestra sociedad moderna, y la Cibernético-Digital en la que nos encontramos inmersos.

El estudio temporal de estas revoluciones permite constatar que los ciclos tecnológicos se repiten siempre con un mismo patrón: innovación inicial en un país dominante, modernización o adopción de las tecnologías previamente desarrolladas por éste e innovación tecnológica final lideradas por las naciones que mejor se han adaptado en el periodo anterior.

Nos encontramos en la fase de adopción de la revolución Cibernético-Digital, en la que la transformación de las capacidades de investigación, desarrollo e innovación de los países se centran en aquellos mecanismos que las hacen efectivas: un **talento excelente** y **ecosistemas creadores eficaces**, construidos en base a **estrategias estatales de largo plazo**.

España está realizando importantes esfuerzos en todas estas áreas, muchos de ellos coordinados con la Unión Europea, dispone de **políticas** y **estrategias** de ciencia, tecnología e innovación muy relevantes con las que está haciendo un importante esfuerzo transformador. Estas estrategias están dando relevantes frutos en nuestra producción científica y desarrollo industrial, pero aún necesitan mejoras relevantes en el ámbito de la **innovación**.

En este marco, el poder transformador, transdisciplinar y aplicado de **la ingeniería**, es esencial para el impulso innovador de España. Una

ingeniería que requiere la adaptación de la profesión a los nuevos tiempos y tecnologías, que mejore su atractivo tanto para nacionales como para extranjeros y que potencie los ecosistemas que crean y mejoran su talento.

Una transformación en la que el papel de las universidades es esencial, por ser la principal fuente de captación y creación de talento, tanto propio como foráneo, y que deben constituir el núcleo que articule el intercambio de conocimientos entre ecosistemas, para potenciar su creatividad.

Una estrategia de ingeniería que la adapte a nuestros tiempos, liderada por el Estado y en la que intervengan Universidad, Industria y Colegios o Asociaciones Profesionales, y en la que el papel de esta **Real Academia de Ingeniería** debe ser relevante y aglutinador, como lo han sido instituciones análogas en iniciativas similares de países de nuestro entorno.

La coordinación de estas estrategias innovadoras y de ingeniería con el desarrollo de las políticas industriales y tecnológicas de la **Defensa** es esencial, debido a la elevada intensidad tecnológica inherente a y la interdependencia con las Estrategias de Seguridad de España y nuestros aliados.

8. REFERENCIAS

- (Bolzan 2022). Bolzan, L., Denicol, J. et al. Paul Blackwell, Herbert Kimura. The main project complexity factors and their interdependencies in defence projects *Project Leadership and Society* 3, 2022
- (Bommer 2002). Bommer, M., DeLaPorte, R. & Higgings, J. Project Management Skunkworks: Breaking the Rules. *Journal of Management in Engineering*. January 2002.
- (Bornmann 2021). Bornmann, L., Haunschild, R. & Mutz, R. Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases. *Humanities and Social Sciences Communications*. 8. 224, 2021
- (Broadberry 2008). Broadberry, S., Fremdling, R. & Solar, P. *European Industry, 1700 - 1870*. Groningen Growth and Development Centre, University of Groningen, GGDC Research Memorandum, 2008
- (Butter 2014). Butter, M., Fischer, N., et al. *Horizon 2020: Key Enabling Technologies (KETs), Booster for European Leadership in the Manufacturing Sector*, 2014
- (Crouzet 2003). Crouzet, F. The historiography of French economic growth in the nineteenth century. *The Economic History Review*, 56: 215-242, 2003
- (CRS 2020). Congressional Research Service. *Federally Funded Research and Development Centers (FFRDCs): Background and Issues for Congress Updated April 3, 2020*
- (Delgado 2021). Delgado, L., *Welcome to the Future! Science as a Tool for American Geopolitics in 1950s Spain*. *Science, Culture and National Identity in Francoist Spain, 1939-1959*. Editor Mairic o Janu e I Miret y Albert Presas I Puig, Palgrave MacMillan. 2021
- (Dong 2017). Dong, X. & Liu, X. *A Review of Engineering Education in China: History, Present and Future*. American Society for Engineering Education, ASEE International Forum, Paper #20820, 2027

- (EC 2015). Does the EU need more STEM graduates? Nov 2015. European Commission. Directorate General for Education and Culture. Unit B.1 – Higher Education, 2015
- (EEU 2022). Estadística de Estudiantes Universitarios (EEU). Sistema Integrado de Información Universitaria (SIIU). Curso 2022-23
- (EIS 2023). European Innovation Scoreboard 2023. European Commission. Directorate-General for Research and Innovation. Directorate G - Common Policy Centre. Junio 2023
- (EIS 2023). European Innovation Scoreboard (EIS). www.research-and-innovation.ec.europa.eu, 2023
- (Fayer 2017). Fayer, S., Lacey, A. & Watson, A. (2017). STEM Occupations: Past, Present, And Future. U.S. Bureau of Labor Statistics. Spotlight on Statistics. JANUARY 2017
- (Focacci 2022). Focacci, C. and Perez, C. The importance of education and training policies in supporting technological revolutions: A comparative and historical analysis of UK, US, Germany, and Sweden (1830–1970), *Technology in Society*, Volume 70, 2022
- (Gentile 2021). Gentile, G., Shurkin, M. et al. A History of the Third Offset, 2014-2018. RAND Corporation, 2021
- (Georgescu 2022). Iulia Georgescu, I. Bringing back the golden days of Bell Labs. *Nature Reviews, Physics*. Volume 4, 77, 2022
- (GII 2023). Global Innovation Index (GII). World Intellectual Property Organization. www.wipo.int, 2023
- (Godin 2005). Godin, B. The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework. *Science, Technology & Human Values*. 31. 631-667, 2005
- (Gómez 1959). Gómez, E. Investigación y Enseñanza en la Agricultura. IX Curso Ético Social sobre Productividad Agraria, 1959
- (González 2017). González, C. & Martínez J.P. La emigración española cualificada tras la crisis. Una comparación con la italiana, griega y portuguesa. *Migraciones* 43, 2017
- (Grinin 2007). Grinin, L. Production Revolutions and Periodization of History: A Comparative and Theoretic mathematical Approach. *Social Evolution and History*. 77, 2007
- (Grinin 2019). Grinin, L. & Grinin, A. IV. LOOKING FROM THE PAST INTO THE FUTURE 11 Technological Dimension of Big History and the Cybernetic Revolution, 2019

- (Hayashi 2019). Hayashi, Y. Japanese Science and Technology Basic Plan: A perspective of Policy Process. *Innovation and Development Policy* 1, 2019
- (Hunt 2008) Hunt, J. & Gauthier-Loiselle, M. How much does immigration boost innovation? Working Paper 14312. National Bureau of Economic Research, September 2008
- (INCOSE 2024). International Council on Systems Engineering www.incose.org, 2024
- (INGITE 2023). Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España. Análisis de los estudios universitarios en ingeniería Instituto de Graduados en Ingeniería e Ingenieros Técnicos de España, 2023
- (Jacobsen 2014). Jacobsen, A. Operation Paperclip: The Secret Intelligence Program to Bring Nazi Scientists to America. *Studies in Intelligence* Vol 58, No. 3. Extracts, September 2014.
- (Jaspers 1953). Jaspers, K. *The Origin and Goal of History* (M. Bullock, Trans.). New Haven, CT: Yale University Press, 1953
- (Johnson 1997). Johnson, S. Three Approaches to Big Technology: Operations Research, Systems Engineering and Project Management. *Technology and Culture*; Oct 1997; 38, 4
- (Johnson 2013). Johnson, S. Technical and Institutional factors in the emergence of project management. *International Journal of Project Management*. Volume 31, Issue 5, July 2013.
- (Jurek 2024). Jurek, D. Patents, innovation, and market entry. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 10, 2024
- (König 2016) König, W. Education and Social Standing: German Engineers, 1870-1930. «Quaderns d'història de l'enginyeria», 2016, vol. XV, p. 113-121.
- (Liu 2024). Lui, J., Balakishiyeva, I. et al. Exploring influential factors in Chinese engineering professors' industrial experience: A big data and CV analysis approach. *Heliyon* 10, 2024
- (Masayuki 2015). Masayuki, S. Time, Chronology, and Periodization in History, Editor(s): James D. Wright, *International Encyclopaedia of the Social & Behavioural Sciences* (Second Edition), Elsevier, 2015, pp. 409-414, 2015
- (Millán 1983). Millán, G. (1983). La Ingeniería Española en el siglo XX. «Un siglo de ingeniería española: Esteba Terradas». IAA 248
- (Mokyr 1994). Mokyr, J. Technological Change, 1700-1830. in Floud, R. and McCloskey, D. (eds.), *The Economic History of Britain Since 1700*, Second Edition, Volume 1: 1700-1860, Cambridge: Cambridge University Press, 12-43, 1994
- (Mowery 1994). Mowery, D. Science and Technology Policy in Interdependent Economies, *Springer Science & Business Media*, 31 ene 1994

- (Myers 2009). Myers, L. & Robe, J. College Rankings History, Criticism and Reform. Center for College Affordability and Productivity. A report from the Center for College Affordability and Productivity, March 2009
- (Narayanamurti 2016). Narayanamurti, V. & Odumosu, T. Cycles of Invention and Discovery: Rethinking the Endless Frontier. Harvard University Press, 2016
- (Naudé 2021). Naudé, W. & Nagler P. Institute of Labor Economics (IZA) Discussion Paper No. 14154 The Rise and Fall of German Innovation. Marzo 2021
- (NSF 2008). National Science Foundation (NSF). National Patterns of R&D resources, 1953-2008, 2008
- (NSTC 2024). Critical and Emerging Technologies List Update. A Report by the Fast Track Action Subcommittee on Critical and Emerging Technologies of the National Science and Technology Council (NSTC), February 2024
- (Nuvolari 2023). Nuvolari, A., Tortorici, G. & Vasta, M. British-French Technology Transfer from the Revolution to Louis Philippe (1791–1844): Evidence from Patent Data. *The Journal of Economic History*. 2023; 83 (3): 833-873, 2023
- (OECD 2021). OECD Main Science and Technology Indicators Highlights on R&D expenditure, Marzo 2021
- (OJE 2014). La emigración de los jóvenes españoles en el contexto de la crisis. Análisis y datos de un fenómeno difícil de cuantificar. Lorenzo Navarrete Moreno. Observatorio de la Juventud de España. 2014
- (Park 2023). Park, M., Leahey, E. & Funk, R.J. Papers and Patents are becoming less disruptive over time. *Nature* 613, 138-144, 2023
- (Perez 2019) Pérez, M., Wong, J. et al. Evolution of science, technology and innovation policies for sustainable development: The experiences of China, Japan, the Republic of Korea and Singapore. United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 2029.
- (Perez 2022). Perez, C. & Murray Leach, T. Technological Revolutions: Which ones, how many and why it matters: a Neo-Schumpeterian View. Historical Background Paper WP7 - D7.1 IIPP – UCL, February 2022
- (Picon 2007). Picon, A. French engineers and social thought, 18th - 20th centuries: an archeology of technocratic ideals. *History and Technology* 23, no.3: 197-208, 2007
- (PMI 2024). Program Management Institute www.pmi.org, 2024
- (Pombo 2002). Pombo, C. & Ramírez, M. Technical Education in England, Germany and France in the Nineteenth Century: A Comparison. Universidad del Rosario. Serie de Documentos N° 30, noviembre de 2002
- (Scobell 2020). Scobell, A., Burke, E. J. et al. China's Grand Strategy. Trends, Trajectories, and Long-Term Competition. Rand Corporation Report, 2020

- (Shaw-Taylor 2008). Shaw-Taylor, L, & Wrigley, E.A. The Occupational Structure of England c.1750-1871. A Preliminary Report. Cambridge Group for the History of Population and Social Structure, Department of Geography, University of Cambridge, 2008, pp 39-40, 2008
- (Shelton 2010). Shelton, R.D. & Foland, P. (2010). The Race for World Leadership of Science and Technology: Status and Forecast. Sept, 2010
- (Silva 2007). Silva, M. Técnica e Ingeniería en España. IV El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad. Real Academia de Ingeniería. Pressas Universitarias de Zaragoza, 2007
- (STF 2023). Science and Technology Framework (STF). Taking a System Approach to UK Science & Technology. Dept. for Science Innovation and Technology, 2023
- (Taylor 1903). Taylor, F. Shop Management. Ney York. American Society of Mechanical Engineers. 1903
- (Tsegay 2019). Tsegay, S. Internationalisation of Higher Education in China: A Critical Analysis Article in Social Change. Diciembre 2019
- (WCC 2024) World Digital Competitiveness Ranking, World Competitiveness Center (WCC). www.imd.org, 2024
- (WIPI 2024). World Intellectual Property Indicators (WIPI). World Intellectual Property Organization. www.wipo.int, 2024
- (Xie 2019). Xie, N. & Liub, J. On the Enlightenment of German Engineer Education to the Construction of Practical Teaching System of Civil Engineering Specialty in China. 9th International Conference on Management, Education and Information, 2019
- (Zuniga 2023). Zuniga, P. Innovation Policy Effectiveness in Emerging Countries: Lessons from Impact Evaluation Studies. Summary Paper. United Nations University and Maastrich University 12/20/2023, Washington D.C. 2023

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. JAVIER JIMÉNEZ SENDÍN

Excmo. Sr. Presidente
Sras. y Sres. Académicos
Queridos amigos,

Me corresponde hoy el honor de dar la bienvenida a Rafael Gómez Blanco en nombre de la Academia, y pocas cosas podrían hacerme más ilusión. Rafael es Ingeniero Aeronáutico por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid, desde 1992, premio extraordinario de fin de carrera, y Doctor Ingeniero desde 1998. Tuve la suerte de que eligiese hacer la tesis en mi grupo, aunque tengo que confesar que al principio no tuve claro si aceptarle como alumno. La experiencia me había enseñado a no admitir estudiantes a tiempo parcial, que no suelen tener tiempo para hacer dos cosas a la vez, y Rafael había ingresado en el Ejército del Aire nada más acabar la carrera. Me avisó de que no podría venir más que por las tardes, lo que era mala señal, pero decidí hacer una excepción con él, porque parecía un chico serio y tenía un expediente inmejorable. Además, el trabajo con el que compaginaría el doctorado era Ingeniero de ensayos en vuelo, que era para todos nosotros algo así como piloto de pruebas, aunque Rafael siempre insiste en que no es lo mismo, y si hay algo que infunde respeto en la Escuela de Aeronáuticos es ser capaz de convencer a alguien para que te deje jugar con un avión. Si ese avión es un caza, el respeto se convierte en admiración, y un F18 como los que volaba Rafael te da derecho a hacer lo que quieras. La verdad es que la decisión de admitirle como alumno acabó por generarme problemas e inquietudes. Todos hemos tenido estudiantes de los que no estamos seguros que vayan a acabar el doctorado, y a ratos me temí que Rafael pudiera ser uno de esos. No porque no estuviera haciéndolo bien, ni porque no

tuviese tiempo para llevarlo a cabo. Rafael es una de las personas con más capacidad de trabajo que conozco. Sino porque algunas de las historias que nos contaba de sus ensayos eran espeluznantes, y me hacían dudar de que fuera a sobrevivir. Pero el caso es que sobrevivió, como demuestra su presencia aquí, acabó brillantemente el doctorado, y siguió desarrollando su carrera dentro del Ejército del Aire.

Su currículum es extenso, y confieso que he tenido que pedirle ayuda para que me lo explicase. Entró en el Ejército del Aire dentro del cuerpo de ingenieros, y fue asignado al Claex, que es un centro del Ejército del Aire en el que se integra la Industria de defensa, y en el que no sólo se ensayan aviones, sino que se modifican cuando hace falta y se diseñan las modificaciones. Un poco como los 'Skunk works' de los que habla su discurso, que podríamos traducir como 'Centros de ingeniería imaginativa'. Allí dejó lo que él llama su primer 'hijo profesional', que fue el Laboratorio de Software Aeronáutico. Algo que no existía en España, que él fundó y dirigió hasta que salió del Claex, y que sigue funcionando hoy en día.

En 2008 se diplomó en Estado Mayor, y pasó al Cuartel General de Aire como Jefe de diversas secciones de Ingeniería, aceptando responsabilidades cada vez más amplias, con una interrupción como Jefe de la Maestrana de Albacete, hasta llegar en la actualidad a Director de Ingeniería e Infraestructuras del Ejército del Aire. Fue en 2022 el general más joven en la historia del cuerpo de Ingenieros del Ejército de Aire, y es ahora su único General de División.

Hay una cosa que nos falta a algunos ingenieros con perfil más académico, como el mío, que es la experiencia de 'hacer cosas'; la sensación de oír pasar un avión y pensar que "el alerón de estribor es mío". Durante su largo periodo como Jefe de Ingeniería, Rafael tuvo la oportunidad de hacer muchas cosas, y, por lo menos yo, espero que me cuente algún día cuantas cosas hay por ahí que reconoce como suyas. Eso le llevó a seguir profundizando en las relaciones entre Defensa e Industria, y a contribuir decisivamente a la internacionalización de la defensa española. Me cuenta que en su capacidad de Director de Ingeniería ha generado su 'segundo hijo', la Organización de Diseño Militar, una función que no existe en todos los países de nuestro entorno, que no existía en España, y que ahora centraliza los proyectos de diseño y desarrollo de la tecnología militar de vanguardia, a la vez que engloba funciones que estaban dispersas, como las de las maestranas o el Claex antes citado.

Nos ha hecho llegar en su discurso su preocupación por lo que entiende como pérdida de competitividad de los ingenieros españoles, así como por la falta de ecosistemas de desarrollo que faciliten la realización de grandes proyectos, y nos ha puesto como ejemplos la industria americana de defensa, heredera en parte de la alemana antes de la segunda guerra mundial, que nos ha dado entre otras cosas la carrera espacial, y mucha de la electrónica y las comunicaciones que hoy consideramos partes naturales de nuestra vida. Es un tema central a la función de la Academia, y en el que sin duda podremos aprovecharnos de su experiencia.

El Gral. Gómez Blanco no ha dedicado demasiado tiempo en su discurso a discutir explícitamente la ingeniería militar, pero es un tema sobre el que conviene meditar un poco. Se ha dicho a menudo que los primeros ingenieros fueron militares, porque había que construir fortificaciones. Probablemente no sea verdad: los primeros restos de grandes obras tienden a tener más que ver con hidráulica, con agricultura, y con edificios suntuarios, pero no hay duda de que una gran parte de las construcciones posteriores han sido murallas, y muchas de las máquinas más sofisticadas han sido máquinas de guerra dedicadas a derribarlas. En aeronáutica, el desarrollo de los aviones ha estado siempre ligado a su uso militar, y muchos de los sistemas más complejos en la actualidad son militares o tienen aplicaciones militares. Aunque los civiles no siempre identifiquemos a los Ejércitos como empresas tecnológicas, el nuevo académico me cuenta que el Ejército del Aire emplea 1500 ingenieros. Él ha estado haciendo eso toda su vida, y es de esperar que su experiencia como 'empresario' ayude a la Academia, y al país en general, a entender mejor cómo se organizan grandes proyectos tecnológicos.

Sin embargo, una gran parte de su discurso no la ha dedicado a la organización industrial, sino a la formación de los ingenieros. Y aquí tengo que referirme a un aspecto poco convencional de su carácter, que es su interés por la enseñanza, especialmente en los temas que él mismo define como sus grandes amores profesionales: la Mecánica de Fluidos, y los Ensayos en Vuelo. No es una afición que se asocie demasiado con la carrera militar, pero cuando acabó su doctorado, Rafael pidió seguir como profesor asociado, compaginándolo con su actividad en el ejército. Al principio, no le extrañó a nadie, porque muchos de nosotros hacíamos algo parecido para no perder contacto con la Universidad, por si acaso, pero cuando fue

ascendiendo y absorbiendo más responsabilidades en el ejército, y siguió insistiendo en dar clases de Mecánica de Fluidos, Cálculo numérico y Supercomputación, tanto en la Politécnica como en las Universidades Carlos III de Madrid o Alfonso X el Sabio, nos fuimos dando cuenta de que era algo un poco más serio. En el año 2008 fundó y empezó a codirigir su propio Master de Ensayos en Vuelo y Certificación de Aeronaves, su 'tercer' y por ahora último 'hijo', lo que volvió a suponer un esfuerzo sustancial de organización conjunta entre la Universidad, el Ejército, la Administración del Estado y más tarde la Industria, y que dio paso en 2015 a la Escuela Española de Ensayos en Vuelo y Aeronavegabilidad, aún hoy en marcha dentro de la Universidad Politécnica. Sigue estando codirigida por él, y atrae a alumnos de todo el mundo que, ¡Ay!, siguen dándonos envidia al resto de la escuela, porque vuelan. Pero, aun así, Rafael siguió dando clases de fluidos. Cuando en 2019 fue destinado a Albacete como Jefe de la Maestranza, tuvo que abandonar la Escuela, y nuestro departamento, para no perderlo del todo, propuso nombrarle profesor Ad honorem. Nos hizo el favor de aceptar el nombramiento, aunque no implicara ningún privilegio. Pero los militares, o por lo menos él, son poco dados a colgarse medallas gratis, y cuando volvió a Madrid, ya como General, solicitó volver a dar clases de Mecánica de Fluidos como profesor asociado, lo que sigue haciendo hasta hoy. Hay pocas formas más claras de demostrar interés en un tema que practicarlos asiduamente, y podemos estar seguros de que cuando Rafael habla de cómo cree que se debe organizar la formación de los ingenieros en España, habla en serio.

Creo que habrá pocos sitios mejores que la Academia para acoger a espíritus transdisciplinares e inquietos como el de Rafael Gómez Blanco. Espero que, desde ahora, nosotros y él podamos seguir profundizando nuestra relación y aprovechándonos mutuamente de ella. Desde hoy, Rafael, esta es tu casa. Sé bienvenido de todo corazón.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES