

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

LA CEBADA,
MUCHO MÁS QUE CERVEZA Y PIENSO

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. IGNACIO ROMAGOSA CLARIANA

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 24 DE SEPTIEMBRE DE 2019

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. ELÍAS FERERES CASTIEL



MADRID MMXIX

LA CEBADA,
MUCHO MÁS QUE CERVEZA Y PIENSO

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

LA CEBADA,
MUCHO MÁS QUE CERVEZA Y PIENSO

DISCURSO DEL ACADÉMICO ELECTO

EXCMO. SR. D. IGNACIO ROMAGOSA CLARIANA

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN PÚBLICA
EL DÍA 24 DE SEPTIEMBRE DE 2019

Y CONTESTACIÓN DEL ACADÉMICO

EXCMO. SR. D. ELÍAS FERERES CASTIEL



MADRID MMXIX

Editado por la Real Academia de Ingeniería
© 2019, Real Academia de Ingeniería
© 2019 del texto, Ignacio Romagosa Clariana
ISBN: 978-84-95662-68-2
Depósito legal: M-29873-2019
Impreso en España

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y AGRADECIMIENTOS	7
LA CEBADA Y LA REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA	14
LA CEBADA EN LA ANTIGÜEDAD	17
LA TISANA, EL AGUA DE CEBADA Y LA HORCHATA	18
LA REVOLUCIÓN TSAMPA	19
EL CULTIVO DE CEBADA EN ESPAÑA	20
EL GRANO DE CEBADA	21
LA CEBADA PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL	28
LA CEBADA PARA MALTA Y CERVEZA	31
LA CEBADA COMO ALIMENTO HUMANO	33
COOPERACIÓN INTERNACIONAL	38
REFERENCIAS	40
CONTESTACIÓN	43

Excelentísimos Sr. Presidente de la Real Academia de Ingeniería.
Excelentísimos Señoras y Señores académicos
Señoras y Señores, queridos amigas y amigos

Quiero empezar este discurso manifestando mi agradecimiento a los Excelentísimos Académicos que me propusieron D. Enrique Cerdá Olmedo, reconocida autoridad mundial en genética de microorganismos, D. José Antonio Martín Pereda, mi primer mentor en tareas de gestión estatal de la Ciencia y compañero de la Universidad del Estado de Colorado y D. Elías Fereres Castiel, Presidente de la Academia, maestro de todos los ingenieros agrónomos españoles y que me he honra contestando este discurso. También quiero dar las gracias a todos los Académicos que depositaron su confianza en mi persona. Estoy muy orgulloso de haber sido elegido miembro de una Academia en la que también se encuentran D^a Pilar Carbonero y D. Francisco García Olmedo, magníficos investigadores y profesores, que aportaron una nota de modernidad en la época de la Transición a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. Es un placer reencontrarme con otros dos académicos, vicerrectores de la Universidad Politécnica de Cataluña con los que trabajé desde la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida, D. Eduardo Alonso Pérez de Agreda y D. Miguel Ángel Lagunas.

Es para mí una gran satisfacción y orgullo el recibir la medalla número XVI de esta Academia, de la que han sido portadores dos eminentes ingenieros agrónomos, los Excmos. Señores D. Enrique Sánchez-Monge y D. Jaime Conde Zurita. Del primero, padre de mi mujer, maestro de genetistas y mejoradores, Premio Nacional Leonardo Torres Quevedo de investigación técnica, de quien Jaime Conde destacó en su discurso de ingreso en la Academia el *rigor y la claridad de sus enseñanzas con los que consiguió atraer hacia la ciencia experimental a otros excelentísimos compañeros de esta Real Academia*. De

Jaime Conde, D. Enrique Cerdá Olmedo en su contestación al discurso de ingreso, destacó su vida profesional polifacética, como microbiólogo del más alto nivel científico y maestro cervecero responsable técnico de la Cruz del Campo con una vocación científica *vitalicia e irreversible*, que le llevó a trabajar al más alto nivel tanto en la universidad como en la industria. A las contribuciones científico-técnicas de ambos me referiré a lo largo de mi intervención. También quiero expresar mi reconocimiento a todas las personas, algunas de ellas aquí presentes, que me han acompañado a lo largo de mis 40 años de actividad científico-técnica en Zaragoza, Lleida y Madrid. Gracias a ellos, a mi familia y a todos los demás asistentes por compartir este acto conmigo.

Déjenme empezar mi intervención con el último párrafo del discurso de ingreso de mi predecesor D Jaime Conde Zurita: *“lo que me parece más estimulante de una Academia de Ingeniería como ésta, Real y española, en la que tengo el honor de entrar hoy, es el hecho de que congrega a ingenieros que, en su condición de tales, practican especialidades muy distintas. Me estimula porque es una oportunidad para que, al integrar todo lo mucho que tenemos en común, descubramos posibilidades de hacer cosas nuevas juntos.”*. Este párrafo no sólo tiene un sentido general para todos los miembros de esta academia, sino muy personal para mí, con dos de mis cuatro hijos y sus mujeres, ingenieros e ingenieras en ámbitos tan diversas como las ingenierías de caminos, industriales, minas y química, algunos con titulaciones dobles, en centros tan prestigiosos como las Universidades Politécnicas de Cataluña, Madrid y Delft, las Escuelas Central de París y Nacional Superior de Industrias Químicas de Nancy y el Instituto Francés del Petróleo.

Después de que en este último año hayamos oído hablar en los discursos de ingreso de los últimos académicos sobre inteligencia artificial y computacional, sobre ingeniería del mar y del espacio, le llega el turno a la agricultura, disciplina que, aunque para algunos sectores pueda parecer relativamente alejada de las ingenierías más duras, representa el núcleo central de nuestra evolución social y que aborda un desafío tecnológico inmediato extraordinario reflejado en el texto: *“En los próximos 50 años tendremos que producir tanta comida como lo hemos hecho en los diez mil años anteriores”* que se atribuye a Megan Clark directora de la agencia nacional de investigación australiana, teniendo muy presente al mismo tiempo la frase de León Trosky: *“cualquier sociedad está a solo (falta de) tres comidas de una re-*

volución". El reto de la agricultura moderna es alcanzar una auténtica intensificación sostenible, mediante la conjunción de su vertiente más tradicional con las nuevas tecnologías de la información, de la ciencia de datos, de la inteligencia artificial, de los sensores terrestres y espaciales y de todas las herramientas moleculares, particularmente genómicas, disponibles. Esto es, en su conjunto, ingeniería en su estado más puro.

Algunos de ustedes ya me habrán oído decir que nunca en la historia de la humanidad hemos tenido acceso a tanta comida y de tanta calidad. Sánchez-Monge nos recordaba en sus clases el texto que Jonathan Swift (1667-1745) escribió en "Los viajes de Gulliver": *'... cualquiera que hiciese nacer dos espigas de grano o dos hojas de hierba en la superficie en que naciera antes una, haría un servicio más esencial a su país y merecería mayor reconocimiento de la humanidad que toda la casta de políticos junta'*. Este ha sido tradicionalmente el objetivo y el resultado de la agricultura. Sin embargo, en los últimos decenios la agricultura ha sido víctima de su propio éxito, abandonando la posición privilegiada que tradicionalmente ocupaba en la escala social. Damos por supuesto que la agricultura sea capaz de suministrar, sin apenas esfuerzos, alimentos a toda la población y, por ello la sociedad ha dejado de valorar su actividad. Hemos pasado en pocos decenios del reconocimiento social al cuestionamiento creciente. Hoy probablemente escuchamos más alusiones a la contaminación que la agricultura provoca, a la falta de seguridad de los alimentos y a la pérdida de la biodiversidad, que a su papel fundamental para abastecer de alimentos a toda la humanidad. En los últimos años, ciertos sectores sociales están trasladando a la opinión pública una falsa sensación de riesgo hacia el medio ambiente y para la salud de los consumidores asociando el riesgo a una agricultura industrializada, en contraposición con una agricultura tradicional o ecológica que, sin ningún tipo de análisis objetivo, suponen (erróneamente) más adecuada para resolver los retos planetarios a los que nos enfrentamos. Sin embargo, frente a este debate hay unos hechos irrefutables. Si analizamos el incremento de la población mundial en relación con el incremento de la producción agrícola en los últimos 60 años, constatamos que la población se ha multiplicado casi por 2,5, mientras que la producción de cereales, así como de muchos otros cultivos, por 4 (Figura 1). Gracias a las nuevas técnicas agrícolas se sigue superando el reto demográfico y así debería seguir sucediendo en los próximos decenios.

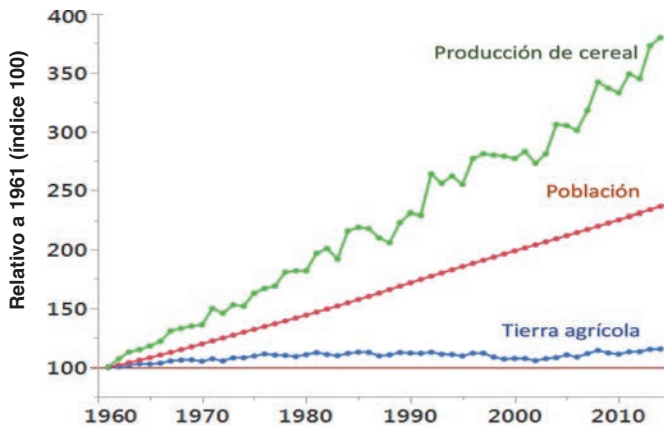


Figura 1. Evolución de la población y de la producción de cereales en los últimos decenios (Fuente: Max Roser and Hannah Ritchie (2017) – ‘Yields and Land Use in Agriculture’. <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>).

La dieta ha mejorado cuantitativa y cualitativamente en los últimos decenios (Figura 2, izquierda), en gran medida debido a una mejora en el uso de insumos agrícolas. Sin embargo, como hemos oído repetidas veces en estas últimas semanas, desde Naciones Unidas se está recomendando reducciones significativas en nuestra alimentación para mejorar la sostenibilidad. A escala global, el consumo de carne aumenta con el nivel de renta, pero su producción precisa de 100 veces más superficie para producir un gramo de proteína de vaca que para un gramo de proteína de maíz o de una leguminosa (Figura 2, derecha) y es responsable de un alto nivel de emisiones de gases de efecto invernadero.

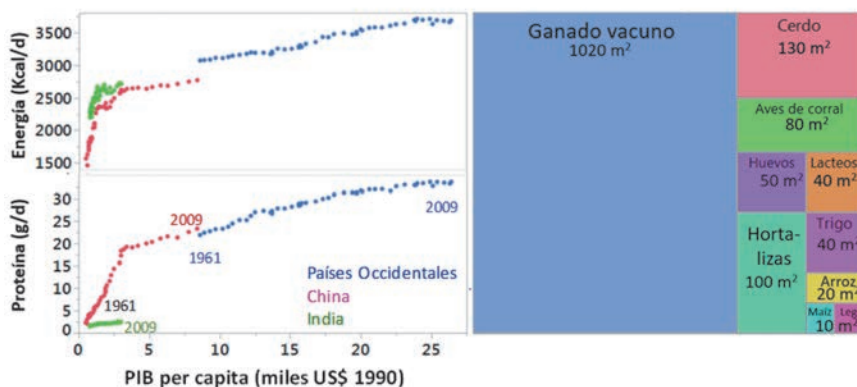


Figura 2. **Izquierda:** Relación entre producto interior bruto y consumo diario de energía (kcal) y de carne (g proteína) en el periodo 1961-2009 (Fuente: Tilman & Clark (2014). *Nature* 525, 518-522). **Derecha:** Superficie en m² necesaria para producir un kg de proteína (Datos: <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>).

La producción de alimentos por unidad de superficie ha permanecido, en términos relativos, más o menos constante desde el origen de la agricultura hasta hace poco más de un siglo. En base al análisis de isótopos estables, fundamentalmente de carbono, en restos arqueológicos de hace más de 10.000 años próximos al río Éufrates, se me ofreció la oportunidad de participar en un estudio sobre el rendimiento de los primeros cultivos de cereales [1]. Sorprendentemente la productividad estimada fue relativamente alta, del orden de 1.0 t/ha, no muy alejada de las producciones actuales en los secano más duros de esta región semiárida, lo que indudablemente sugiere que las condiciones de cultivo fueron mucho más favorables que las actuales. Sin embargo, las prácticas agrícolas neolíticas pueden haber producido mayores rendimientos que los que cabría esperar de rodales de cereales recién domesticados, lo que habría favorecido la transición de la recolección al cultivo.

Los rendimientos permanecieron relativamente constantes en los primeros milenios de la agricultura. Si analizamos los registros históricos más largos disponibles, el rendimiento de trigo en las Islas Británicas, observamos que desde el siglo XIII al XVI permanecieron prácticamente constantes próximos a 1 t/ha, incluso inferiores a los señalados en el párrafo anterior. Sin embargo, a partir del siglo XVII y, sobre todo, a partir de la revolución industrial, los rendimientos aumentan, hasta alcanzar ganancias espectaculares (96 kg/ha año) a partir de mediados del siglo pasado. El mismo patrón se observa en los incrementos del rendimiento del maíz registrado en EEUU desde

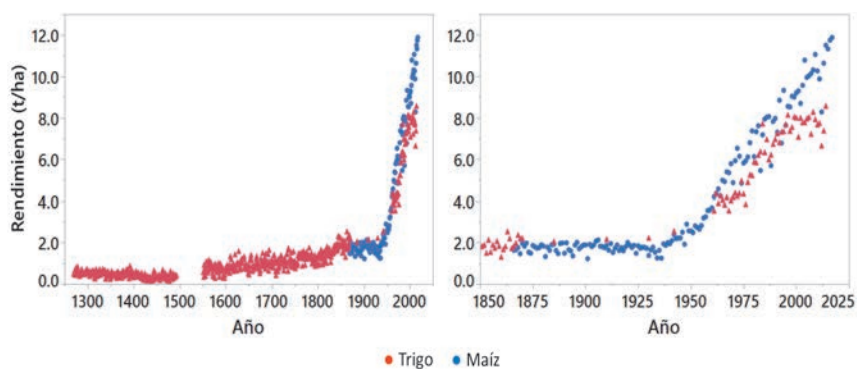


Figura 3. Evolución del rendimiento de trigo en el Reino Unido desde 1270 (*Fuente:* ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture) y de maíz en EEUU desde 1866 (*Fuente:* https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/croptr18.pdf).

mediados del siglo XIX, con rendimientos, que para esta especie (120 kg/ha año) y, a diferencia del trigo en el Reino Unido, no parece mostrar signos de fatiga (Figura 3).

Estos avances genéticos naturalmente también se han conseguido en España. En 2016 se cumplió el 50 aniversario de la Asociación para la Investigación de la Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera, AIMCRA, fundada por iniciativa de la industria azucarera con el impulso de D. Ramón Esteruelas Rolando, también promotor y primer director de Aula Dei y al que me referiré en la última parte de mi intervención. Con este motivo, y probablemente debido al Premio AIMCRA 25 aniversario que nos concedieron a D. José Manuel Lasa Dolhagaray y a mí, me pidieron que diera una conferencia sobre *Productividad, sostenibilidad y mejora genética*, lo que me llevó a estudiar el impacto de la actividad de AIMCRA en el último medio siglo. Cuando nació AIMCRA, el rendimiento medio de la remolacha en España era de unas 25 t/ha, que representaba la mitad de otros países como Francia e Italia donde alcanzabas las 50 y 40 t/ha respectivamente. 50 años más tarde, el rendimiento en España ha igualado al de Francia con valores medios próximos a las 100 t/ha, mientras que en Italia ha pasado a ser del orden de la mitad del español, unas 50 t/ha (Figura 4). Hemos visto una reducción muy significativa en la superficie de cultivo, común a los tres países, y una concentración del cultivo en las zonas más productivas. Sin embargo, los incrementos obtenidos van mucho más allá de esta circunstancia. La tasa anual media de incremento de la producción agraria mundial es del orden del 2.5%. Sin embargo, la de la remolacha en

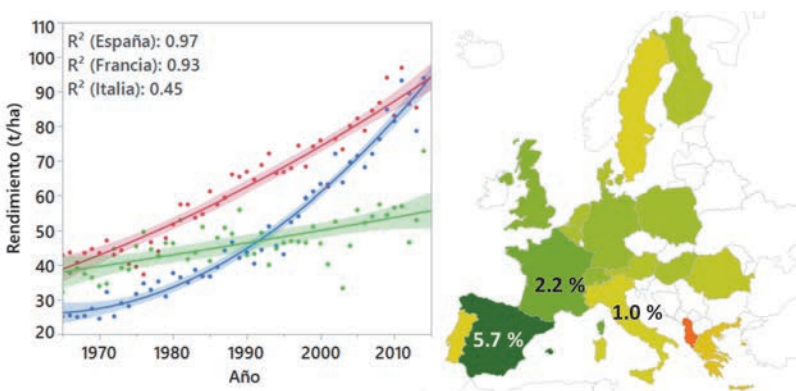


Figura 4. Evolución del rendimiento de remolacha y ganancia anual en España, Italia y Francia en los últimos cincuenta años (Datos de <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>).

España en estas últimas décadas no tiene parangón. Se han alcanzado valores superiores al 5% anual, mientras que en Francia y en Italia, han sido menos de la mitad y de una cuarta parte. La propia existencia de AIMCRA, en la que la investigación está estrechamente imbricada y financiada por el sector industrial y primario, es en gran medida responsable de este éxito. En otras especies, particularmente hortícolas, también se ha superado en España este umbral extraordinario del 5% de crecimiento anual.

Además del incremento directo en la productividad, de la mejora de la calidad y, en resumen, de la rentabilidad de la explotación agraria, la agricultura del siglo XXI también ha permitido una serie de beneficios ambientales muy importantes tanto por la reducción de la expansión de nuevas tierras de cultivo debido a los altos rendimientos conseguidos, que difícilmente hubieran podido estar disponibles para su roturación, como por la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos y la sostenibilidad de la producción agrícola. Todo ello ha permitido un descenso de la erosión, mejor conservación de la biodiversidad, ahorro de fertilizantes, mejora del balance de emisiones de gases invernadero, reducción de la demanda total de agua, disminución de contaminantes ambientales y de residuos en los alimentos, etc.

El reto actual de la agricultura es asegurar la sostenibilidad, siendo conscientes, como ya hemos dicho, que en el próximo medio siglo tenemos que producir tanto como en los diez mil años precedentes. También deberemos preocuparnos de la mejora de la resiliencia de los cultivos, en un escenario incuestionable de cambio climático. Por ello nos preguntamos, ¿es posible continuar con estos incrementos además en un contexto de sensibilidad social? La respuesta es sin ningún género de dudas positiva, a partir de un escenario de “Intensificación Sostenible” en el que, entre otras muchas disciplinas agrícolas, la mejora genética, seguirá ocupando un papel predominante.

Pero, más allá de profundizar detalladamente en los logros pasados, perspectivas y oportunidades futuras de la agricultura en general, o de la mejora genética vegetal, en particular, quiero centrar mi intervención en un cultivo concreto como es la cebada, *Hordeum vulgare* L., una de 250.000 especies vegetales y, una de las 5.000 señaladas por Sánchez-Monge como de interés económico, cultivo infravalorado por muchos, olvidado para ciertos usos y al que he dedicado la mayor parte de mi vida profesional. Espero que de mis

palabras, y en base a lo que la cebada nos puede llegar a ofrecer, se aprecie el enorme interés que los cultivos agrícolas, y como consecuencia la ingeniería agronómica, presentan actualmente para la sociedad. En este sentido, si tienen unos minutos libres, les invito a ver el documental *“How beer saved the world”* emitido por primera vez en el Discovery Channel el 30 de enero de 2011 y actualmente disponible en internet [2]. En él se muestra, de una manera exagerada, el papel que ha tenido la cebada y la cerveza como elemento central y vertebrador de la sociedad actual.

LA CEBADA Y LA REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA

La cebada tiene más relación con esta Real Academia de la que muchos de ustedes puedan suponer. En primer lugar, la Academia se encuentra a unos pasos de la Plaza de la Cebada, una de las más antiguas de Madrid. Su nombre se debe a que, en este lugar situado extramuros frente a la Puerta de los Moros de la muralla medieval, se vendía cebada para los regimientos de caballería, pasando posteriormente a convertirse en un gran mercado abierto a todo tipo de productos alimenticios. Durante siglos, fue uno de los centros neurálgico de la Villa, un espacio abierto y público en donde se cele-



Figura 5. *Mantua Carpetanorum sive Matritum Urbs Regia*. Plano de Madrid de Teixeira (1656). La Plaza de la Cebada aparece señalada por una circunferencia blanca.

braban mercados, ferias, incluso canonizaciones, como la de San Isidro Labrador, patrón de los agricultores españoles y de la ciudad de Madrid. Para muchos, también fue uno de los sitios más temidos de Madrid, primero como sede de Autos de Fe de la Santa Inquisición y, a partir del Siglo XIX, lugar de las ejecuciones públicas, entre otras, de la horca del general liberal Rafael de Riego y el garrote vil del conocido bandolero Luis Candelas. Ya en el mapa de Madrid realizado por Pablo Teixeira en 1656 aparece con este nombre, completamente integrada en la ciudad y ocupando un espacio muy superior al de la Plaza Mayor (Figura 5).

La Plaza de la Cebada también tiene interés desde el punto de vista arquitectónico por sus mercados (Figura 6). El primer Mercado de la Cebada, denominado durante la Primera República, Mercado de la Plaza de Riego, en honor del General Riego, fue diseñado por el arquitecto Mariano Calvo Pereira en 1870, con una moderna estructura de hierro forjado inspirado en Les Halles de París. Este mercado fue derribado en 1956 y reemplazado por el actual de los arquitectos García de Arangoa, Herrero Palacios y Martínez Cubells que diseñaron un controvertido edificio de dos plantas con cubierta formada por seis bóvedas vaídas de hormigón. En 2009 se estudió su derribo, idea actualmente abandonada,



Mercado de la Plaza de (Riego) la Cebada.
Año 1875.



Mercado de la Plaza de la Cebada. Año 2000.



Proyecto del nuevo Mercado de la Plaza de la Cebada.
Año 2019.

Figura 6. Mercados de la Plaza de la Cebada.

al que se opuso una campaña de comerciantes y vecinos de la zona. Un colectivo de arte urbano madrileño *Boamistura* lo pintó de múltiples colores creando, más allá de un mercado de barrio, un nuevo centro vecinal donde también se pudiera llevar a cabo exposiciones, conferencias y debates. El resultado final es un edificio policromado no sólo en sus imponentes cúpulas, sino en el mural de la fachada.

También hay que señalar que, donde en la actualidad se localiza el Teatro La Latina, se encontraba el Hospital de la Concepción de Nuestra Señora empezado a construir en 1499 por iniciativa de Doña Beatriz Galindo, llamada La Latina y que da nombre al barrio, cuya magnífica fachada original gótico-mudéjar se encuentra en la Escuela Superior de Arquitectura de la Ciudad Universitaria de Madrid.

En segundo lugar, todos los académicos de la Real Academia de Ingeniería del ámbito agrario han trabajado directa o indirectamente en este cultivo, algunos como D. Enrique Sánchez-Monge, D. Jaime Conde, D^a Pilar Carbonero y D. Francisco García-Olmedo de una manera más o menos continua. Otros de un modo más ocasional como: D. Elías Fereres, la cebada como componente de un sistema de cultivo; D. Enrique Cerdá-Olmedo, por sus múltiples trabajos en *Saccharomyces cerevisiae* levadura responsable de su eventual transformación en cerveza; y D. Roberto Fernández de Caleyá, por sus estudios de familias de proteínas de reserva de cereales.

Finalmente, no sólo ellos sino todos los miembros de esta Academia, más allá de disfrutar ocasionalmente de la cebada en sus dietas líquidas, han tenido que utilizar en algún momento la distribución o prueba estadística t-de Student enunciadas por William S. Gosset (1876-1937), maestro cervecero de Guinness, pionero en la realización de ensayos experimentales de cebada y en el análisis experimental de muestras de pequeño tamaño. Apparentemente, la Junta de Directores de Guinness permitía a su personal publicar trabajos científicos con la condición de que no mencionasen las palabras cerveza, Guinness, o su propio apellido. Según el historiador Stephen Ziliak, Gosset parece haber obtenido su seudónimo de "Student" de su cuaderno de los años 1906 y 1907 sobre el conteo de células de levadura, "The Student's Science Notebook" [3].

LA CEBADA EN LA ANTIGÜEDAD¹

La cebada es uno de los cereales más antiguos. Los primeros restos cultivados aparecen hace 12.000 años en lo que actualmente es Siria. La cebada fue utilizada originalmente como alimento humano, teniendo en Mesopotamia mucha más importancia que el trigo. Para los sumerios tenía una naturaleza mística. A Nisaba, diosa sumeria del grano y la escritura, patrona de la ciudad de Ereš también se le identificaba como “la Señora cuyo cuerpo es la cebada” (Figura 7).

En Egipto, la cebada era el grano más consumido. En Grecia y Roma se consideraba un alimento con virtudes medicinales. Durante siglos fue el alimento básico de las legiones romanas en forma de ración de sopas o gachas cuando estaban en campaña. Los gladiadores romanos la comían habitualmente porque pensaban que les proporcionaba fuerza, de ahí su nombre en latín de *Hordearii*. Plinio el Viejo, en su *Historia Natural*, en el libro XVIII capítulo 14, señala: “La cebada es un alimento que cabe contar entre los más antiguos, según ciertos usos atenienses que atestigua Menandro y por la denominación de ‘alimentados con cebada’ que recibían los gladiadores. Los griegos prefieren la cebada a cualquier otra clase de grano triturado a la manera de una papilla. Este género de preparación reviste muchas variantes. Los griegos, ba-



Figura 7. La diosa Nisaba ofreciendo cebada (Fuente: Sello cilíndrico, Akkadian, (ca. 2350-2150 AC). Dibujo S. Beaulieu, según Boehmer, Rainer M. 1965. *Die Entwicklung der Glyptik während der Akkad-zeit*. Berlin: de Gruyter: Placa XLVI #527).

¹ Quiero agradecer a D. Matías López, Catedrático de Latín de la Universidad de Lleida, su ayuda en la redacción de éste y del siguiente apartado, particularmente en la traducción de textos clásicos.

ñándola en agua abundante, dejan secar la cebada durante una noche; la fríen al día siguiente y, por último, la trituran en un mortero". Por cierto, la fuente griega que cita Plinio, Menandro, parece ser el famoso autor de comedias, quien aporta innumerables noticias sobre la vida cotidiana de Atenas en sus piezas.

El más famoso de los galenos de la Antigüedad, él no en vano llamado con nombre propio Galeno, formado en una escuela de gladiadores de su ciudad natal, Pérgamo, hace varias referencias a la cebada en su obra titulada *De alimentorum facultatibus*, "Sobre las propiedades de los alimentos": así, por ejemplo, en el libro I, citando a Hipócrates, Galeno afirma "sabiendo Hipócrates que la cebada, cuando se ha cocido, es de naturaleza fría y húmeda, y siendo sabedor de que conocía los temperamentos de los cuerpos, tanto en las afecciones que lo son por naturaleza como en las que se generan por algún mal adquirido, hace un uso razonable de la cebada como comida, no sólo en los cuerpos que están sanos, sino también en los que están enfermos, y se hará un buen uso de la cataplasma de harina de cebada conociendo el temperamento de ambas cosas, del cuerpo y de la cebada".

LA TISANA, EL AGUA DE CEBADA Y LA HORCHATA

Cuando hablamos de bebida obtenida a partir de la cebada, inmediatamente pensamos en la cerveza y en el güisqui de malta, pero la importancia de este cereal en dietas líquidas va mucho más allá de éstas y de otras bebidas alcohólicas. Galeno, en ese mismo libro citado en el apartado anterior se refiere a la ptisana (*ptisáne*), que es la bebida preparada a partir de la cebada descascarillada. De hecho, la palabra *ptisáne* es una metonimia o trasnominación en la que el proceso machacar o descascarillar, en griego *ptísso*, da nombre al producto. De ella, Galeno, literalmente, dice: "La harina que se extrae de la cebada tostada parece ser claramente seca. Pero la ptisana humedece, al menos cuando es preparada como se debe, o sea, cuando se hincha excesivamente en la cocción y, a continuación, después de esto, cuando se reduce completamente a jugo por medio de fuego lento. Cuando se ha hinchado completamente, en ese momento se le mezcla vinagre. Cuando se ha cocido por completo, hay que echarle sal ligera no mucho antes de la comida. Pero si justo al principio le echas aceite, no dañará la cocción. Con todo, no hay que hacer más mezclas, excepto un poco de puerro y anís, y éstos de modo inmediato al principio." Por cierto, no parece que Galeno

apreciase en demasía el trabajo de los que preparaban esta bebida. Acaba el texto con la siguiente valoración “*Constato que la ptisana es preparada pésimamente por todos los cocineros: en efecto, la trituran cruda en un mortero y no la disuelven mientras la cuecen en el fuego*”.

En la Antigua Grecia también se encuentra otra bebida hecha en base a cebada que tenía efectos alucinógenos y que se empleaba en los Misterios de Eleusis, los ritos secretos más conocidos de la Antigüedad. A esta bebida se le denominaba ciceón del griego *kykeōn* relativo a “agitar, mezclar”. Se cree que la cebada utilizada para estos ritos estaba infestada naturalmente por el cornezuelo o ergot (*Claviceps purpurea*) y que las sustancias psicoactivas presentes en este hongo, precursoras naturales del ácido lisérgico (LSD), desencadenaban las experiencias alucinógenas colectivas de los participantes. En los textos homéricos también aparecen menciones al ciceón. En el himno a Deméter, la diosa rechazaba vino pero tomaba ciceón elaborado con agua, cebada y poleo menta.

El agua de cebada medieval era el *aqua hordeata* de donde se deriva la palabra horchata. El diccionario de la RAE señala el origen de la horchata a partir del Latín *hordeāta* “hecha con cebada”, y todavía en su última edición incluye el término *hordiate* que define en su segunda acepción como “bebida que se hace de cebada, semejante a la tisana”. El agua de cebada es una bebida refrescante, precursora hace siglos de los refrescos actuales. Se suele preparar como una infusión de granos de cebada molida y, a veces, tostada, a fuego lento durante un largo tiempo. A continuación, se cuele, se endulza con miel o azúcar, pudiendo ser aderezada con limón o canela. Se sirve bien fría para que sea empleada como bebida refrescante. Siguiendo la tradición griega además de su valor como refrescante, se le atribuían propiedades medicinales, como remedio para la fiebre y los dolores intestinales.

LA REVOLUCIÓN TSAMPA

Todos los que tenemos una cierta edad conocemos la Revolución de los Claveles, pero pocos sabemos de la existencia de la Revolución de la Cebada que, en forma indirecta, también existe, aunque sea más un elemento de reafirmación de la identidad nacional que una sublevación propiamente dicha. Los tibetanos son, probablemente, junto a los marroquíes, las personas que más cebada comen

de todo el mundo, principalmente en forma de Tsampa. En la década de 1950 el consumo anual per cápita de cebada era de más de 150 kg de cebada por persona y año. La tsampa es una comida muy simple que se prepara fundamentalmente con harina de cebada tostada, mezclada con pequeñas cantidades de mantequilla, yogur o leche de yak y de té, que se suele tomar como gachas. Tiene elementos comunes con el gofio canario, inicialmente elaborado también con cebada y en la actualidad con millo (maíz). Es un elemento básico de la identidad tibetana común a todos los grupos étnicos y sociales. Desde la década de 1950, la tsampa, es decir la cebada como contraposición al pan de trigo y al arroz, representa un símbolo del movimiento de oposición tibetano a la ocupación china que queda reflejado en el nombre: Revolución Tsampa y en su declaración fundacional: *“Nosotros, los comedores de tsampa, portadores de chuba, jugadores de dados, comedores de carne cruda y seca, seguidores del budismo, oradores del idioma tibetano... debemos hacer el esfuerzo de poner fin a la ocupación”* [4, 5].

EL CULTIVO DE CEBADA EN ESPAÑA

La cebada es el quinto cultivo mundial por superficie después del trigo, maíz, arroz y soja, siendo uno de los que presenta mayor capacidad de adaptación a ambientes extremos. Se extiende desde el ecuador hasta regiones subárticas y desde el nivel del mar a las tierras altas de los Andes y del Himalaya. Por esta razón, muestra muy alta variabilidad genética en relación a su morfología, capacidad de adaptación a suelos, agua, fotoperiodo, temperatura y altitud.

La cebada apareció en España en el Neolítico hace unos 7.000 años por tres posibles rutas: (1) por la costa valenciana desde el Mediterráneo, (2) desde Centroeuropa a través de los Pirineos; y (3) desde el norte de África por mar hasta el sur de España [6]. Jaime Conde colaboró en los trabajos de su compañero de la Cruz Campo, el Dr. José Luis Molina-Cano, que defendía la mayor importancia relativa de esta tercera ruta, confirmada por análisis moleculares posteriores, y que llegaba a sugerir la existencia de un centro de domesticación independiente de la cebada en Marruecos, donde poblaciones silvestres de cebada todavía parecen estar presentes [7].

España es el séptimo país del mundo por producción total de cebada después de la Federación Rusa, Francia, Alemania, Australia,

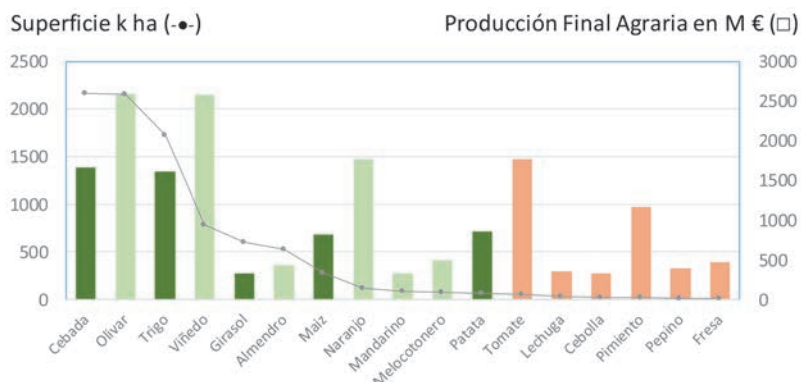


Figura 8. Superficie de cultivo y Producción Final Agraria de España de 2017 (Datos de <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2018/>).

Ucrania y Canadá. A nivel español, según el Anuario de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de 2017, es el cultivo que ocupa mayor superficie agrícola (2,6 M ha), el primero entre los cultivos herbáceos extensivos y quinto a nivel global por el valor de su Producción Final Agraria (1.388 M€), después del olivar, viñedo, cítricos y tomate (Figura 8). Pese a la importancia de su cultivo, España necesita importar cebada y otros cereales para cubrir sus necesidades internas, en particular las de la industria de elaboración de piensos para consumo animal.

La cebada, por su mayor rusticidad y resistencia a la sequía, ha ocupado, tradicionalmente las superficies de secano de menor pluviometría y suelos de peor calidad, por lo que en España se concentra en los secanos más duros de ambas mesetas y en Aragón. Los rendimientos medios son de los más bajos de Europa, presentando gran variabilidad interanual en su producción. Aproximadamente el 90 % de la superficie de cebada en España se dedica a producción de cebada pienso. Prácticamente todo el resto, la cultivada en las mejores zonas, se dedica para producción de malta, siendo en la actualidad absolutamente marginal la producción de grano para alimentos como cereales de desayuno, sopas, etc.

EL GRANO DE CEBADA

Como ya hemos comentado, la cebada es extraordinariamente variable en su morfología, desarrollo, composición y adaptación al medio. Existen cebadas de dos y seis carreras, según el número de

semillas que aparecen en cada punto del raquis y que determinan la forma de la espiga; variedades de grano vestido y desnudo, según estén las cubiertas externas fuertemente adherida al grano o no. El grano de cebada presenta elevado contenido en carbohidratos (70-80%), como el almidón (65-70%), un contenido en fibra total del 10-30%, de la que es soluble entre el 3-20% y de azúcares, alrededor del 3%. Tiene un balance proteínico (10-16%) relativamente adecuado para cubrir las necesidades de aminoácidos. Por el contrario, presenta un bajo contenido relativo en lípidos (2-3%). Existen granos de distintos colores dependiendo de los antocianos u otros compuestos fenólicos. Todos estos tipos de grano difieren ampliamente en sus características físicas y de composición, y de acuerdo con ello, se procesan de distinto modo y se utilizan con distintos fines comerciales [8].

El almidón de la cebada está normalmente formado por dos polisacáridos, amilosa (un 25 %) y amilopectina (75%). La amilosa y la amilopectina se diferencian por su estructura, la amilopectina presenta ramificaciones cada 25-30 unidades de glucosa unidas a un tronco central, mientras que la amilosa presenta una estructura lineal. Las cebadas cerosas presentan almidón con baja concentración de amilosa (0-5%) y alto en amilopectina (95-100%). También existen mutantes de alta amilosa, que llegan a tener hasta un 45% de este polisacárido en su almidón. Este almidón con alta amilosa resiste la digestión enzimática en las partes superiores del tracto gastrointestinal y, por lo tanto, pasa al intestino posterior donde puede ser fermentado por la microbiota presente [9]. Por ello se le denomina almidón resistente. La fermentación microbiana del almidón resistente da como resultado la producción de ácidos grasos de cadena corta (SCFA), que favorecen el crecimiento y la proliferación de células colónicas y cecales, una mayor expresión de los genes involucrados en el desarrollo intestinal y la creación de un ambiente ácido. El bajo pH suprime el crecimiento de patógenos, al tiempo que promueve selectivamente el crecimiento de microorganismos beneficiosos. Por lo tanto, el almidón resistente tiene el potencial de mejorar la salud y la función intestinal al modificar y estabilizar la comunidad microbiana intestinal, mejorando el estado inmunológico del huésped.

Los β -glucanos son otro tipo de polisacáridos naturales, producidos por algas, bacterias, hongos y ciertas plantas superiores, como la cebada y la avena. Consisten en un esqueleto de unidades de glu-

cosa con distintos tipos de enlaces glucosídicos β , de estructura y longitud variables. La actividad del β -glucano depende de la estructura molecular, el tamaño, la frecuencia de ramificación, la modificación estructural, la conformación y la solubilidad. El β -glucano de avena y cebada es lineal con enlaces $\beta(1\rightarrow4)$ y, en menor frecuencia, $\beta(1\rightarrow3)$.

Tradicionalmente los mejoradores de cebada han intentado reducir el contenido de β -glucano en el grano. Por un lado, la cantidad y el peso molecular de los β -glucanos en la malta afectan a las viscosidades del mosto y de la cerveza, dificultando su filtración y generando turbidez en la cerveza. Por otro, contenidos muy altos en β -glucanos tienden a reducir la digestibilidad de los piensos porcinos y a aumentar las diarreas en aves. Sin embargo, existe en la actualidad un interés creciente por sus propiedades saludables.

El β -glucano es una fuente óptima de fibra soluble para la dieta alimenticia, teniendo el grano de cebada un mayor contenido (3-12%), que la avena (2-8%) y muy superior al centeno (1-2,5%) o trigo (0,4% a 1,4%) [10]. El β -glucano de la cebada está uniformemente presente en todo el endospermo y no concentrado en las capas exteriores del grano, como en la avena. Aunque las capas exteriores se retiren mecánicamente (cebada perlada), en los copos de cebada o en la harina, el contenido de fibra permanece relativamente más alto que en la avena. Pese a ello, siguen siendo actualmente más utilizados los procedentes de avena con fines dietéticos.

Actualmente se reconoce formalmente que los β -glucanos de la cebada, además de los de la avena, contribuyen a la reducción del colesterol plasmático y la glucosa en la sangre, reduciendo los riesgos de enfermedades cardiovasculares. En 2006, la Food and Drug Administration (FDA) americana aprobó una alegación de salud (*Health Claim*) asociando al consumo de fibra soluble de cebada con la reducción del riesgo coronario y enfermedades del corazón [11]. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) publicó posteriormente en 2011 que los β -glucanos de avena y cebada mejoran la concentración del colesterol en sangre, aumentan la saciedad reduciendo la ingesta de energía y la respuesta glucémica postprandial, mejorando la función digestiva [12]. Para lograr la reducción del colesterol se requiere una ingesta regular de 3 g de β -glucanos diariamente. El mecanismo de acción de los β -glucanos se basa en dos teorías compatibles. Por un lado, se señala que los β -glucanos

son capaces de formar una capa viscosa en la pared intestinal que limita la absorción de colesterol y, por otro, se ha demostrado durante años que los β -glucanos interactúan con los ácidos biliares en el intestino, y que un cambio en su metabolismo podría ser la causa de la reducción del colesterol [13].

Cuando se desea una reducción del índice glucémico, se requieren 4 g de β -glucanos por cada 30 g de carbohidratos disponibles en una comida. De nuevo, el mecanismo de este efecto es una consecuencia del aumento de la viscosidad del bolus de los alimentos, lo que retrasa la absorción de nutrientes, cuando llega al intestino delgado. También se han atribuido a la ingesta de fibra de cebada otros efectos beneficiosos, como, por ejemplo, un aumento de la saciedad [14]. Pese a que se han publicado numerosos estudios epidemiológicos que asocian la ingesta de alimentos ricos en fibra con la reducción del riesgo de sobrepeso y diabetes tipo 2, estos efectos no han sido todavía objeto de alegaciones de salud por parte de las agencias oficiales.

En los últimos años, los β -glucanos también están recibiendo mucha atención como potenciadores del sistema inmunológico contra enfermedades infecciosas y algunos tipos de cáncer [15]. Estos estudios se originaron en la década de 1940 cuando se descubrió que una preparación de la pared celular de la levadura, mezcla compleja de proteínas, lípidos y polisacáridos, era capaz de promover inmunestimulación. Unos años después se determinó, experimentando con β -glucanos puros, que éstos eran los responsables del efecto inmunostimulador. A finales de los años 80, en la Universidad de Harvard se describió el modo de acción de este material en la estimulación del sistema inmune: hay receptores específicos para β -glucanos en las células del sistema inmunológico que cuando se activan, desencadenan una cascada de eventos que conllevan la modulación de la respuesta inmunitaria e inflamatoria.

Los macrófagos son unas células que ocupan una posición central en la respuesta inmunitaria, siendo esenciales para su iniciación (inmunidad innata) y las fases efectoras finales (inmunidad adaptativa). De hecho, los macrófagos pueden adquirir un continuo de estados funcionales, y adaptar sus funciones efectoras al entorno circundante y a las citoquinas que prevalecen en el medio extracelular. En virtud de esta plasticidad funcional, los macrófagos también son críticos para mantener el equilibrio (homeostasis) en todos los tejidos.

Pueden mostrar funciones pro o antiinflamatorias y causar daño tisular o ayudar en la reparación de tejidos. Los resultados generados en los últimos años han establecido claramente la diversidad de funciones fisiológicas de los macrófagos, que incluyen el control de la memoria y del ritmo cardiaco, la regulación de la temperatura corporal y el tiempo de tránsito intestinal. La importancia fisiológica de las funciones de los macrófagos se ejemplifica por la relevancia clínica de las patologías originadas o asociadas a funciones exacerbadas o defectuosas de los macrófagos, y entre las que destacan la obesidad y resistencia a la insulina, artritis reumatoide, arterosclerosis, fibrosis, cáncer, etc. Como consecuencia, la reprogramación de macrófagos se ha convertido en un objetivo terapéutico en una amplia gama de patologías inflamatorias crónicas.

Los macrófagos expresan una gran variedad de receptores para Patrones Moleculares Asociados a Patógenos (PAMP, por sus siglas en inglés) y Patrones Moleculares Asociados con Peligro (DAMP). Los receptores de PAMP y DAMP detectan señales de peligro de agentes exógenos (bacterias, virus, hongos) o endógenos (por ejemplo, ácido úrico) como un primer paso requerido para el inicio de respuestas inmunitarias e inflamatorias, para la eliminación efectiva de las lesiones tisulares y para la restauración del equilibrio celular o tisular. Volviendo a nuestro tema central, los β -glucanos son un PAMP típico reconocidos por macrófagos, y la unión de β -glucano a sus receptores en macrófagos tiene como consecuencia una importante estimulación de las respuestas celulares necesarias durante las respuestas inflamatorias e inmunitarias. En consecuencia, los β -glucanos presentan propiedades antitumorales, inmunomoduladoras, antígenotóxicas, antimutagénicas y antioxidantes [16], y las más recientes mejoras de las estrategias de vacunación derivan directamente de ensayos efectuados con β -glucanos procedentes de hongos.

El reconocimiento de los β -glucano por macrófagos depende de su estructura y de la presencia de receptores específicos en la membrana de los macrófagos (e.g., Dectin1, CR3). Los β -glucanos en plantas como la avena y la cebada tienen principalmente enlaces $\beta(1\rightarrow4)$, mientras que los β -glucanos de los hongos tienen un esqueleto $\beta(1\rightarrow3)$ ramificado, con enlaces cortos de $\beta(1\rightarrow6)$. Estas diferencias en la estructura, conformación y fuente de estos glucanos podrían afectar sus actividades biológicas. Hasta hace muy poco tiempo se pensaba que solo los β -glucanos fúngicos eran capaces de estimular

la inmunidad y exhibir actividades antitumorales. Sin embargo, datos muy recientes han puesto de manifiesto la existencia de receptores PAMP específicos en macrófagos para β -glucanos de plantas [17], así como un efecto positivo de éstos en la reducción del riesgo de cáncer de colon [18].

El interés creciente de los β -glucanos se pone de manifiesto en los resultados de una búsqueda en la Web of Science, servicio de información científica de Thompson Reuters, sobre sus aplicaciones potenciales en alimentación y en medicina. El número de trabajos científicos que hacen referencia a los β -glucanos ha aumentado de forma muy significativa en la última década, tal como aparece en la Figura 9. En esta figura, el valor 150% correspondiente al primer término *Cebada*, nos indica que en el decenio actual el cociente entre los números de artículos generados en la Base de Datos Principal de la Web of Science cuando se busca “barley AND *glucan*” o tan sólo “barley” ha aumentado 1,5 veces respecto al decenio anterior. En su conjunto vemos el interés de los β -glucanos en las aplicaciones biomédicas y en la alimentación animal y humana, salvo para cervezas que ha permanecido relativamente constante en los últimos 20 años.

Los arabinosilanos también son componentes importantes de la fibra dietética de la cebada. Están formados por una cadena lineal de xilosas unidas por enlaces β -glicosídicos (1 \rightarrow 4), a los cuales los residuos de arabinosa están unidos por enlaces β (1 \rightarrow 3) o β (1 \rightarrow 2) glicosídicos, o ambos ellos. El interés funcional de los arabinosilanos de cebada no ha recibido tanta atención como los β -glucanos, pero

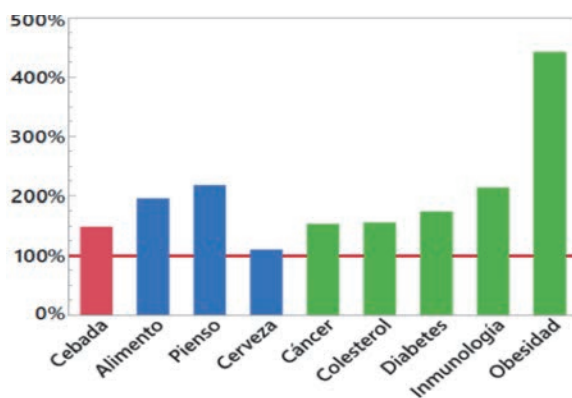


Figura 9. Aumento relativo en la proporción de trabajos científicos en el decenio 2009-2018 respecto al decenio anterior (1999-2008) que incluyen adicionalmente a “*glucan*” el término señalado en el eje de abscisas. (Elaboración propia a partir de datos de Web of Sciences).

también presentan beneficios indudables para la salud, incluidos los efectos sobre la respuesta de la glucosa posprandial, el metabolismo del colesterol y la respuesta inmunitaria [19, 20]. En la cebada además se les asocia con actividad antioxidante debido a la presencia de ácidos fenólicos ligados al polisacárido [21].

A la funcionalidad de la fibra hay que añadirle la que puedan ejercer los antioxidantes presentes en el grano [22]. La cebada contiene mayor cantidad de vitamina E que el resto de cereales, estando en forma de β -tocoferol o β -tocotrienoles. La cebada también proporciona otros nutrientes bioactivos de interés como son los ácidos fenólicos, los tocoferoles y los flavonoides. Dentro de la familia de los flavonoides se encuentran los antocianos que son pigmentos hidrosolubles que se hallan en las vacuolas de las células vegetales y le otorgan color rojo, púrpura o azul. El interés por los antocianos también se ha intensificado recientemente debido a sus propiedades farmacológicas y terapéuticas. Entre ellas destacan su actividad antioxidante además de antiinflamatorias y anticancerígena [23]. En cereales se ha descrito la presencia de antocianos en maíz, arroz, trigo y cebada. En el caso de la cebada, existe una gran diversidad de genotipos locales con semillas púrpuras, azules, amarillas y negras. Estos genotipos se han seguido cultivando durante siglos por diferentes motivos. Por ejemplo, en Siria las cebadas negras se han considerado más nutritivas para la alimentación animal y en el Tíbet se han mantenido estos cultivos coloreados por ser más resistentes a diferentes estreses bióticos y abióticos [24]. En Estados Unidos los antocianos se consideran la fuente más importante de flavonoides de la dieta y los cereales se presentan como un recurso complementario a otros alimentos como frutas y verduras no tan consumidos por esta población [25].

El patrón de distribución de β -glucanos y arabinosilanos dentro del grano es particular para cada cereal. En la cebada, mientras que los arabinosilanos están presentes principalmente en las capas externas del grano y en las paredes del endospermo, los β -glucanos son más abundantes en el endospermo del grano, específicamente en las paredes de las células que adjuntan los gránulos de almidón [19]. La ubicación de los compuestos fenólicos tampoco es homogénea, ya que también son más abundante en las capas externas del endospermo, principalmente en la capa de aleurona. En consecuencia, la diferente composición de los ingredientes derivados del pro-

ceso de molienda y perlado ofrece la posibilidad de tener varias fracciones para seleccionar las mejores para producir alimentos ricos en fibra nativa y fenoles [26]

Más allá del interés incuestionable y creciente de estos compuestos bioactivos presentes en la cebada, nos sirven como ejemplo paradigmático del enorme potencial, la mayoría de las veces inexplorado, que los cultivos agrícolas tienen no sólo para producir alimentos, sino para mejorar la salud de los consumidores.

LA CEBADA PARA ALIMENTACIÓN ANIMAL

La cebada es el principal cereal utilizado en la fabricación de piensos en España con una cantidad próxima a los 3,5 Mt/año. En España se cultivan dos tipos de cebada: la de dos carreras, a veces denominada cervecera (aunque no todas las cebadas de dos carreras se emplean para la producción de malta) y la de seis carreras o cebada pienso.

Volviendo al académico, D. Enrique Sánchez-Monge, cuatro son, a mi juicio, sus principales contribuciones a la agricultura, una de ellas centrada en la cebada pienso. La primera, el efecto multiplicador de su actividad formadora de numerosas generaciones de agrónomos españoles e iberoamericanos. La segunda, la obtención de los primeros triticales hexaploides a partir del cruzamiento entre el trigo duro y el centeno. Su amigo Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz, Académico Correspondiente de esta Real Academia, me dijo una vez que su interés por el triticales y su decisión de lanzar un programa de mejora genética de esta especie en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo le había surgido de la observación de los primeros triticales de D. Enrique en el primer congreso internacional de Trigo celebrado en 1958 en Winnipeg, Canadá. La tercera, su afán, como buen filatélico que era, de recolectar y clasificar los recursos genéticos de los cereales españoles (fundamentalmente cebada, maíz y trigo, que en la segunda mitad del siglo XX estaban en riesgo cierto de erosión). Finalmente, la cuarta, la obtención en los años 50 del siglo pasado de la variedad de cebada "Albacete" para la alimentación animal, muy adaptada a los secanos españoles más duros, con un impacto económico directo en la segunda mitad del siglo pasado estimado en miles de millones de las antiguas pesetas.

¿Por qué Albacete producía más que otras variedades en las condiciones de cultivo más duras? ¿Por qué una variedad está mejor adaptada que otras? El trabajo de William Gosset, en Guinness, se centraba en este problema aparentemente trivial y que sigue preocupando a todos los que nos dedicamos a la agricultura: *“El objetivo de ensayar variedades de cebada es determinar cuál será la más rentable para el agricultor ... dado que el rendimiento es muy variable de un año a otro y de una localidad a otra, es un asunto difícil para obtener evidencia concluyente”*. Alonso de Herrera en su tratado de 1513, *“Obra de Agricultura compilada de diversos autores”* más tarde conocido como *“Agricultura general”* ya escribió *“De la mala simiente nunca sale buen fruto, sino es por obra de muy buen tiempo”* Estos dos textos constatan la dificultad de predecir el rendimiento de una cosecha en una u otra localidad en presencia de interacción entre el genotipo y el ambiente. De hecho, la elección de variedades es un paso crítico que determina fuertemente la sostenibilidad de un sistema agrícola. Los agricultores tienen que elegir la mejor variedad para sus condiciones y limitaciones locales. Esta decisión se basa fundamentalmente en la expectativa de retorno económico derivadas de un rendimiento esperado dadas las limitaciones ambientales, económicas y sociales. Como decía Gosset, es muy difícil identificar la “mejor” variedad de un conjunto de ensayos de campo con diversas condiciones ambientales con variedades candidatas sometidas a complejos estreses bióticos y abióticos, ya que las interacciones de variedad por ambiente causan cambios de rango entre las variedades de una a otra localidad. Esta interacción Genotipo por Ambiente (GE, por sus siglas en inglés) debilita la asociación entre fenotipo y genotipo reduciendo el progreso genético en los programas de mejora genética. En términos estadísticos, GE describe una situación en la que el efecto de dos factores, genotipo y ambiente, sobre una tercera variable dependiente continua no sigue un modelo aditivo, por lo que se precisa la inclusión de términos específicos adicionales para poder llegar a predecir el valor de un genotipo particular en un ambiente determinado. A lo largo de los últimos decenios hemos ido incorporando modelos estadísticos de complejidad creciente: modelos lineales básicos, técnicas de agrupamiento de genotipos y de ambientes, modelos lineales-bilineales, modelos mixtos que incluyen variables ambientales o regresión factorial ambiental, regresión factorial genotípica y regresión factorial genotípica y ambiental [27, 28]. Para-

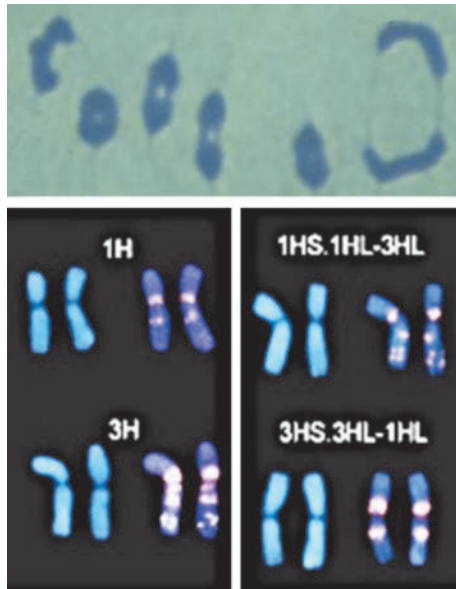


Figura 10. Translocación recíproca presente en la variedad de cebada Albacete. En la parte superior se observan, en la primera metafase meiótica I del cruzamiento entre “Albacete” x “Plaisant”, cinco bivalentes y un cuadrivalente. En la parte inferior se identifican los brazos cromosómicos involucrados en la translocación mediante hibridación fluorescente *in situ*. Los cromosomas de la izquierda corresponden a la variedad “Plaisant”, los de la derecha a “Albacete”.

lamente se están empezando a desarrollar estrategias de *big data*, que pretenden integrar todo tipo de datos ambientales, de manejo y genéticos de los nuevos cultivares y de sus regiones objetivo de cultivo de cara a la recomendación varietal.

Curiosamente, la variedad “Albacete” obtenida por Sánchez-Monge presenta un cambio cromosómico estructural muy poco frecuente. Es portadora de una gran translocación recíproca espontánea entre el brazo corto del cromosoma 1 y el largo del cromosoma 3 (Figura 10) [29]. Este cambio estructural produce esterilidad cuando se cruza con otras líneas y podría ser la razón por la que, pese a su importancia, “Albacete” no se ha empleado con éxito en programas de mejora de cebada. Se ha planteado la hipótesis de que su popularidad entre los agricultores, de secano de zonas semiáridas, pudiera deberse a la presencia de esta translocación. Para ello estudiamos los efectos agronómicos de esta translocación en distintos ambientes en un conjunto de 245 líneas haploides duplicadas derivadas de cuatro cruces que involucran “Albacete”. Los resultados mostraron un efecto positivo significativo de la translocación en el peso de mil gra-

nos y una interacción significativa entre la translocación y el ambiente para resistencia al encamado y para el número de hijuelos [30]. Sin embargo, los resultados no respaldan la hipótesis de que este cambio estructural cromosómico proporciona una mayor adaptación, en términos de rendimiento, a los ambientes de bajo rendimiento.

Más allá del interés de continuar con la mejora del rendimiento potencial y de la adaptación de las nuevas variedades, en el ámbito de la nutrición animal están apareciendo nuevas formas de cebada. En Canadá, un país como en España con déficit de maíz, se están utilizando cebadas desnudas para la alimentación de la ganadería porcina puesto que la fibra de las cubiertas del grano aporta nutricionalmente muy poco. En Australia, también se ha ensayado la utilización de cebadas cerosas en alimentación animal. La matriz proteica en el endospermo de la cebada hace que sea más fácilmente digerible y su gelatinización a temperaturas más bajas favorece la dureza y estabilidad de los granulados de los piensos. Otro tipo de variedades de cebada interesantes en alimentación animal, son las variedades ricas en β -glucanos. Además de sus efectos hipocolesterolémicos e hipoglucémicos, causados por su viscosidad, estas cebadas parecen presentar un interesante papel en la actividad lactogénica. Sawadogo *et al.* [31] administraron un extracto de cerveza liofilizado a ovejas por vía oral, dando lugar a una marcada inducción de la síntesis de β -caseína en las glándulas mamarias. Cuando la misma fracción se administró a ovejas por vía intravenosa, se estimuló la secreción de prolactina. Finalmente, los mutantes de alta amilosa, altos en almidón resistentes, también presentan gran interés para ciertos piensos especiales de monogástricos, por ejemplo, como alternativa al uso de antibióticos en la dieta de destete de lechones y para la producción de canales de mayor calidad.

LA CEBADA PARA MALTA Y CERVEZA

Jaime Conde dedicó la mayor parte de su vida profesional al mundo de la cerveza. La cebada malteada es la principal fuente de carbohidratos y de enzimas para la producción de cerveza y de güisqui. De acuerdo al Informe Cerveceros 2017 [32], se cultivaron en este año en España alrededor de 320.000 hectáreas de cebada para producir medio millón de toneladas de malta. El consumo de cer-

veza en España está creciendo a un ritmo superior al de la Unión Europea, hasta alcanzar casi 40 millones de hectolitros (más de 12 campos de fútbol de 105*70 de 50 m de altura) siendo España el cuarto productor en la Unión Europea, detrás de Alemania y no muy alejado de Reino Unido y Polonia. Curiosamente, pese a tener un consumo per cápita de cerveza (48 l/año) menor que el promedio de la Unión Europea(71 l/año) y debido en gran parte al turismo, es el tercer país europeo en volumen total consumido a nivel nacional [33]. Existen en España más de 520 cerveceras activas repartidas por todo el territorio nacional. España no es ajena al movimiento de proliferación de micro cervecerías artesanas e independientes, pero que todavía siguen teniendo poca importancia en términos cuantitativos. Así, seis grupos empresariales controlan más del 98 % de la producción nacional, tres grandes empresas [*Mahou - San Miguel* (con 38 marcas y 33% del total),*Heineken* (44 marcas y un 28%) y *Grupo Damm* (25 marcas y 26%)] y tres medianas [*Hijos de Rivera* (21 marcas y 7.4%), *Compañía Cervecera de Canarias* (20 marcas y 2.3%) y *La Zaragozana* (25 marcas y 1.1%)]

El sabor de la cerveza se atribuye fundamentalmente al tipo de malta, al lúpulo y a la levadura, minusvalorando en gran medida la contribución de la variedad de cebada y las condiciones específicas de su cultivo. De hecho, una misma variedad de cebada sirve para elaborar múltiples maltas según sea su grado de modificación y de tostado. Por ello, no es sorprendente que la contribución del genotipo de cebada al sabor de la cerveza no haya sido estudiada en profundidad. Se da más importancia al rendimiento en extracto fermentable, viscosidad y color de una variedad, que a su posible contribución al sabor final de la cerveza. Sin embargo, se sabe que ciertas variedades de cebada tienen notables atributos de calidad, suficientes para fomentar su producción por encima de variedades más modernas de mayores rendimientos agronómicos y/o de malteado superiores. En este sentido, cabe señalar la contradicción que supone la existencia de la variedad escocesa de cebada “Golden Promise” obtenida hace más medio siglo mediante mutagénesis con rayos gamma, que se ha venido empleando para la fabricación de güisqui de la más alta calidad y que da incluso nombre a una reconocida cerveza con etiqueta orgánica y que hoy probablemente, de acuerdo a las nuevas normativas de la Unión Europea, exigiría un registro análogo a los transgénicos, lo que impediría su comercialización.

Las microcerveceras en su afán de diferenciarse de la competencia buscan nuevos productos y nuevos mercados, las cervezas locales o de proximidad, por lo que están generando, particularmente en EEUU, nuevos estudios centrados en la importancia de los aspectos genotípicos y ambientales en el sabor del producto final. Así, estudios recientes en los que he tenido la suerte de participar, han puesto claramente de manifiesto la contribución de la variedad de cebada al sabor de la cerveza [34]. Se han encontrado diferencias importantes entre genotipos para múltiples descriptores del sabor: floral, afrutado, miel, malta, tostada, existiendo una base genética (heredabilidad, QTLs, genes candidatos) para su control. Sin embargo, la selección de las variedades de cebada para malta está determinado en gran medida por la productividad, la estabilidad y la rentabilidad. Tampoco se conocen con precisión de qué manera las características específicas de las zonas de cultivo pueden contribuir al sabor y a la calidad de la cerveza. Este hecho contrasta con el término “*terroir*” o “*terruño*” que se aplica a los vinos y otros productos agrícolas en los que las condiciones del cultivo cobran vital importancia. Durante las últimas décadas ha habido progresos considerables particularmente en la industria del vino y de otras bebidas alcohólicas e incluso recientemente ha aparecido el término *terroir* en algunos productos como el café, el cacao u otros cereales de invierno, como el trigo. En este contexto estamos trabajando estrechamente con un grupo cervecero nacional para evaluar en España la hipótesis que sostiene que la variedad de cebada y su zona de cultivo, no sólo contribuyen a las propiedades del grano, de la malta y del mosto, sino que además influyen de manera directa en las propiedades gustativas de la cerveza resultante.

LA CEBADA COMO ALIMENTO HUMANO

La cebada fue un alimento fundamental en la antigüedad; sin embargo, a medida que el centeno y el trigo ganaban importancia para la fabricación de pan en la Edad Media, fue desapareciendo prácticamente de nuestras dietas sólidas, empleándose fundamentalmente en la producción de piensos y en menor grado, en la fabricación de cerveza y güisqui. El motivo se debe al menor contenido relativo de gluten de la cebada respecto al trigo, proteína que hace que el pan se hinche, tenga mejor textura, aumente la retención de

agua y esté más tiempo blando. Sin embargo, aún existen algunos países particularmente de Asia y del Norte de África los que la cebada continúa siendo un componente básico en la dieta de sus habitantes. En estos países, el consumo va disminuyendo a medida que aumentan su renta, pero todavía hoy es claramente superior a nivel global que la avena, considerado en la sociedad occidental como modelo de cereal saludable.

La sociedad actual más desarrollada reclama que los productos agrícolas permitan una alimentación saludable. No se trata sólo de saciar el hambre y de recibir los nutrientes necesarios, sino que los alimentos también prevengan enfermedades causadas por una dieta deficiente o inadecuada y que potencien la mejora de la salud general. Existe una preocupación mundial sobre los riesgos de la obesidad, la diabetes tipo II y la enfermedad cardiovascular y un aumento simultáneo en el interés de los beneficios que el grano integral puede aportar a la dieta. El aumento de la ingesta diaria de cereales integrales en 90 g se ha asociado con la reducción de la mortalidad por enfermedad cardiovascular en un 27%, el cáncer total en un 15%, la enfermedad respiratoria en un 22%, la diabetes en un 51% y las enfermedades infecciosas en un 26%, según indica un meta análisis reciente de 45 estudios prospectivos [35].

Los cultivos necesitan tener mayor diversidad en número y calidad, ser más eficientes y permitir producir alimentos más saludables. En este contexto, la cebada y los otros cereales están recibiendo atención como fuente de alimentos saludables, apareciendo distintas iniciativas internacionales dirigidas hacia su utilización en una nutrición preventiva. A nivel europeo existe en Finlandia un foro constituido por una red de universidades, institutos e industrias interesadas en cereales y productos derivados. Su visión es que: *“los alimentos a base de granos integrales y altos en fibra ayudan a los consumidores en el mantenimiento de la salud en todo el mundo, ayudan a reducir los costos de atención médica y proporcionan un valor agregado para las empresas en la cadena de producción desde la granja hasta la mesa* [36]. Anthony Farder del INRA francés, en un artículo de revisión reciente, propone incorporar el potencial saludable de los cereales a los aspectos más agrícolas. *“Un sector de cereales más sostenible preservaría el medio ambiente (sostenibilidad ambiental) y promovería la salud (sostenibilidad fisiológica) a un precio aceptable para los consumidores (sostenibilidad socioeconómica). ...La mejora del valor nutricional de los cereales en*

el marco de un desarrollo sostenible debe implicar la contribución concertada de diferentes actores del sector” [37].

Los distintos sectores canadienses involucrados en la cadena productiva de los cereales crearon en el año 2012 el *Healthy Grain Institute* que tiene como objetivo “proporcionar a los canadienses información basada en estudios científicos sobre los beneficios del trigo y otros cereales como una parte importante de una dieta saludable y equilibrada... Para la mayoría de los canadienses, la salud y el bienestar son lo más importante. Con tanta información contradictoria sobre alimentos que contienen cereales, elegir lo que pone en su plato puede resultar confuso ... La incorporación de alimentos a base de cereales, como pan, pasta, cereales e incluso palomitas de maíz, en su dieta puede ayudar a lograr un control de peso exitoso y duradero” [38].

El CSIRO australiano ha ido un paso más allá, creando una empresa propia, de nombre idéntico al instituto canadiense, *Healthy Grain* con el objetivo de “proporcionar cereales integrales naturales, nutricionalmente equilibrados y que mejoran la salud y el bienestar de las personas de todo el mundo. Estamos comprometidos a proporcionar un valor excepcional a nuestros clientes, utilizando la investigación, el desarrollo y la educación al consumidor de vanguardia” [39] En particular, *Healthy Grain* ya dispone de genotipos de cebadas libres de gluten para la producción de cerveza; cebadas y trigos de alta amilosa, trigos de alto β -glucano.

En este contexto, desde nuestro grupo de Lleida, conjuntamente con el Dr. Luis Cistué de la Estación Experimental de Aula Dei, del CSIC, y con la empresa Semillas Batlle de Bell-Lloc d’Urgel de Lleida, estamos trabajando en desarrollar nuevas variedades de cebada con propiedades saludables para alimentación humana (Figura 11), en colaboración con el Prof. Patrick Hayes de la Universidad Estatal de Oregón en Corvallis (EEUU) y el Dr. William Thomas del Instituto James Hutton de Dundee (Escocia, Reino Unido). Ya se han registrado tres variedades de alto contenido en β -glucano y adaptadas a España: “Kamalamai”, de dos carreras, grano vestido, endospermo ceroso y elevado rendimiento; “Annapurna”, de dos carreras, grano desnudo y endospermo ceroso; “Rajapani”, de seis carreras y grano desnudo. Para una segunda fase, ya disponemos en la actualidad de más 500 líneas desnudas, de alto contenido en β -glucano, muchas de ellas coloreadas, con alta actividad antioxidante que están en ensayos en Lleida, Corvallis y Dundee. Finalmente, también se han lle-



Figura 11. Genotipo avanzado de cebada de grano desudo, alto contenido en β -glucanos y antocianos (Fotografía: Dr. Luis Cistué, Estación Experimental de Aula Dei, CSIC).

vado a cabo los primeros cruzamientos para incorporar el carácter de alta amilosa en los materiales descritos anteriormente a partir de una línea mutante de origen canadiense.

Sin embargo, el reto más importante al que nos enfrentamos, no es el de obtener nuevas variedades de cebada más ricas en productos saludables, sino conseguir que lleguen al mercado en forma de, fundamentalmente, derivados de panificación, repostería, pasta alimenticia o cereales de desayuno o barras energéticas. El hecho de que la distribución de los compuestos bioactivos en el grano de cebada no sea homogénea, brinda la oportunidad de obtener harinas enriquecidas en determinados componentes mediante fraccionamiento físico con contenidos en compuestos fenólicos muy altos (Figura 12). Las fracciones más externas son particularmente ricas en productos antioxidantes mientras que las internas lo son en β -glucanos. La inclusión de algunas de estas fracciones en formulaciones de pasta alimenticia y pan, ha permitido un aumento significativo en la fibra dietética total, β -glucanos y actividad antioxidante, así como niveles más altos de almidón de digestión lenta. Los extractos concentrados de β -glucanos de cebada también se han incorporado

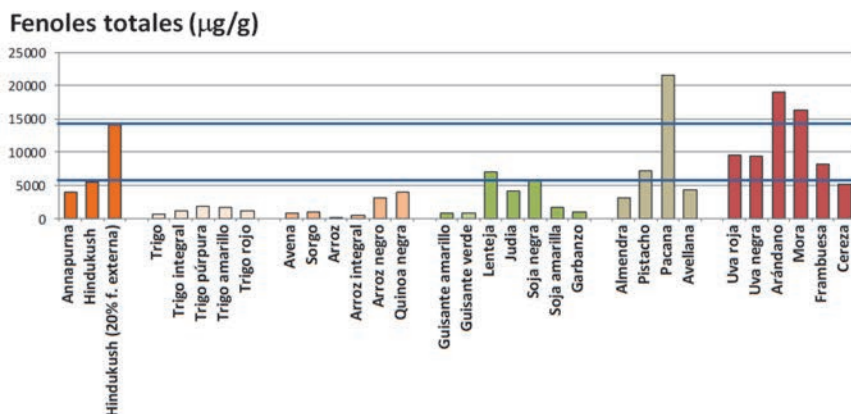


Figura 12. Compuestos fenólicos totales en harinas integrales de dos cebadas “Annapurna” e “Hindukush” y en la fracción externa de esta última variedad, relativa a otros productos vegetales (Fuente: Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior R.L. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 4026–4037).

como ingrediente nutracéutico en alimentos de cereales procesados. Se pueden obtener mediante métodos de molienda y clasificación por aire, o bien mediante extracción con solventes acuosos.

En base a los materiales ya disponibles, ya sea harinas integrales, fracciones externas ricas en compuestos fenólicos y extractos solubles de β -glucanos no es difícil obtener galletas que permitan satisfacer los requerimientos establecidos por las agencias oficiales y con alta actividad antioxidante [40]: (1) reducción del riesgo de enfermedad coronaria proporcionando al menos 0,75 g de β -glucano por ración; (2) reducción del colesterol en la sangre con una ingesta diaria de 3 g de β -glucano de cebada; (3) reducción del aumento de glucosa en sangre después de las comidas con alimentos que contienen al menos 4 g de β -glucano de avena o cebada por cada 30 g de carbohidratos. En el Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Lleida también se está investigando en nuevas formas de presentación como, incluso, hamburguesas veganas

Con estos nuevos materiales también estamos colaborando con dos grupos del Instituto de Recerca Biomédica de Lleida y del Hospital Universitario Central de Asturias, en la utilización clínica de los β -glucanos de cebada. El grupo de nefrología asturiano está estudiando el efecto de extractos solubles como protectores vasculares debido a su potencial anti-inflamatorio en enfermos renales y en adultos mayores

normales. ¿Por qué los gladiadores, *hordearii*, se alimentaban de cebada? Probablemente porque no se les daba ninguna otra opción, pero, además de sus beneficios potenciales como alimentos, en Lleida se ha puesto de manifiesto que el β -glucano de cebada acelera la cicatrización de heridas al favorecer la migración versus la proliferación de fibroblastos dérmicos humanos [41]. Teniendo en cuenta su actividad principal, puede que no haya sido una mala opción.

COOPERACIÓN INTERNACIONAL

No quiero acabar esta presentación sin referirme, aunque sea de una manera muy breve, a la cooperación científico-técnica internacional a la que he dedicado una parte significativa de mi vida profesional en el ámbito geográfico del Mediterráneo y de Iberoamérica, áreas estratégicas para nuestro país. Cuando las autoridades de dos instituciones internacionales se reúnen por primera vez, muchas veces suelen firmar un memorándum de entendimiento en el que expresan la intención de emprender una línea de acción común, generalmente, en el ámbito de la enseñanza superior o de la investigación científico-técnica. Desgraciadamente, muchas veces estos acuerdos no tienen continuidad y se quedan en una declaración de intenciones sin ningún contenido real. Sin embargo, la colaboración internacional, particularmente en ámbitos como la educación superior y la investigación y el desarrollo, debería ser una actividad fundamental. Es una lástima que no siempre se encuentre entre las prioridades gubernamentales, de manera que es una de las primeras actividades que sufren restricciones económicas en épocas de crisis, como las que me ha tocado vivir en primera persona.

Sirvan también estas últimas líneas para rendir un reconocimiento a dos centros en los que he desarrollado parte de mi trayectoria profesional: la Estación Experimental de Aula Dei del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, en su 75 aniversario; y el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ) del Centro Internacional de Altos Estudios Agronómicos Mediterráneos (CIHEAM) localizado en el mismo Campus en su 50 aniversario. Pero, sobre todo, quiero extender este reconocimiento al impulsor de ambas instituciones, el ingeniero agrónomo aragonés D. Ramón Esteruelas. D. Ramón fue un personaje único, ilustre ingeniero y diplomático, auténtico adelantado a su tiempo. La idea de la creación del CIHEAM, surgió a mediados

del siglo pasado en una reunión del Comité de Agricultura de la OCDE a propuesta de D. Ramón, delegado español. Como se menciona en el libro del 50 Aniversario del CIHEAM (1962-2017) [42] *“Es este contexto geopolítico de una Europa movilizada por la paz y el desarrollo, un hombre originario de un país no perteneciente a la CEE concibió la idea de una comunidad agronómica mediterránea, el español Don Ramón Esteruelas”*. Hay que reconocer el mérito de D. Ramón que fue capaz de aglutinar en 1962 los intereses de Gobiernos tan distintos como los de la España de Franco, de la República Francesa de De Gaulle, de la Grecia de Karamanlis, de la Democracia Cristiana italiana, de Portugal de Salazar, de la República Turca militar y laica y de la República Popular de Yugoslavia de Tito, todos ellos firmantes del acuerdo original por el cual se creaba el Centro Internacional. D. Ramón inspiró la redacción de unos documentos en los que ponía de manifiesto la naturaleza específica de la agricultura mediterránea con fundamentos geográficos, geológicos, climáticos y humanos comunes y en donde, 25 años antes de la creación del programa Erasmus y anticipándose 30 años a la Declaración de Bolonia, se comprometían a iniciar una estrecha cooperación para el establecimiento de una enseñanza superior común, complementaria a la que se daba en los citados países. D. Ramón también supo reconocer hace más de 70 años, el interés de incorporar talento extranjero a centros nacionales. En esta era de las secuencias genéticas, de la genómica y otras múltiples -ómicas, de las TICS, de la inteligencia artificial, muchos de ustedes tal vez no sepan que uno de los hitos en la biología humana, conocer el número de cromosomas humanos, se escribió en Aula Dei por un investigador indonesio de origen chino Joe Hin Tjio, contratado en 1948 por D. Ramón, a instancias de Enrique Sánchez-Monge, con el que había trabajado en Suecia.

De la misma manera que la agricultura en general, y la cebada en particular, se extendió extraordinariamente mediante el intercambio del conocimiento y de material genético a lo largo del tiempo, lo que permitió el desarrollo y evolución social de todos los pueblos, las actividades de cooperación internacional pueden tener un efecto positivo extraordinario para todos los involucrados en las mismas y desde todas las instancias como desde la Real Academia de Ingeniería, debemos impulsarlas.

Muchas gracias a todos ustedes por su atención.

REFERENCIAS

- [1] Araus J.L., Slafer GA, Romagosa I, Molist M. 2001 Estimated Wheat Yields During the Emergence of Agriculture Based on the Carbon Isotope Discrimination of Grains: Evidence from a 10th Millennium BP Site on the Euphrates. *Journal of Archaeological Science* 28(4): 341-350.
- [2] Discovery Channel. 2011. How beer saved the world. *The Internet Archive*. https://archive.org/details/videofile_201608, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [3] Ziliak ST. 2019. How Large Are Your G-Values? Try Gosset's Guinnessometrics When a Little "p" Is Not Enough, *The American Statistician*, 73:sup1, 281-290.
- [4] <https://www.npr.org/sections/thesalt/2019/06/23/730718588/tsampa-the-tibetan-cereal-that-helped-spark-an-uprising>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [5] <https://www.facebook.com/TibetanTsampaRevolution/>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [6] Moreno FM, Igartua E, Solis I. 2017. Barley Types and Varieties in Spain: A Historical Overview. *Ciencia e investigación agraria*, 44(1):12-23.
- [7] Molina-Cano JL, Gómez-Campo C, Conde J. 1982. *Hordeum spontaneum* C. Koch as a weed of barley fields in Morocco. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 88:161-167.
- [8] Baik BK, Ullrich SE. 2008. Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of cereal science*, 48(2):233-242.
- [9] Regassa A, Nyachoti CM. 2018. Application of resistant starch in swine and poultry diets with particular reference to gut health and function. *Animal nutrition*, 4(3):305-310.
- [10] Lazaridou A, Biliaderis CG. 2007. Molecular aspects of cereal β -glucan functionality: Physical properties, technological applications and physiological effects. *Journal of cereal science*, 46(2):101-118.
- [11] <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.81>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [12] <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2207.htm>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [13] Kahlon TS, Woodruff CL. 2003. In vitro binding of bile acids by rice bran, oat bran, barley and β -glucan enriched barley. *Cereal Chemistry*, 80(3):260-263.
- [14] Cioffi I, Ibrugger S, Bache J, Thomassen MT, Contaldo F, Pasanisi F, Kristensen M. 2016. Effects on satiation, satiety and food intake of wholegrain and refined grain pasta. *Appetite* 107:152-158.
- [15] Hong F, Yan J, Baran JT, Allendorf DJ, Hansen RD, Ostroff GR, Xing PX, Cheung NKV, Ross GD. 2004. Mechanism by which orally administered β -1, 3-glucans enhance the tumoricidal activity of antitumor monoclonal antibodies in murine tumor models. *The Journal of Immunology*, 173(2):797-806.
- [16] Bashir KM, Choi JS. 2017. Clinical and physiological perspectives of β -glucans: The past, present, and future. *International journal of molecular sciences*, 18(9):1906.

- [17] de Graaff P, Govers C, Wichers HJ, Debets R. 2018. Consumption of β -glucans to spice up T cell treatment of tumors: a review. *Expert opinion on biological therapy*, 18(10): 1023-1040.
- [18] Castro-Alves VC, Prado SBRD, Ferreira GF, Fabi JP. 2019. Ingestion of non-digestible carbohydrates from plant-source foods and decreased risk of colorectal cancer: A review on the biological effects and the mechanisms of action. *Frontiers in nutrition*, 6: 72.
- [19] Izydorczyk MS, Dexter JE. 2008. Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International*, 41(9): 850-868.
- [20] Fadel A, Mahmoud AM, Ashworth JJ, Li W, Ng YL, Plunkett A. 2018. Health-related effects and improving extractability of cereal arabinoxylans. *International journal of biological macromolecules*, 109: 819-831.
- [21] Malunga LN, Beta T. 2015. Antioxidant capacity of water-extractable arabinoxylan from commercial barley, wheat, and wheat fractions. *Cereal Chemistry*, 92(1): 29-36.
- [22] Gangopadhyay N, Rai DK, Brunton NP, Gallagher E, Hossain MB. 2016. Antioxidant-guided isolation and mass spectrometric identification of the major polyphenols in barley (*Hordeum vulgare*) grain. *Food Chemistry* 210: 212–220.
- [23] Shipp J, Abdel-Aal ESM. 2010. Food applications and physiological effects of anthocyanins as functional food ingredients. *The Open Food Science Journal*, 4(1).
- [24] Choo TM, Vigier B, Ho KM, Ceccarelli S, Grando S, Franckowiak JD. 2005. Comparison of black, purple, and yellow barleys. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 52(2): 121-126.
- [25] Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt SE, Prior R.L. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 4026–4037.
- [26] Suriano S, Iannucci A, Codianni P, Fares C, Russo M, Pecchioni N, Marciello U, Savino M. 2018. Phenolic acids profile, nutritional and phytochemical compounds, antioxidant properties in colored barley grown in southern Italy. *Food Research International* 113: 221–233.
- [27] Romagosa I, Borràs-Gelonch G, Slafer G, van Eeuwijk, F., 2013. Genotype by Environment Interaction interaction and Adaptation. *Sustainable Food Production*: 846-870.
- [28] Bustos-Korts D, Romagosa I, Borràs-Gelonch G, Casas AM, Slafer GA, van Eeuwijk F. 2019. Genotype by Environment Interaction and Adaptation. In: Savin R, Slafer G. (eds) Crop Science. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series. Springer, New York, NY

- [29] Farré Martínez A, Cuadrado A, Lacasa I, Cistué, L, Schubert I, Comadran J, Jansen J, Romagosa I. 2012. Genetic characterization of a reciprocal translocation present in a widely grown barley variety. *Molecular Breeding*, 30(2): 1109–1119.
- [30] Farré, Martínez A, Visioni A, Lacasa-Benito I, Cistué L, Jansen J, Romagosa I. 2012. Agronomic effects of a reciprocal translocation in a widely grown Spanish barley variety. *Euphytica*, 185(1): 119-122.
- [31] Sawadogo L, Sepehri H, Houdebine LM. 1989 Evidence for a stimulating factor of prolactin and growth hormone secretion present in brewery draff. *Reproduction, Nutrition, Development*, 29:139-146.
- [32] https://cerveceros.org/uploads/5b30d4612433a__Informe_Cerveceros_2017.pdf, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [33] <https://brewersofeurope.org/site/countries/key-facts-figures.php>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [34] Herb D, Filichkin T, Fisk S, Helgerson L, Hayes P, Meints B, Jennings R, Monsour R, Tynan S, Vinkemeier K, Romagosa I, Moscou M, Carey D, Thiel R, Cistue L, Martens C, Thomas W. 2017. Effects of barley (*Hordeum vulgare* L.) variety and growing environment on beer flavor. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75(4): 345-353.
- [35] Aune D, Keum N, Giovannucci E, Fadnes LT, Boffetta P, Greenwood DC, Toststad S, Vatten LJ, Riboli E, Norat T. 2016. Whole grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all cause and cause specific mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *BMJ*, 353, p.i2716.
- [36] <https://healthgrain.org/>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [37] Fardet A. 2014. How can both the health potential and sustainability of cereal products be improved? A French perspective. *Journal of Cereal Science*, 60(3): 540-548.
- [38] <https://healthygrains.ca/home>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [39] <https://www.thehealthygrain.com/>, consultado el 29 de agosto de 2019.
- [40] Martínez-Subirà M, Romero MP, Puig E, Romagosa I, Moralejo M. Hull-less high β -glucan barley genotypes as a source of bioactive compounds in healthy biscuits (*en evaluación*)
- [41] Fusté NP, Guasch M, Guillen P, Anerillas C, Cemeli T, Pedraza N, Ferrezuelo F, Encinas M, Moralejo M, Garí E. 2019. Barley β -glucan accelerates wound healing by favoring migration versus proliferation of human dermal fibroblasts. *Carbohydrate polymers*. 210:389-98.
- [40] https://www.ciheam.org/uploads/attachments/37/50anniversary_CIHEAM.pdf, consultado el 29 de agosto de 2019.

CONTESTACIÓN

EXCMO. SR. D. ELÍAS FERERES CASTIEL

Excelentísimos señores académicos,
distinguidas autoridades, señoras y señores.

En mi opinión, entre todas las actividades de esta Academia, no hay mayor honor ni mayor placer que lo que me dispongo a hacer a continuación, esto es, dar la bienvenida a un nuevo académico.

Eran las ocho de la mañana y el profesor se disponía a cerrar la puerta de la clase con llave, no se podía llegar tarde. A esas alturas, después de más de tres años en la Escuela, nada extrañaba. Pero esa no era la única excentricidad de ese señor tan serio. Avanzado el curso, el profesor pretendía que hiciéramos individualmente un plan de mejora genética que debía basarse en su vasto fichero de publicaciones científicas, la gran mayoría en inglés, que llamaba separatas. Fue la primera vez que un profesor nos ponía en contacto directo con la investigación, nunca antes habíamos leído artículos científicos. Ese primer contacto debió ser también decisivo para nuestro académico electo pues poco tiempo después de acabar la carrera, se encaminaría por la senda de la investigación, precisamente en el mismo campo que el del citado profesor de genética, que no era otro que nuestro académico constituyente, el Excmo. Sr. D. Enrique Sánchez Monge. En el caso de Ignacio Romagosa, no cabe duda que a ese primer contacto con don Enrique siguieron muchos otros, de los que marcan una vida.

Ignacio Romagosa Clariana nació en Tarragona y estudió ingeniero agrónomo en la Escuela de la Universidad Politécnica de Madrid, donde acabó en 1978 como primero de su promoción y Premio Nacional Fin de Carrera. Comenzó su labor profesional en otoño de 1978 en la Estación Experimental de Aula Dei, perteneciente al CSIC, en Zaragoza. Apoyado por un proyecto de investigación del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano, marchó en 1979 al Crop Research Lab del servicio de investigación agraria del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-ARS), ubicado en la Uni-

versidad del Estado de Colorado en Fort Collins (CSU). El objetivo era especializarse en mejora genética, cursando a la vez los estudios de Master en genética de plantas, título que obtuvo en un año en lugar de dos que era la duración habitual. Ello le permitió encauzar los estudios de doctorado en la misma universidad, obteniendo brillantemente el Ph.D. en agronomía en 1982, igualmente en un tiempo menor del habitual. Posteriormente, obtendría el grado de doctor en la Universidad Politécnica de Madrid en 1983.

Aunque la gran mayoría de las buenas universidades norteamericanas, entre las que se cuenta CSU, sólo otorgan el grado de Ph.D. en ciencias básicas, el caso es que Ignacio obtuvo su Ph.D. en agronomía. El origen etimológico del término agronomía es bien simple, se deriva de dos palabras griegas, *agrós*, campo, y *nómos*, ley, o sea, las leyes del campo. La agronomía es un conjunto de conocimientos que, bien utilizados, permiten al hombre explotar los ecosistemas indefinidamente. Es una ciencia integradora que abarca muy diversas disciplinas relacionadas con la agricultura, por lo que es fácil deducir que la formación de ingeniero agrónomo que recibió en Madrid nuestro académico, se completó de la mejor manera posible con su Ph.D. en agronomía. A pesar de haberse especializado en mejora genética, dicha formación le ha permitido tener una perspectiva más amplia que ha marcado su trayectoria profesional como agrónomo, en el mejor sentido de la palabra.

Últimamente los agrónomos estamos de moda, si bien por razones negativas. Parece que ya se ha encontrado al culpable del cambio climático que este verano ha atormentado particularmente a los vecinos del académico electo. Según el New York Times, la producción de carne y leche es culpable del 14,5 % de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Noten que no se trata del 15%, éste 14,5% da la impresión de una mayor exactitud. El mismo articulista, siempre citando el informe del IPCC de 8 de Agosto 2019, indica que la comida desperdiciada y no usada supone otro 10% del total emisiones GEI. Puesto que también dice que la parte desperdiciada es el 25% del total, eso permite calcular que sólo la producción de comida supondría un 40% de las emisiones totales de GEI. Sumando todas las atribuciones citadas por los portavoces voluntarios de la ONU, periodistas y ONGs, se constata que el citado informe sectorial atribuye al uso de la tierra y a la producción de alimentos prácticamente todas las emisiones causantes del cambio climático. Pero no se preo-

cupen Vds., a medida que aparezcan más informes del IPCC sobre transporte, industria, energía, etc., en ese afán de que mi sector es el más importante, las atribuciones aumentarán, de manera que sumando todas las atribuciones sectoriales las emisiones resultantes podrían cambiar el clima de toda la galaxia. Tanta serpiente de verano contribuye a trivializar la existencia de un problema, el cambio climático, al que hay que enfrentarse con urgencia y determinación a nivel personal y global.

Poco tiempo después de obtener sus dos doctorados, Ignacio Romagosa pasa a ser profesor universitario en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Lleida, por entonces la cuarta escuela de agrónomos creada en España y que dependía de la Universidad Politécnica de Cataluña. Obtiene la cátedra en el año 1988 y desde entonces se ha dedicado a las tres actividades de docencia, investigación y gestión, realizando una labor muy destacada en todas ellas por igual. En el ámbito de la agronomía en España, Romagosa ha sido una referencia y un líder de muchas iniciativas positivas, las cuales han contribuido al excelente nivel que actualmente tiene esta ciencia en nuestro país.

Como habrán podido comprobar en la lectura de su discurso, Ignacio Romagosa es un gran docente. Durante muchos años ha impartido docencia de grado y postgrado en las asignaturas de Mejora Genética Vegetal y de Métodos Estadísticos en la Escuela de Lleida. Además, desde 1990 ha sido responsable del curso de postgrado de Mejora Genética Vegetal del Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ), un instituto internacional de formación postgraduada en agronomía, perteneciente a una red de cuatro instituciones (CEIHAM) originalmente promovida desde España por D. Ramón Esteruelas para formar preferentemente técnicos de la Cuenca Mediterránea e inicialmente formada por cuatro países (Francia, España, Italia y Grecia). Gracias a las gestiones de Ignacio Romagosa, el curso de postgrado en mejora genética se ha convertido en el master universitario de Mejora Genética Vegetal del IAMZ y de la Universidad de Lleida (UdL) desde el año 2006, con un elenco de profesores internacionales del máximo prestigio y donde se han formado a numerosos especialistas de todos los países de la Cuenca Mediterránea.

Ignacio, no sólo ha dirigido 12 tesis doctorales en la UdL, sino que ha dirigido un número muy superior de proyectos fin de carrera y

tesis de máster en la UdL y también en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza, donde ha sido asesor y un gran referente para ese Instituto. Su extraordinaria labor en dicho instituto le llevó a ser seleccionado como director del mismo en 2011, cargo que ha ocupado en excedencia especial hasta el 2015.

El Prof. Romagosa es afortunado por haber escogido un ámbito de investigación, la mejora vegetal, donde es posible cuantificar las aportaciones al bienestar y a la riqueza, sin tener que recurrir al peso de un cajón de separatas o a unos oscuros indicadores bibliométricos escasamente relevantes salvo muy contadas excepciones, como ha demostrado repetidamente otro agrónomo, el profesor Alonso Rodríguez Navarro, lógicamente, con poco éxito entre el colectivo investigador español y sus administradores. Desde que se cuantificó la rentabilidad de la inversión en las investigaciones que produjeron los primeros híbridos de maíz en 1957, se han hecho numerosos estudios para cuantificar las tasas internas de rendimiento (TIR) de las inversiones en mejora vegetal. En un estudio de más de 60 programas de mejora en distintos países, Evenson encontró valores de TIR que oscilaban entre el 10 y el 188%, siendo los valores más frecuentes superiores al 50%. Estas cifras son tan elevadas que no suelen ser creíbles por muchas entidades financiadoras, que continúan escatimando la inversión en lo que puede considerarse el mejor negocio del sector público de todos los tiempos. La mejor prueba de ello es que la gran mayoría de esta actividad ha pasado al sector privado.

Pues bien, no sé si el Prof. Romagosa ha recogido la información necesaria para evaluar el impacto de sus aportaciones a la investigación, pero sus contribuciones a la mejora genética de los cultivos de remolacha y cebada, tanto en la generación de material genético básico, el germoplasma, como de variedades comerciales en ambos cultivos, justificarían con creces la inversión realizada en su labor de mejorador. Todas las variedades obtenidas por él han sido comercializadas y alguna como la variedad Orria ha servido de parental a nuevas variedades de cebada ampliamente cultivadas en nuestro país. Sus últimas obtenciones registradas de nuevas variedades de cebada contienen alto β -glucano, un polisacárido cuyas ventajas para la salud humana ya han sido ampliamente descritas en el discurso de nuestro académico. Es posible que estas nuevas variedades sean la materia prima de nuevos alimentos saludables –y apetitosos– en un futuro próximo.

Los más reconocidos mejoradores de plantas nunca se caracterizaron por una prolífica producción de publicaciones científicas porque la mejora es una actividad esencialmente ingenieril, basada en muchísimas observaciones cualitativas y medidas cuantitativas, las cuales producen los grandes números de los que se extraen las primicias en cada ciclo reproductivo. Ello no obstante, Ignacio Romagosa ha tenido una actividad investigadora notable, tanto en genética a distintas escalas, desde la molecular a la de planta, como en métodos estadísticos aplicados a la mejora, además de haber hecho muchas incursiones en el área de la ecofisiología vegetal y otros temas agronómicos. No cabe duda que a esa gran amplitud de temas de investigación contribuyeron sus estancias de año sabático en Saskatchewan, Canadá, y en Pullman, Washington, USA. Sus publicaciones sobre interacciones genotipo-ambiente, marcadores moleculares aplicados a la mejora de la cebada, modelos para el estudio de rasgos cuantitativos, entre muchas otras, así como haber sido coautor de un libro sobre mejora vegetal, publicado en Londres por Chapman & Hall y que dio origen a una serie específica de volúmenes dedicados a esta disciplina. Todas sus contribuciones han sido ampliamente reconocidas por la comunidad científica y son referencia en su campo.

Además de su labor investigadora en mejora genética que podríamos llamar 'convencional', el profesor Romagosa ha hecho algunas incursiones en el campo más controvertido de los últimos años, la producción de variedades de plantas transgénicas. En relación a este tema, quisiera comentar una cuestión relacionada no sólo con los cultivos transgénicos, sino con la percepción actual de la ciencia por nuestra sociedad. En un estudio reciente se preguntó a 500 personas lo que pensaban sobre el uso de transgénicos (OGM) en la alimentación. El 90 % se opuso al uso de transgénicos, mientras que, por el contrario, el 90% de los científicos que encuestaron pensaban que los OGM eran seguros. Además, a esas 500 personas se les hizo una prueba sencilla sobre sus conocimientos de genética y otros temas relacionados con los OGM y la alimentación. Los resultados (publicados este año en *Nature Human Behaviour*) mostraron que aquellos que pensaban que sabían más sobre ese tema tuvieron los peores resultados en la prueba, mostrando su desconocimiento real. En resumen, los autores concluyeron que aquellos que mostraban la menor comprensión sobre la ciencia eran los más opuestos a ella, pero

pensaban que eran los que más sabían. La prueba se realizó en los Estados Unidos pero se repitió en Alemania y Francia con idénticos resultados. Saquen ustedes consecuencias y entenderán algo mejor el divorcio que existe actualmente entre la ciencia y gran parte de la sociedad occidental, en especial de la europea.

Por su carácter positivo, su gran empatía y su capacidad de liderazgo, resultaba obvio que Ignacio Romagosa podía hacer excelentes aportaciones a la gestión de la investigación. Así ha sido en su larga carrera académica. Comenzó su labor de gestión muy pronto, en 1990, y en un puesto clave como era entonces el de Coordinador Nacional del área de Agricultura de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP), bajo la dirección del inolvidable Roberto Fernández de Caleyá, también académico numerario de esta casa. A esa primera labor de apoyo a la gestión de la investigación pública española siguieron otras muchas, tales como Gestor de los Subprogramas Agrícolas y Forestal del Plan Nacional de Recursos y Tecnologías Agroalimentarias en 2002, y asesor de la Dirección General de Investigación del MEC en muy diversas ocasiones. Esta labor se extendió a nivel internacional, tanto representando a España en diversos programas de la Comisión Europea, como miembro de comités científicos internacionales, tales como la iniciativa transnacional PLANT-KBBE en Genómica de Plantas entre Alemania, España y Francia en 2007, a la que se añadieron otros países europeos. Igualmente, ha sido miembro y Presidente del Consejo de Administración del Consejo Científico Consultivo del CIHEAM (Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes). Finalmente, en los últimos años ha estado muy involucrado en la gestión del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) como vocal y gestor del área de agroalimentación. Ignacio Romagosa también ha contribuido notablemente a la gestión en su entorno más cercano, habiendo sido director de la Escuela de Agrónomos de la UdL, así como miembro de la Comisión de Evaluación de la Calidad de la Agencia para la Calidad del Sistema Universitario de Cataluña (AQU Catalunya). Ha sido editor asociado de revistas internacionales punteras en su campo y evaluador de numerosas universidades españolas y extranjeras.

Por toda la ingente labor citada, Ignacio Romagosa ha recibido el premio Jordan de Asso de la Institución Fernando el Católico de la Diputación de Zaragoza, así como el Premio de la Asociación Inter-

profesional de Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera. En 1999 recibió la Medalla Narcís Monturiol al mérito científico y tecnológico de la Generalitat de Catalunya, y en 2011 el reconocimiento de su *'alma mater'*, el Honor Alumni Award de Colorado State University.

Y ahora, siguiendo el ejemplo del maestro de maestros, nuestro académico Amable Liñán en su reciente respuesta al discurso de Javier Ventura, voy a hacer una breve digresión histórica, para dar a conocer el esfuerzo que sentó las bases de la investigación agraria en España a la que Ignacio Romagosa tan brillantemente ha contribuido.

A partir de mediados de los sesenta del siglo pasado, el Gobierno solicitó préstamos al Banco Mundial para cofinanciar 12 proyectos de diversa índole, uno de ellos para el desarrollo de la investigación agraria. El proyecto comenzó en 1971 y se ubicó en el INIA bajo la dirección de Ricardo Téllez, recién regresado de México. Básicamente, el proyecto tenía dos pilares: la creación de centros regionales de investigación agraria, temáticos, y la formación de personal investigador en el extranjero. A este último esfuerzo se dedicaron cinco de los 12,7 millones de dólares del total del préstamo. En unos cinco años, se becaron a más de doscientas personas en los mejores centros de investigación agrícola del mundo, de las cuales unos setenta obtuvieron el máster y más de veinte, el Ph.D. Los nuevos investigadores se integraron a su regreso a partir de 1975 en los nuevos centros regionales del INIA que habían sido potenciados por el Programa. Lamentablemente, dichos centros se desbarataron en 1984, al ser de las primeras transferencias que se hicieron a las comunidades autónomas. Es probable que el ministro de entonces no supiera qué hacer con ellos. Pero el esfuerzo de formación no se perdió y además de los que siguieron en los centros transferidos a las comunidades autónomas, otros antiguos becarios del Programa se integraron en las universidades, en el CSIC y en el sector privado, creando nuevos equipos que han contribuido decisivamente al desarrollo de la agricultura española.

No se ha estudiado convenientemente el impacto de éste préstamo del Banco Mundial en la agricultura española, una agricultura que comenzó a desarrollarse de forma sostenida a partir de mediados de los setenta. Hace unos 25 años, cuando Ignacio Romagosa comenzaba a sentar cátedra en la UdL, el valor de la producción final

agraria era menos de 15.000 millones de €, mientras que en 2018 fue de 53.400 millones, un incremento de más del 200 % en euros constantes y en un largo periodo de decrecimiento de los precios de los productos agrícolas que comenzó hace muchas décadas. Si examinamos el sector agroalimentario, es el segundo sector más exportador del país con el 16% del total, por debajo solo del de bienes de equipo (20%) y con un valor de casi 45.800 millones de euros en 2018. La cifra de cinco millones de dólares del préstamo para la formación de investigadores, que equivalen a unos 28 millones de euros en la actualidad, palidece ante las otras cifras citadas.

Termino dando la enhorabuena a la Academia por el ingreso de Ignacio Romagosa. Estoy seguro que sus aportaciones serán decisivas para enriquecer nuestras actividades y que su dinamismo contribuirá al cambio necesario de esta institución, al igual que ha cambiado positivamente tantas otras por las que ha pasado hasta ahora.

¡Bienvenido, Ignacio!

Muchas gracias



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES