

Productividad, sostenibilidad y mejora genética en el Siglo XXI

Ignacio Romagosa, Universidad de Lleida

Quiero agradecer a la Dirección de AIMCRA la gentileza de permitirme dirigirme a ustedes en esta celebración. Para mí es un placer encontrarme con viejos amigos y hablar de un cultivo que me recuerda mis inicios profesionales en Zaragoza y en EEUU. Entiendo que esta invitación se debe en gran medida a mi estrecha relación con el Campus de Aula Dei; en el pasado, trabajando en la Estación Experimental bajo la dirección de José Manuel Lasa y, recientemente, en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza del CIHEAM. Como nos ha ilustrado Miguel Salvo, los orígenes de AIMCRA y también de Aula Dei, del CIHEAM y del IAMZ tienen en común la figura de D Ramón Esteruelas, ilustre ingeniero agrónomo aragonés que ha dejado unos frutos que todavía perduran. En Aula Dei, bajo la dirección de Silván y Lasa se obtuvieron las primeras variedades poliploides y los primeros híbridos monogermen en España. Se llevaron a cabo estudios, como los del espigado que en la actualidad cobran particular interés. También se desarrollaron los primeros cariotipos de remolacha, especie de cromosomas pequeños y de difícil discriminación citológica. Menos conocida puede ser la contribución del IAMZ. Sin embargo, también ha sido importante. A finales de los años 70 el IAMZ organizó, por iniciativa de D. Ramón, del IIRB y de la OCDE una serie de cursos sobre remolacha que tuvieron un impacto muy significativo. A ellos asistieron unos 100 participantes de 16 países, más de la mitad no Mediterráneos, algunos de los cuales llegaron a dirigir años más tarde los programas de mejora de las empresas europeas más importantes.

Quiero felicitar a todo el sector remolachero español y, en particular, a AIMCRA por sus excelentes resultados. Cuando nació AIMCRA, el rendimiento medio de la remolacha en España era de unas 25 t/ha, 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. 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. Pero los incrementos obtenidos van mucho más allá de esta dolorosa circunstancia. La tasa anual de incremento de la producción agraria mundial es del orden del 2.5%. Sin embargo, la de la remolacha en España en estas últimas décadas no tiene parangón. Hemos, perdón, habéis 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, es en gran medida responsable de este éxito. Vuestros logros me recuerdan una anécdota de un congreso sobre el futuro de la enseñanza superior agraria financiado por la OECD, organizado hace un año en el IAMZ. El responsable de formación del Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura del Departamento de Agricultura de EEUU (USDA) mostró unas fotografías de unas canales de pollos y de pavos de los años 60 y actuales. En nuestros días se alcanzan, y en la mitad de tiempo, pesos muy superiores a los de hace 50 años. Dirigiéndose a la audiencia, comentó *“las últimas generaciones hemos cumplido nuestro encargo social, ahora la responsabilidad pasa a los más jóvenes”*. Esta es la satisfacción, que sin que se traduzca en complacencia, debéis tener todos vosotros.

Estas ganancias no son exclusivas de este cultivo. En poco más de un siglo se ha pasado, en los países más desarrollados, de necesitar 400 horas anuales de trabajo para alimentar a una persona a unas dos horas; de gastar dos tercios del presupuesto en comida a menos del 20%; de cocinar dos horas al día a sólo unos pocos minutos. En los años de AIMCRA, la tierra de cultivo por persona se ha reducido a nivel global a la mitad, de 0.45 a 0.22 ha/persona y ha cambiado muy significativamente nuestra alimentación. En España hemos multiplicado por dos la contribución de alimentos de origen animal en la aportación de energía a nuestra dieta hasta alcanzar un 25%, e incluso en un país tan poblado como China se ha multiplicado por cuatro hasta alcanzar un 20%.

¿A qué se han debido estos aumentos tan espectaculares? De acuerdo a un estudio reciente del Servicio de Investigación Económica del USDA, el aumento medio de la productividad en las últimas décadas (del orden del 2.5% anual) ha pasado de estar basado fundamentalmente en el incremento de los insumos, a la Productividad Total de los Factores (PTF) estrechamente relacionada con la aplicación del conocimiento. En la década 1961-1970, en plena Revolución Verde, este último factor sólo aportaba un 0.2%, frente al 1.8% debido al uso (y para muchos abuso) particularmente de fertilizantes y otros agroquímicos. La aplicación continua y responsable del conocimiento, tarea propia de AIMCRA, ha permitido que en la década actual la contribución estos valores cambiaran drásticamente un 1.7% anual debido al PTF y sólo un 0.4% al incremento de insumos.

Sin embargo, no todo ha sido positivo. En estas últimas décadas, se ha perdido variedad en la alimentación. Coexiste un problema vergonzoso de falta de seguridad alimentaria a nivel global con el exceso de ingesta y malnutrición que genera enormes gastos a los sistemas de salud pública. Y, lo que es particularmente injusto, la agricultura ha perdido reconocimiento social. El mundo occidental da por supuesto que seamos capaces de suministrar alimentos baratos, nutritivos y saludables para todos. Hemos sido víctimas de nuestro propio éxito, abandonado la posición privilegiada que ocupábamos en la escala social. Nuestro querido profesor D Enrique Sánchez-Monge recordaba en sus clase de mejora en la Escuela de Agrónomos de Madrid el texto que Jonathan Swift escribió en 1726 en "Los viajes de Gulliver": *'Quien pudiera hacer crecer dos espigas de grano o dos briznas de hierba en un trozo de terreno donde anteriormente sólo crecía una, merecería el agradecimiento de la humanidad y haría un servicio más substancial a su país que todos los políticos juntos'* Este ha sido el objetivo y el resultado de la agricultura. Sin embargo, en pocos decenios hemos pasado de la gratitud a un rechazo creciente y hoy sentimos 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.

El reto actual de la agricultura es ganar sostenibilidad, pero debemos ser conscientes que en el próximo medio siglo tenemos que producir tanto como en los diez mil años precedentes. Por ello nos preguntamos, ¿Es posible continuar con estos incrementos en este contexto de sensibilidad social? La respuesta es incuestionablemente positiva a partir de lo que se denomina "Intensificación Sostenible", en el que la mejora genética, en la que me voy a centrar, seguirá ocupando un papel predominante.

¿Cuáles serán estas Nuevas Herramientas que serán aplicadas a Antiguos Conceptos? De un modo análogo a lo ocurrido en los últimos siglos, seguirán cambiando las herramientas, pero no los principios que sustentan a la Mejora Genética. Creo que estas herramientas serán cuatro: (1) utilización de sensores, robótica y satélites para un fenotipado masivo, en la línea de los aplicados para la agricultura de precisión; (2) genotipado de alto rendimiento, es decir conocer la variabilidad en las secuencia del ADN de todos los individuos susceptibles de ser seleccionados; (3) desarrollo de nuevos modelos de análisis cuantitativo, en el ámbito del *bigdata*; y (4) la denominada edición genómica. La integración de las tres primeras debe permitir la expansión de la Selección Genómica y la cuarta tal vez ayudar a superar el debate transgénico, no transgénico. También mencionaré brevemente el papel de los transgénicos en este cultivo y el posible desarrollo del cultivo de remolacha de siembra otoñal para toda Europa.

El proyecto Genoma Humano publicó en 2001, en la revista Nature, la primera secuencia de nuestro ADN, es decir la cadena de 3.3 mil millones de cuatro letras que componen nuestro código genético. Esta información está organizada en unos 20.000 genes distribuidos en 23 pares cromosómicos, por cierto caracterizados por primera vez en la Estación de Aula Dei por Joe Hin Tjio, agrónomo indonesio amigo de Sánchez-Monge, contratado en 1948 gracias de nuevo a la terquedad de D. Ramón Esteruelas. El coste de esta secuencia ascendió a unos 100 millones de dólares. 15 años después es posible secuenciar su ADN por poco más de 1.000 \$ y sigue bajando. Estos avances se han extendido a muchísimas especies. El código genético de la remolacha se publicó también en Nature en 2014, gracias a una iniciativa internacional pública-privada alemana, sueca y, puede que les sorprenda, española. Seis de los 19 firmantes, incluido el investigador austriaco líder de la iniciativa, trabajan en el Centro de Regulación Genómica o en la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona.

Se dice que la ciencia ha generado grandes decepciones al hombre. Galileo demostró la falsedad del geocentrismo, demostrado que la tierra no es el centro del universo, Darwin que venimos del mono y ahora sabemos que el hombre tiene menos genes que el ratón y, también, que la remolacha.

Aunque parezca imposible, hoy en día es más barato conocer prácticamente el genoma de una planta de maíz o trigo (unos 30€) que evaluarla en campo y eso que las tareas de fenotipado se están cada vez más automatizando. Para la remolacha hay un proyecto alemán, denominado *CROPSENSE net* y liderado por la Univ. Bonn, en el que ya disponen de tecnologías fácilmente escalables para estudiar la evolución del crecimiento y el desarrollo foliar y radicular, la distribución de fotoasimilados en la raíz, todo ello sin necesidad de arrancarlas del suelo, y sistemas de imagen que distinguen síntomas y cuantifican automáticamente daños foliares debidos a distintos patógenos.

La conjunción de ambas tecnologías de fenotipado y genotipado masivo debe permitir avances espectaculares en la mejora de cultivos. La Selección Genómica es un método de mejora basado en el empleo de un número muy elevado de marcadores de ADN distribuidos a lo largo de todo el genoma, que puede mejorar la eficiencia de la selección y acelerar el ciclo de obtención de nuevas variedades. Estos marcadores permiten, utilizando modelos estadísticos de asociación genotipo-

fenotipo complejos, la predicción del valor genético de cada individuo como base para su selección. El desarrollo de la Selección Genómica en la mejora animal ha sido espectacular, eliminando en muchos casos las pruebas de progenie con el consecuente coste en tiempo y recursos económicos.

A través de la manipulación cromosómica, y de la mutagénesis se ha editado el genoma de las plantas desde hace más de 100 años. La poliplodía en la remolacha es un ejemplo de ello. En la actualidad hay más de 3.000 variedades mutantes registradas para uso comercial en más de 200 especies en más de 70 países. En todas ellas, la aplicación de radiación o de agentes químicos ha producido cambios desconocidos en el genoma, tan sólo valoramos las ventajas fenotípicas que nos han proporcionado, tales como la reducción de altura en cereales o la aparición de formas variegadas en plantas ornamentales. Lo único que nos preocupaba era el efecto de la radiación sobre los operarios. En el campo de prácticas de la Escuela de Madrid, al lado del Palacio de la Moncloa, había un reactor de Cesio-137 y como única cautela teníamos un cartel que indicaba: *3 DEFENSAS contra las RADIACIONES: máxima DISTANCIA, mínimo TIEMPO y MATERIALES PROTECTORES.*

En la actualidad, conocida la secuencia de un organismo podemos saber dónde y qué debemos cambiar en el genoma. También disponemos de Instrumentos de edición potente y precisa. El pasado año, las investigadoras Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna fueron galardonadas con el Premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica por desarrollar la tecnología CRISPR-Cas9 que actúa como una tijera molecular para producir cambios en el ADN de un organismo. Mientras que la transformación genética incorpora un gen exógeno, esta herramienta corte y sustituye bases de ADN generando nuevas formas génicas que tienen las propiedades deseadas. Utiliza la transformación genética pero, una vez finalizado el proceso, los individuos resultantes están libre de transgenes y son completamente indiferenciables de los obtenidos por cruzamientos convencionales. Quédense con este término, CRISPR-Cas9, que probablemente recibirá en un futuro próximo el máximo reconocimiento científico en forma de Premio Nobel y que puede revolucionar desde la medicina personalizada a la mejora genética. Ya se ha utilizado esta tecnología para la producción de maíces con el almidón modificado, champiñones que se mantienen blancos sin llegar a pardear, trigos resistentes a enfermedades y, en breve plazo, libres de gluten para los celíacos. También se han eliminado los cuernos en vacas lecheras Holstein. A un nivel especulativo se está estudiando la edición del genoma del mosquito *Aedes aegypti* responsable de la transmisión del Zika para conseguir su erradicación, editando genes de determinismo sexual para que todos los descendientes sean machos. Más allá del debate moral que la desaparición de este mosquito, puede llegar a plantear, se genera una duda de orden legal y, por tanto, práctico. ¿Quedarán los organismos resultantes, en el ámbito de la legislación sobre OMG? Obviamente éste no es el caso en EEUU y naturalmente la UE todavía no se ha manifestado. Pero parece que las autoridades responsables en algunos países europeos están estudiando declarar, que ciertas variedades de genoma-editado son, en principio, idénticas a los productos de la mejora convencional.

La remolacha transgénica no puede cultivarse en la UE. En EEUU se inició el cultivo de remolacha transgénica resistentes a glifosato en 2006. En sólo un año superó el 50% de la superficie y en 2016 representa prácticamente el 100%. A nivel pre-comercial ya existen variedades transgénicas para

resistencia/tolerancia a Rhizomania, hongos, nematodos y a la sequía, que producen oligofructosa, inulina y otros polímeros para la producción de bioplásticos y que presentan mejoras de las características postcosecha.

Sin embargo su futuro en EEUU presenta algunas dudas. En 2015, Hershey Co., uno de los mayores fabricantes norteamericanos de chocolates y golosinas dejó de comprar azúcar de remolacha debido a la presión del lobby anti transgénicos, por lo que el precio de la remolacha está bajando. Si este rechazo se extiende, representaría una incertidumbre sobre su futuro. Sin embargo, el sector se ha manifestado en contra de renunciar a las variedades transgénicas por la disminución significativa de competitividad y las pérdidas financieras que deberían afrontar.

Quiero acabar haciendo referencia a otras investigaciones que pueden tener gran trascendencia para el cultivo futuro de remolacha. En Alemania han estimado que el rendimiento de la remolacha invernal puede ser un 25% superior a la sembrada en primavera y que permite, debido a la coexistencia de ambos tipos de cultivos, un mejor funcionamiento de la industria. Para ello la remolacha debe cumplir dos requisitos fundamentales: (i) deben soportar bajas temperaturas (heladas); y (ii) ser completamente resistente al espigado después del invierno. El control diferencial de la floración para la producción de raíz y de semillas, que José Manuel Lasa estudio con herramientas convencionales en el marco de su tesis doctoral, empieza a ser posible mediante las nuevas herramientas de la Biología Molecular. Recientemente se han identificado los genes específico de remolacha responsable del espigado, fase necesaria para su posterior manipulación ¿Vamos a ver en unos años cultivos de siembra otoñal en el Norte de Europa y que, como en Andalucía, no lleguen a espigar al final del invierno? No sé si esto será bueno o malo para nuestro sector remolachero, pero si así fuera no tengan ninguna duda que la institución de investigación mundial de referencia por su experiencia será sin ningún género de duda AIMCRA.

Muchas felicidades a AIMCRA y a todo su personal y muchas gracias a ustedes por su atención.