

mantenerse en los tejidos del adulto sin proliferar hasta que son «llamadas» para hacerlo. Entonces es cuando algunas de sus hijas, las que ya no van a ser madres en sentido estricto, y que proceden de una división asimétrica de aquellas, inician procesos «febriles» de proliferación para ayudar a reparar el daño ocurrido. El ejemplo más claro de esto lo encontramos en el mundo vegetal. En el centro de la población meristemática de la raíz, donde la proliferación es la cualidad de todas las células, encontramos un grupo de ellas con una bajísima tasa de división, las que forman el llamado centro quiescente. Durante años, desde que fuera descubierto en los '50 del siglo pasado, del centro quiescente se ha dicho de todo y en realidad, hoy se sabe que lo forman las auténticas CM de la raíz, son las iniciales de toda la población meristemática. Su baja tasa proliferativa asegura su permanencia como reserva continua de células iniciales. Son, sin embargo, sus hijas las que se dividen a toda velocidad cuando salen de la «zona de influencia» de este auténtico *stem cell niche*. Parece, por tanto, que sería más positivo el control de la división asimétrica de la CM, como señal reguladora de la formación de una célula progenitora, que nunca más volverá a ser madre, pero que su destino es proliferar para formar un «blastema reparador» destinado a la diferenciación hacia un linaje especializado, que será el que repare el daño producido.

Podría pensarse, así mismo, que tampoco fuesen necesarias muchas CM para una determinada reparación, ni que tampoco fuese preciso inocularlas en un estadio final de diferenciación. Quizás es más lógico pensar que lo que se necesita es un número no elevado de progenitores (posteriores a la división asimétrica de la CM) que pudieran actuar de molde o cebo para que, en

el ambiente tisular adecuado, se terminara el trabajo de forma espontánea.

Las CME, por el contrario, sólo saben dividirse, puede decirse que su especialidad es la proliferación y, además, «no están acostumbradas» a responder a estímulos diferenciadores; ellas nunca han estado en un «ambiente diferenciado» y, por lo tanto, éste puede ser su gran problema a la hora de usarlas en medicina regenerativa. Tenemos que aprender a dominar su división asimétrica que será la que dé paso a un proceso diferenciador. En la medida en que esto no sea posible, o sea deficiente, la posibilidad de que estas células implantadas en un huésped provoquen un proceso neoplásico, será una dificultad que frenará su uso en terapia regenerativa. Pero a pesar de todo, necesitamos el conocimiento que se genere en los estudios con CME. Aunque no llegáramos nunca a usarlas en la clínica humana, el potencial científico que encierran justifica su investigación. De su estudio se van a derivar grandes avances básicos sobre diferenciación celular que, entre otras cosas, podrán ser muy importantes para la comprensión de la prevención y tratamiento de enfermedades genéticas. Los estudios con este tipo de células, con esta tecnología, van a suponer un empuje importante en el campo tan deprimido, y por otra parte tan esperanzador, de la terapia génica. Y por si esto fuera poco, que no lo es, las células madre proporcionan excelentes sistemas experimentales para el ensayo de nuevas drogas o tests de toxicidad de éstas en células humanas, con todo el potencial terapéutico que esto supone.

En cualquier caso, su estudio habrá merecido la pena.

TENDENCIAS EN BIOLOGÍA VEGETAL: REFLEXIONES DE UN FISIÓLOGO VEGETAL.

Miguel Ángel Quesada

Profesor Titular, Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Málaga

Lo que sigue es una visión personal, desde mi perspectiva profesional, de una temática compleja que es posible enfocar desde distintas posiciones. Como opinión que es, supone una visión parcial y de contenidos seleccionados.

Fisiología vegetal y Biología vegetal, pugna o metamorfosis:

Las preguntas que clásicamente intenta responder la Fisiología Vegetal son: ¿cómo funcionan los vegetales? y ¿cómo adquieren los vegetales las formas que soportan esas funciones? Es decir, se ocupa de comprender los mecanismos de funcionamiento y los procesos de crecimiento y desarrollo, intentando hacerlo en última instancia al nivel de integración que conocemos como organismo.

Desde el punto de vista metodológico, la

aproximación experimental predomina fuertemente, con una aplicación clásica del método científico mediante elaboración de hipótesis, experimentación, aceptación o no de hipótesis, e inicio de un nuevo ciclo.

Escribir sobre **tendencias** sería recapitular el grado de respuestas que se ha conseguido, ver lo que queda pendiente y analizar las aproximaciones experimentales que están propiciando más y mejores respuestas.

Aparentemente, el título más sencillo para este artículo sería «Tendencias en Fisiología Vegetal» y pasar directamente al análisis. Sin embargo, sustraería de esta reflexión el debate existente en torno a la propia naturaleza de la disciplina que dice mucho acerca de dónde viene y a dónde va.

La **Fisiología Vegetal** está sometida a tensión y, según se publicó el año 1996 en la prestigiosa revista americana

«Plant Physiology», esta disciplina ha dejado de existir. El título que M. J. Chrispeels escogió para su artículo fue: «**Plant Physiology** has become **Plant Biology**, a cross-disciplinary science». Esta transformación, como la de los personajes de los video-juegos japoneses, ha dado lugar a una disciplina «más poderosa» que es la **Biología Vegetal**, con gran preponderancia metodológica de la biología molecular y celular.

No se puede considerar que el artículo fuera sólo una opinión y, para demostrarlo, basta seguir las tendencias en los nombres de distintas series de publicaciones, tanto de revisión como de investigación. Entre las más prestigiosas colecciones de revisión están los «Annual Reviews», la serie dedicada a esta disciplina se titulaba «Annual Review of Plant Physiology», en el año 1988 se añadió al título una larga cola «...and Plant Molecular Biology» y hace dos años, bajo la premisa editorial de que lo más sencillo es lo mejor, ha pasado a llamarse «Annual Review of Plant Biology». La revista Australiana «Australian Journal of Plant Physiology» ahora se llama «Functional Plant Biology». Las antiguas sociedades de Fisiología Vegetal también actualizan sus nombres en la misma dirección.

En principio, lo que se entiende por Biología Vegetal, traducción de «Plant Biology», es confuso. Etimológicamente, hablar de Biología Vegetal sería muy parecido a hablar de Botánica, que es la ciencia de las plantas, y donde la Fisiología Vegetal estaría incluida, junto con la Morfología, la Taxonomía, la Ecología o la Evolución de los vegetales. Sin embargo, no es así, más bien sería la **Biología Funcional Vegetal**, lo que refleja muy bien el nuevo título de la revista australiana. La Fisiología Vegetal estaría incluida en esta Biología Funcional Vegetal, pero el nivel de mayor interés no sería de forma preferente el de organismo, sino también el molecular, el celular, el tisular o el de órgano.

Como la Fisiología Vegetal solía bajar y subir por todos estos niveles, con distintas metodologías, para buscar comprender los mecanismos a nivel de organismo, en ese ir y venir ha quedado en entredicho su identidad para algunos. A mí no me lo parece porque lo que considero patrimonio de la Fisiología Vegetal son las preguntas a las que intenta dar respuesta, así como darle importancia preponderante al nivel de organización de organismo. Las preguntas mencionadas siguen vigentes y los organismos vegetales también..

Tendencias en la Biología Funcional Vegetal (Plant Biology/Biología Vegetal)

Cuando uno consulta los índices de revistas como «Trends in **Plant Sciences**» y «Current Opinión in **Plant Biology**», una alternativa o complemento muy recomendable para sacar conclusiones propias, se observa como los editoriales y los títulos de artículos ponen de manifiesto en parte lo comentado, **preguntas clásicas** replanteadas **con nuevas aproximaciones experimentales**, de alguna manera lo nuevo y lo viejo de la mano.

Es evidente también que, si asumimos como

representativos los métodos que se mencionan en esos trabajos, lo molecular y los aspectos funcionales a nivel celular predominan. Desde mi punto de vista, no se trata sólo de técnicas nuevas, también implican aplicaciones del método científico distintas, donde el experimento diseñado para falsar una hipótesis no es el único motor de la generación de conocimiento. Un ejemplo sería la comparación completa de conjuntos de expresión de mRNA o de proteínas en situaciones ambientales o de desarrollo distintas. El manejo de microchips y la gestión de la información con equipamiento informático muy potente permite abordar con éxito estas aproximaciones complejas, aunque quizá se pierda por el camino parte del arte de formular preguntas falsables al sistema experimental.

Esto, sin duda, supone un **cambio de tendencia**, antes podías empezar con un problema y acabar estudiando un gen después de todo un proceso hipotético-deductivo, en cambio, ahora el estudio de la expresión de todo un conjunto de genes te puede llevar a identificar cuáles son los problemas que debes abordar a nivel fisiológico. Esto implica mayor necesidad de colaboración entre grupos de disciplinas distintas en torno a objetivos realmente compartidos y bastante flexibilidad a la hora de ver qué dirección debe tomar una investigación.

Es difícil seguir escribiendo sin meterse en temáticas abordadas en otros artículos. A nadie escapa el tremendo protagonismo e impulso que ha supuesto el trabajar con *Arabidopsis thaliana* como modelo, la secuenciación de todo su genoma, junto con el de otras especies de interés agronómico, o la aplicación de las tecnologías de transformación genética de plantas. Esto último, no sólo desde el punto de vista biotecnológico, sino como herramienta para crear sistemas experimentales a la carta con una potencialidad enorme, como los utilizados para estudiar el señalamiento por calcio. También viene a mi mente, la relación que ha tenido la transformación con la investigación de la temática del silenciamiento génico.

Pero si debo mencionar o seleccionar una **temática fundamental** por su interés intrínseco y por ser diana del esfuerzo de múltiples grupos de investigación elijo la **red de traducción de señales**. Hay algo evidente que, sin embargo, muchas veces pasa desapercibido: el esporófito de las plantas vasculares, que es el estadio del ciclo vital en el que más frecuentemente centramos nuestros atención, está anclado a un lugar. No puede escapar ante señales ambientales adversas. Tiene que resolver, sin moverse, limitaciones nutritivas, exceso de radiación, aporte hídrico inadecuado, tampoco puede huir ante la presencia de depredadores y patógenos, etc. Conocemos muchas señales ambientales y no pocas respuestas pero sabemos poco de lo **que conecta las señales con las respuestas**, la red, y enfatizo la palabra red, de traducción de señales.

Hay distintas piezas en este rompecabezas: receptores, canales, mensajeros secundarios, quinasas, fosfatasa, proteínas G y 14:3:3, factores de transcripción, que son en muchos casos paradójicamente comunes

para distintas **vías de traducción**. El reto es pasar del análisis de las partes al cómo emerge una respuesta celular que luego, integrada en niveles de organización superiores, dará lugar a un **fenotipo** y no a otro. Todo ello en sintonía con la multiplicidad de señales ambientales y endógenas, **coincidentes y variables**, en las que ese individuo en particular se desarrolla.

Entender el **origen del fenotipo** y los mecanismos que propician su elevada plasticidad en vegetales supondrá comprender parte del éxito que estos organismos tienen en los distintos ecosistemas terrestres y acuáticos. También servirá para identificar limitaciones a la hora de diseñar plantas a la carta para su liberación al medio ambiente. Por otro lado, la controvertida aplicación del **concepto de inteligencia en las plantas** se desarrolla también en el contexto de la red de traducción de señales y ha sido planteada en los años 2002 y 2003 por A. Trewavas en las revistas *Nature* (415:841) y, en extenso, *Annals of Botany* (92:1-20), respectivamente.

En el desarrollo y las tendencias de investigación en Biología Vegetal tiene mucha importancia la aplicación práctica y, por ello, señalo una **temática aplicada**. El

objetivo de alimentar una población que superará en un plazo corto los 10 000 millones de personas está recogido en el informe FAO «Agricultura mundial, hacia los años 2015-2030». Hay que hacerlo con los condicionantes añadidos de no incrementar el uso de suelo, agua y con insumos limitados de fertilizantes inorgánicos, plaguicidas y herbicidas. Entre las líneas de actuación analizadas en el informe destaco la necesidad de hacer una agricultura más sostenible, el posible papel a jugar por la investigación y la biotecnología vegetal, así la mención a la actitud de los investigadores. Este es un reto donde el conocimiento básico y aplicado de las plantas resulta imprescindible.

Quedan fuera de esta reflexión, cuáles son las tendencias en áreas de la fisiología de las plantas en las que la aproximación biofísica juega un papel más importante que lo molecular y/o metabólico. Toda la temática del transporte a larga distancia ha sido recientemente discutida de nuevo, por ejemplo. Tampoco he mencionado aspectos ambientales que merecerían estar, pero las lógicas limitaciones de espacio no lo permiten.

PLANTAS TRANSGÉNICAS Y SERVICIO A LA HUMANIDAD

Fernando Gallardo Alba

Profesor Titular del departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga.

Un organismo transgénico es aquél que ha recibido uno o más genes de forma artificial. En el caso de las plantas, la incorporación del gen (transgén) al genoma ocurre de forma independiente a la polinización y, en la mayoría de los casos, su adquisición se realiza mediante un protocolo que implica el empleo de diferentes especies de *Agrobacterium*, bacteria que produce el desarrollo de tumores en plantas gracias a la transferencia de varios genes a su genoma. Desde que en los primeros años de los 80 se describió la transformación de tabaco, el listado de las especies que pueden ser modificadas gracias a la transferencia por *Agrobacterium* se ha incrementado notablemente. En algunos casos, la evolución de este listado ha dependido de la capacidad de los investigadores para cultivar *in vitro* diferentes especies, y para establecer protocolos adecuados para la regeneración de plántulas a partir de callos, gracias a la totipotencialidad de las células vegetales. Aunque la modificación genética es de gran importancia en estudios de investigación del papel biológico de un gen o de una proteína, las aplicaciones potenciales de los organismos modificados genéticamente van habitualmente más allá de lo que puede inicialmente pensarse. Hoy existen plantas modificadas que expresan o reprimen genes en la mayoría de los procesos de interés para los investigadores y las industrias, y cualquier base de datos bibliográfica está repleta de artículos en los que se describe la producción de plantas transgénicas. Los intereses de los investigadores se mezclan con los de empresas y grandes multinacionales, haciendo difícil

identificar cómo las plantas transgénicas pueden ayudar a solventar un problema básico de la humanidad, como es la escasez de alimentos en países en vía de desarrollo, mediante el aumento de la producción vegetal. En realidad, la introducción de variedades con mayor valor nutricional, la creación de vacunas comestibles, la producción de pasta de celulosa y madera, la generación de plantas resistentes a estreses bióticos y abióticos o la producción de plásticos y otros productos, podrían considerarse de interés nacional para muchos países y organizaciones gubernamentales. Sin embargo, el empleo de nuevas variedades transgénicas es todavía difícilmente una auténtica ayuda para la humanidad. Por un lado, las nuevas variedades deben pasar estrictos controles de seguridad, especialmente para evitar una posible fuga del transgén —o transgenes— a las poblaciones naturales —introgresión—; y por otro lado, las multinacionales podrían interesarse más en una explotación comercial de las nuevas variedades que en paliar problemas del tercer mundo. El problema de la introgresión puede salvarse gracias al empleo de variedades estériles, incapaces de ser polinizadas o de producir polen, o bien incapaces de producir semillas viables, lo que reduce en gran medida la capacidad de posible transferencia vertical de genes. La posible transferencia horizontal de los transgenes o de los marcadores a otras especies, incluidas la nuestra, durante su consumo es un aspecto de especial sensibilidad para los consumidores finales (y ecologistas). En muchos casos el transgén se transfiere a la planta junto con un gen