



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

La melena de Machín, un árbol con sentimientos

Ricardo-Javier ORDÁS



LECCIÓN INAUGURAL
CURSO ACADÉMICO
2016/2017
DE LA UNIVERSIDAD DE
OVIEDO

2016-17

LA MELENA DE MACHÍN

UN ÁRBOL CON SENTIMIENTOS

Ricardo Javier Ordás Fernández



Universidad de Oviedo
Universidá d'Uviéu
University of Oviedo

D. Legal: AS 2267-2016

I.S.B.N.: 978-84-16664-20-7

Imprime: Servicio de Publicaciones.



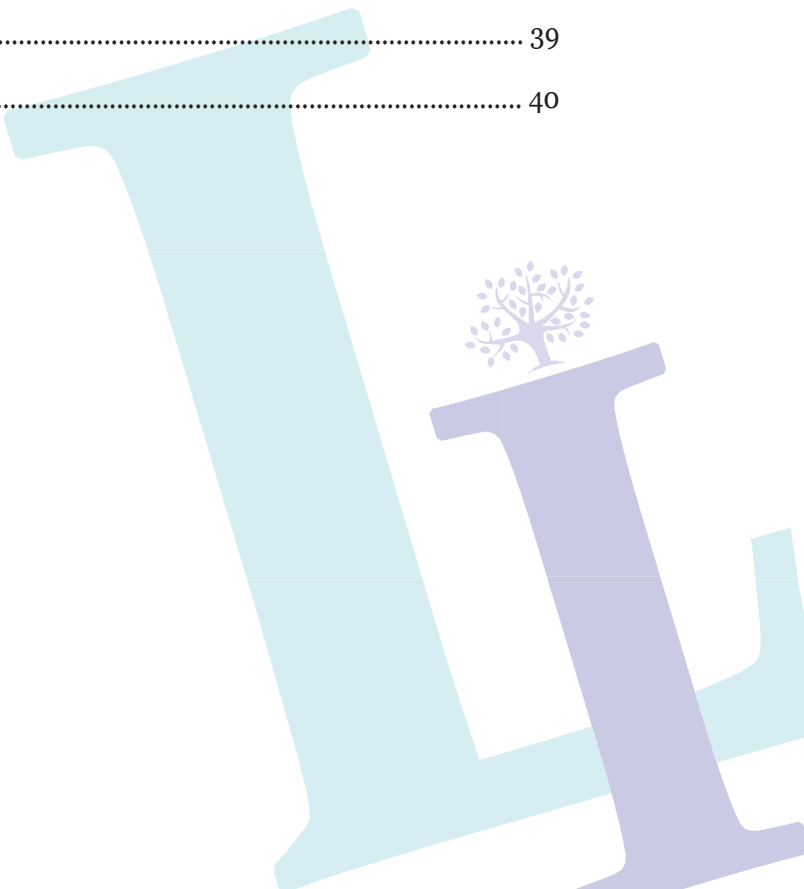
LA MELENA DE MACHIN

UN ÁRBOL CON SENTIMIENTOS

Ricardo Javier Ordás Fernández
Área de Fisiología Vegetal
Departamento de Biología de Organismos y Sistemas
Escuela Politécnica de Mieres
Universidad de Oviedo



1. Introducción	9
2. ¿Qué significa ser sésil?	11
3. ¿Cómo crecen las plantas?	16
4. ¿Cómo sienten las plantas?	20
5. ¿Son capaces de comunicarse las plantas?	27
6. ¿Qué tipo de memoria tienen las plantas?	29
7. ¿Aprenden las plantas?	32
8. ¿Son inteligentes las plantas?	33
9. Conclusiones	39
10. Bibliografía.....	40



*“Si supiera que el mundo se acaba mañana, yo, hoy todavía,
plantaría un árbol”*

Martin Luther King (1929-1968).



1. Introducción

Hoy, las circunstancias derivadas del sistema rotatorio entre los diferentes centros de esta Universidad, han hecho que me corresponda el alto honor de dar la lección inaugural de este nuevo curso académico 2016-17, que me corresponde no por méritos propios sino a propuesta de la Dirección de la Escuela Politécnica de Mieres, a la que agradezco la confianza depositada en mí.

Este es un acto de responsabilidad en la vida de un profesor universitario que ha de preocuparle por muchas razones, siendo la elección del tema a desarrollar el que crea mayores incertidumbres, debido a que va a ser escuchado por una audiencia heterogénea y docta que, no perdonará ni la pedantería de una erudición excesiva ni tampoco una trivialización impropia de un acto solemne como este, para tratar de salir del paso.

Cuando reflexioné sobre qué tema presentarles pensé que debería ser uno que representara tanto a mi área de conocimiento, Fisiología Vegetal, como al centro en el que trabajo y que tuviera que ver con mi actividad investigadora de tantos años, pero teniendo en cuenta que parte de la audiencia sería ajena a las Ciencias y más aún a la Fisiología Vegetal, decidí que al igual que un crítico de arte frente a un cuadro, debería compartir con ustedes el desarrollo de una idea, una sensación surgida de la contemplación de un árbol, materia de trabajo de un ingeniero forestal.

En la isla canaria del Hierro existe un ejemplar de sabina¹ cuya imagen suelo utilizar como modelo cuando explico el tigmotropismo² a mis alumnos de Fundamentos de Biología, en el Grado de Ingeniería Fo-

¹ http://www.abc.es/viajar/top/abci-arboles-mas-viejos-y-bellos-espana-201605312100_noticia.html.

² Tigmotropismo es una respuesta direccional; o un movimiento de una planta al hacer contacto físico con un objeto sólido o experimentar una presión.

restal y Medio Natural. La mencionada sabina es un árbol bandera, conocido como «La melena de Machín», torcido por la acción de los vientos alisios a lo largo de centenares de años. Esta cupresácea³ muestra con claridad sus «arrugas», que nos cuentan la historia grabada de toda una vida, tallada a golpes de supervivencia en un medio hostil. Estamos contemplando una respuesta adaptativa frente a la agresión continua de los vientos que ejercen una presión sobre ella. Esta reacción de nuestra sabina frente a un entorno desfavorable, sugiere que percibe los estímulos recibidos de este y que, en cierto sentido, hay una direccionalidad en su respuesta y, por tanto, una intencionalidad en la reacción que intenta minimizar la agresión.

Las plantas, aunque no poseen un sistema nervioso similar al de los animales que descifran la realidad del entorno y experimentan emociones y sentimientos, no son en absoluto seres insensibles, pues perciben lo que ocurre a su alrededor y reaccionan frente a los estímulos, adaptándose a las condiciones de dicho ambiente, como seres vivos que son. Como revelaré a lo largo de esta exposición, aunque no tienen órganos de los sentidos como nosotros, pues no poseen ni ojos, ni oídos, etcétera, las plantas están provistas de todos los sentidos y «15 más que los animales», como proclama el profesor Mancuso (1), con los que gracias a la información que estos les proveen, toman decisiones que promueven su supervivencia en el medio natural.

Si admitimos que nuestra sabina siente y reacciona con intencionalidad, vayamos más allá y debatamos la posibilidad de que sea un ser inteligente. Obviamente, esta cuestión forma parte de un apasionado debate que emana de una pregunta básica sobre, *¿qué es la inteligencia?* Generalmente, esta la asociamos con la capacidad que poseen algunos animales para entender la realidad. Hablar de inteligencia siempre es un asunto espinoso; ya sea desde una perspectiva filosófica o científica. Su definición es complicada y varía en función de la disciplina científica que

³ Las cupresáceas son una familia de coníferas del orden *Cupressales*. Son árboles o arbustos de climas cálidos a templado-frescos, con madera y follaje muchas veces aromáticos, con hojas como escamas. Son muy utilizadas por su madera, su fragancia, y como ornamentales.



la genere. En el contexto de la Biología, Stenhouse (2) considera la inteligencia como un «comportamiento variable adaptativamente dentro de la vida de un individuo». Es decir, en términos biológicos la inteligencia se ajustaría a la capacidad o habilidad que tiene un ser vivo para adaptarse al entorno. En este contexto, el concepto de inteligencia vegetal es relativamente nuevo y ha supuesto una gran controversia respecto a la sensibilidad y procesamiento de la información por parte de los vegetales; la inteligencia vegetal comparte similitudes con la inteligencia animal, pero las diferencias son abismales.

Para empezar a entender la inteligencia vegetal es importante intentar ver el mundo «como si uno fuera una sabina», ejercicio al que les invito, sobre la base de lo que van escuchar, para que puedan formarse una opinión respecto a lo que se considera que es inteligencia en otros seres vivos como las plantas.

Michael Marder (3) propuso extender a las plantas la tesis del biólogo von Uexküll, autor del libro *A Foray into the World of Animals and Humans* (4), donde este, al reflexionar sobre la inteligencia, resalta las diferencias entre especies distintas en función de la perspectiva de los ambientes en que viven. En relación con las plantas, Marder introduce varios puntos para debatir sobre este tema: 1) el significado de ser sésil y estar fijo en un lugar; 2) el significado del desarrollo modular en el entendimiento de la inteligencia; 3) la percepción vegetal de los ambientes; 4) los conceptos de conciencia y atención y 5) el concepto de comunicación entre plantas.

A continuación, vamos a desarrollar algunos de estos aspectos.

2. ¿Qué significa ser sésil?

¿Por qué nuestra sabina no se refugia al abrigo de los vientos? Obviamente, como ustedes saben, porque al contrario que la mayoría de los animales, las plantas son organismos sésiles.⁴ Su incapacidad locomotora se debe a que su cuerpo está fijado al suelo por sus raíces. Sin

⁴ <http://revistamito.com/la-inteligencia-vegetal/>.



embargo, los vegetales no son organismos estáticos e inmóviles como piensa gran parte de la población. La asociación entre la sesilidad y estatismo es una idea arraigada en nuestro pensamiento judeo-cristiano. En la biblia se relata como Dios le ordena a Noé que recoja una pareja de todas las criaturas que se muevan (Génesis 6, 18-21) o vivientes (Génesis, 9, 8-11). El caso es que, a pesar de que el 99,7% de la biomasa son plantas, Noé se olvidó de ellas y el resultado fue que permanecieron sumergidas durante 40 días. Esta concepción de las plantas como seres inertes ha perdurado incluso hasta tiempos relativamente recientes y se refleja en nuestra cultura; de hecho, la expresión «en estado vegetativo o vegetal» es sinónimo de inactivo y privado de las funciones cognitivas. Fue Charles Darwin y su hijo Francis, primer profesor de Fisiología Vegetal de la Universidad de Cambridge, quienes inician una revolución que ha llegado hasta nuestros días con la publicación del asombroso libro titulado, *El Poder del Movimiento de las Plantas*, donde demuestran que estas son seres animados (5).

Una prueba evidente de que las plantas se mueven es el comportamiento de la *Mimosa pudica* (la mimosa sensitiva o vergonzosa), cuyas hojas se pliegan sobre sí mismas si se tocan, o el proceder depredador de las plantas carnívoras como *Dionaea muscipula* (la Venus atrapamoscas), que es capaz de percibir a su presa y de reaccionar al contacto para atraparla con sus hojas a modo de cebo, como si fuese un auténtico depredador del reino animal. Además de lo obvio de estos ejemplos de movimientos reversibles, a los que denominamos *nastias* y que percibimos por su rapidez, resulta que las plantas están moviéndose continuamente, aunque a velocidades considerablemente menores. Si hubiéramos podido filmar a nuestra sabina a lo largo del tiempo, habríamos observado cómo sus raíces se extendían por el suelo en busca de agua y nutrientes, los tallos se ramificaban, cambiaban de forma y respondían a estímulos ambientales como la luz y el viento. Estos movimientos denominados *tropismos* son irreversibles y se suceden en una escala de tiempo imperceptible para nuestros ojos, ya que la escala temporal humana es demasiado corta y nos induce a error.

Una diferencia fundamental con los movimientos efectuados por los animales, es que los tropismos no pueden revertirse, debido a la rigi-



dez de los tejidos y órganos vegetales. Dicha rigidez es causada, en parte, por la presencia alrededor de las células vegetales de una pared, que va a constituir un exoesqueleto compuesto mayoritariamente por múltiples capas de polisacáridos como la celulosa y otros, a su vez, embebidos en una matriz (6). Esta estructura sería similar a la de una cubierta de neumático con sus capas de fibras textiles y urdimbre de alambres embebidos en caucho. La presencia de la pared vegetal no solo condiciona la forma celular, sino también el intercambio de sustancias e información entre el entorno de las células –denominado *apoplasto*– y el interior celular –denominado *simplasto*–, determinando así la forma en que las plantas interactúan con el medio ambiente y, por tanto, influyendo en su devenir evolutivo, el cual contrasta con el de los animales.

La pared celular, además de su función estructural, cumple una misión fundamental, la de la turgencia celular, que es tanto como decir la regulación del potencial hídrico entre el apoplasto y el simplasto. Cuando la célula vegetal posee menor concentración de iones en su interior que en el exterior, por ejemplo, en contacto con agua de mar, la célula se colapsa porque el agua presente en el citoplasma tiende a salir para igualar las concentraciones de iones a ambos lados de la membrana, dando lugar a un proceso que conocemos como *plasmólisis*. Pero cuando la situación es la opuesta, por ejemplo, en agua destilada, la célula se hincha debido a la entrada de agua, lo que podría provocar la explosión de la célula si no fuera porque la pared, que se encuentra por fuera, lo impide gracias a su rigidez, igualando así la diferencia de presión osmótica entre el interior y exterior celular –se dice entonces que la célula está *turgente*– (6) y en equilibrio con el medio externo. El flujo de agua a través de sus vasos y tejidos –de mayor a menor potencial hídrico buscando el equilibrio– es lo que permite a las plantas mantener su forma y porte, de modo semejante al de un castillo inflado por aire como los que observamos en las ferias. Si existe un déficit hídrico, por ejemplo, una sequía, se produce el fenómeno de la marchitez debido al decaimiento de la planta, de forma muy similar a cuando un globo se desinfla.

La atmósfera terrestre relativamente seca supuso un formidable desafío para las primeras plantas terrestres. Las algas, predecesoras de las plantas terrestres, absorben el agua, los minerales y el CO₂ directa-

mente del medio acuático. Por ello, los musgos (o las briofitas), que fueron las primeras plantas terrestres, bastante primitivas y aún mal adaptadas al nuevo medio, estaban restringidas a habitar en ambientes muy húmedos y generalmente sombríos, porque carecían de un sistema de transporte eficaz que suministrase agua a todas sus células. Ahora bien, la luz, principal fuente de energía para los vegetales, actuó como un mecanismo evolutivo formidable, de manera que las plantas fueron adaptándose progresivamente a vivir bajo ella mediante la generación de tallos cubiertos de hojas que actúan a modo de paneles solares, y a la diferenciación de raíces y un sistema vascular que permite el acceso del agua y los minerales presentes en el suelo a las células de las hojas, donde se realiza la fotosíntesis. La transpiración provoca un gradiente de vapor de agua desde el interior de la hoja hacia el exterior a través de los estomas, que son poros presentes en la superficie de las hojas. La transpiración, además de refrigerar la superficie foliar calentada por la irradiación solar, genera la fuerza motriz suficiente para tirar y mover columnas de agua por los conductos vasculares (xilema) desde las raíces hasta las hojas (6), pero esto solo es posible si no existe un déficit hídrico celular; es decir las células y la planta deben estar turgentes, asegurando un flujo continuo entre la primera célula radical y la última foliar. La turgencia, junto con la rigidez de la pared celular y los tejidos, sostiene el cuerpo de la planta. Eso las diferencia de las algas verdes, que en vez de tener un tallo rígido tienen un talo flácido.

El proceso de obtención de energía química a partir de los fotones emitidos por el sol supuso una ventaja enorme para las plantas, dado que la luz está siempre ahí. Por el contrario, los animales han seguido un camino evolutivo diferente, que implica el movimiento en busca de alimento. La percepción de señales del medio y la complejidad con que la información se evalúa y organiza ha generado diversos tipos de comportamiento animal que han permitido con el tiempo la resolución de problemas más complicados.

La colonización del medio terrestre por las plantas trajo consigo la sesilidad, ya que las raíces deben hundirse en el suelo para obtener el agua y otros nutrientes necesarios para su vida. Así pues, todas las funciones que las plantas llevan a cabo tienen ese condicionante. Esto no ha



significado, de acuerdo con un pensamiento panglossiano,⁵ que tenían la finalidad de ser sésiles, sino que la selección natural las llevó por ese camino (7). En parte, que las plantas sean sésiles puede atribuirse a la acción «encorsetante» de las paredes celulares, pero eso no les impide tener movimiento como ya hemos adelantado. Lo anterior se conoce como *exaptación*, un concepto propuesto por Stephen J. Gould y Elizabeth Vrba (8), y que entendemos como una estructura consolidada que inicialmente tiene una función, o ninguna, en un organismo y posteriormente deriva en una estructura con otra función. Por ejemplo, los huesos que dan soporte a los vertebrados y protegen sus estructuras internas surgen como depósitos de calcio internos en organismos marinos primitivos. Esto significa que la pared vegetal, también presente en las células de las algas verdes, no son inicialmente una adaptación para la rigidez y el soporte de un tallo.

Una vez que tenemos claro que sésil no significa inmóvil, pasemos a hablar de cómo se mueven las plantas. Como se ha mencionado las plantas presentan dos tipos de movimientos, las nastias y los tropismos. Nosotros nos movemos gracias a nuestros músculos, que contienen células musculares con una gran cantidad de fibrillas proteínicas que se contraen al recibir estímulos electroquímicos procedentes de las neuronas. Las plantas están formadas por células rodeadas por un exoesqueleto con cierta rigidez, por lo que el mecanismo de movimiento no puede ser similar al muscular. Las plantas también deben la rigidez de sus tejidos en parte al flujo de agua a través de sus vasos y células; sin embargo, este mismo flujo es utilizado como una fuerza motora del movimiento en un sistema mecánico-hidráulico, en el que el trasvase de agua entre diferentes células y tejidos, ocasionan cambios de turgencia que se traducen

⁵ En la novela *Cándido*, escrita por Voltaire en 1759, aparece un personaje con una filosofía de la vida muy particular: el Dr. Pangloss, tutor de Cándido, el personaje principal. El término «panglossianismo» se refiere al optimismo infundado como el que ejemplifican las creencias de Pangloss, que es el opuesto al pesimismo de su compañero de viaje Martín, quien pone su énfasis en el libre albedrío. La frase «pesimismo panglossiano» se ha usado para describir aquella posición pesimista en que, presuponiendo que este es el mejor de los mundos posibles, es imposible en una situación dada conseguir nada mejor.

en movimientos reversibles. En virtud de las acuoporinas⁶ presentes en la membrana celular, estos flujos pueden ser muy rápidos como ocurre, por ejemplo, en el cierre de la trampa de la venus atrapamoscas.

Finalmente, los movimientos irreversibles (tropismos) están indisolublemente ligados con el crecimiento.

3.¿Cómo crecen las plantas?

En virtud de la fotosíntesis, las plantas terrestres son autótrofas y no han necesitado evolucionar hacia anatomías complejas que permitiesen la movilidad y, por ello, presentan una anatomía sencilla adaptada a capturar la energía luminosa del sol y nutrientes del suelo. En consecuencia, las células vegetales, a diferencia de las animales, se hayan fuertemente pegadas unas a otras por sus paredes celulares. La naturaleza rígida de esta anatomía se observa también en el modo en que las plantas crecen.

Todo comienza con una sencilla célula denominada cigoto, en cuya concepción participa un padre y una madre, aunque con marcados matices, en esto no somos tan diferentes animales y plantas, lo que nos sugiere que la reproducción sexual es un logro evolutivo muy temprano. Esta célula llamada cigoto comienza a crecer y a dividirse, dando lugar a un embrión que presenta ya la estructura básica de la futura planta. Así, su desarrollo da lugar a los meristemas caulinar, radical y cambium, que originarán el tallo, la raíz y el crecimiento en grosor de la planta; el embrión ya presenta, además, los dos ejes de simetría, uno axial-bipolar – tallo y raíz– y otro radial, sobre el que se distribuyen los diferentes órganos, ramas, raíces, hojas, flores y frutos de la planta adulta (6).

Pero volvamos a la vieja y hermosa sabina. Si la contemplamos con detenimiento, esta nos cuenta una historia escrita en los anillos de crecimiento anual del duramen o leño que comienza al menos hace 500 años. Una vida de supervivencia frente a vientos huracanados y estíos frente al mar. Mientras el comportamiento sedentario de esta planta per-

⁶ Las acuoporinas son unas proteínas de la membrana celular que transportan moléculas de agua.



mite una organización relativamente sencilla, en comparación a la de un animal, la falta de movilidad constituye un desafío al que debe hacer frente, dadas las condiciones adversas del ambiente en que se encuentra, año tras año. La adaptación ocurre no solo a nivel fisiológico, también se alcanza a través de un patrón flexible de desarrollo. A diferencia de los animales en que el proyecto del cuerpo adulto es establecido durante la embriogénesis, las plantas están elaborando y modificando su forma durante toda su vida, adaptando su programa de desarrollo vegetativo a las condiciones ambientales cambiantes; solamente así nuestra sabina ha sido capaz de sobrevivir a lo largo de 500 años. Esta capacidad de adaptación al entorno es suministrada por los tejidos meristemáticos que contienen un reservorio de células indeterminadas totipotentes; es decir con capacidad plena de división y diferenciación para expresar cualquier programa morfogénico.

Así pues, la formación del cuerpo de la planta es consecuencia de una actividad continua y repetitiva de los meristemas, que agregan sucesivamente unidades denominadas fitómeros⁷ al cuerpo de la misma de acuerdo con un patrón de crecimiento fractal, en el que las células meristemáticas se dividen, crecen y se diferencian originando los distintos tejidos y órganos. Así, decimos que las plantas tienen un desarrollo postembrionario, porque no está prefijado en el embrión, como en nuestro caso, los animales. Mientras que el patrón de diferenciación de una célula en animales suele estar determinado por el linaje del que procede, en plantas está regulado por su posición en el tejido u órganos, y depende de las señales e información que intercambia con su entorno (6). Si uno observa con detenimiento un grupo de animales, por ejemplo, nosotros mismos, comprobaremos que repetimos un mismo patrón de desarrollo, una cabeza con dos ojos y dos orejas, dos cejas situadas sobre los ojos, dos brazos que finalizan en manos de cinco dedos, etcétera. No es este el caso de las plantas, por ejemplo, es imposible encontrar dos árboles con el mismo número de ramas, raíces, posición de las ramas, etcétera. Como

⁷ Se denomina metámero a cada uno de los segmentos que se repiten en ciertos grupos de organismos. Los fitómeros por lo general están constituidos por un nodo desde el que se desarrolla una hoja y una yema axilar en la base de hoja, por un entrenudo, es decir, una parte del tallo situada entre dos nodos.

he mencionado, cada individuo es obligado a capear las adversidades y sobrevivir adaptando su propio desarrollo a las condiciones cambiantes a que está sometido año tras año.

Otro aspecto diferencial entre animales y plantas espermatofitas,⁸ como nuestra sabina, es que la actividad de los meristemos puede ser continua e indefinida, proceso llamado crecimiento indeterminado, y finaliza cuando estos meristemos denominados *vegetativos* se transforman en reproductivos con crecimiento determinado. En las plantas polianuales, como también es el caso de nuestra conífera, los meristemos apicales del tallo y ramas se comportan como si fuesen «inmortales», siempre que el ambiente y las leyes de la física se lo permitan. Nuestra sabina ya ha superado los 500 años, pero en nuestra península encontramos muchos ejemplos de individuos milenarios, por ejemplo, los *texos* de Bermiego (Quirós, Asturias) o del cementerio de Salas (Asturias). La planta viva más vieja conocida es otra conífera, un *Pinus longaeva* llamado «Methuselah»⁹ (Matusalén), que con una edad estimada de más de 4700 años, ostenta, hasta donde sé, el récord oficial Guinness del árbol más viejo del mundo. Su localización exacta se mantiene en secreto para evitar malas experiencias como ocurrió con un antecesor suyo, el pino llamado Prometeo de más de 5000 años, que fue talado por la mala mano de un estudiante graduado llamado Donald Currey que lo cortó para propósitos de investigación.

El crecimiento indeterminado de los meristemos, hace que los árboles no solamente se encuentren entre los organismos más longevos sino también entre los más grandes y altos. Los árboles pueden llegar a ser moles que superan y soportan por encima de las 2000 toneladas erguidas y distribuidas estilizadamente a lo largo de troncos de más de 100 m,¹⁰ con un diseño elástico y sostenible, a prueba del paso del tiempo, huracanes y otras adversidades. No es el caso de nuestra sabina, pero un ejemplo de gigantismo es el *Sunland Baobab*,¹¹ que alberga un pequeño

⁸ Las espermatofitas o fanerógamas son plantas que se reproducen por medio de semillas.

⁹ <http://ecosfera.com/2014/05/top-estos-son-los-nueve-arboles-mas-viejos-de-la-tierra/>.

¹⁰ [https://es.wikipedia.org/wiki/General_Sherman_\(%C3%A1rbol\)](https://es.wikipedia.org/wiki/General_Sherman_(%C3%A1rbol)).

¹¹ <http://www.mymodernmet.com/profiles/blogs/sunland-big-baobab-tree-bar>.



bar con sala de juegos en su interior, considerado todo un símbolo en Sudáfrica. Más ejemplos,¹² los *Eucalyptus regnans* o los *Sequoia sempervirens* que llegan a superar los 115 m de altura, que supera en unos 21 metros a la estatua de la libertad de Nueva York. Algún dato más que se me viene a la mente, según escribo este texto, es que sus sistemas vasculares, formados por haces de tubos con un diseño similar al de los conductos hidráulicos, soportan tensiones superiores a los 3 megapascales; piensen que la presión en un neumático de coche suele estar entorno a los 0,25 MPa. Estas tensiones están originadas por la transpiración que se produce en las hojas y acículas de estos árboles, esta es la fuerza motriz capaz de tirar y mover el agua y los nutrientes absorbidos por sus raíces a lo largo de los 115 m de longitud de sus tallos. ¿Se imaginan intentando aspirar el agua contenida en un vaso con una pajita desde una altura de 100 m? Árboles frondosos como el roble, por ejemplo, pueden transpirar más de 150000 litros de agua por año.

Otro aspecto interesante de los árboles es su polipotencia, que se articula en torno a la presencia en gran parte de sus tejidos de células competentes para expresar gran parte del potencial morfogénico de la planta y, por tanto, les da la capacidad de sustituir o regenerar órganos perdidos o dañados, a la vez que les confiere la posibilidad de reproducir asexualmente individuos completos a partir de pequeñas porciones de tejido. Un ejemplo sublime de supervivencia por autoclonado es un abeto, llamado *Old Tjikko*,¹³ un primo cercano de nuestra sabina, este árbol vive en la montaña sueca de Fulufjället, que se eleva a 1044 metros de altura, y es una *Picea abies* de 95 siglos de edad. A través de pruebas realizadas con carbono 14 se ha podido determinar que sus raíces están vivas desde hace 9550 años, aunque el tallo de solo 4 metros es relativamente joven. La autoclonación supone que este tallo o tronco se ha ido regenerando una y otra vez sobre las mismas raíces desde hace milenios. Durante la Edad de Hielo, los vientos y las bajas temperaturas impidieron su crecimiento y lo transformaron en una especie de bonsái. Así, el ad-

¹² <http://elblogverde.com/el-arbol-mas-alto-del-mundo/>.

¹³ http://www.abc.es/recreo/abci-arbol-vivo-mas-viejo-mundo-201512290929_noticia.html.

mirable abeto fue poco más que un pequeño arbusto durante gran parte de su vida; y es el ascenso de temperaturas de esta época interglaciar lo que le ha permitido dar un nuevo estirón a su avanzada edad.

Hasta ahora he expuesto una serie de datos con el objeto de intentar sorprenderles y estimular su interés por los árboles; sin embargo, es el momento de volver a nuestra sabina y tocar el tema por el cual realmente he decidido hablar de ella. Si la contemplamos con detenimiento, o a cualquier otro árbol, observaremos un patrón de desarrollo fractal simple que se repite; un tronco más o menos grueso y largo que se ramifica en otros de menor grosor, y así sucesivamente hasta ramas relativamente finas que portan las hojas. El crecimiento de nuestra sabina ha supuesto la formación y adición constante de nuevas generaciones de estructuras y no el agrandamiento que experimentan los animales.

El concepto de individuo es discutible en las plantas, ya que se ajustan más a organismos modulares sésiles. El meristemo apical del tallo, generará un linaje de nuevos metámeros que constituirán la naturaleza modular de la planta conforme crece, constituyendo un conjunto de varias generaciones de órganos y tejidos, que en palabras de Richard Firn (9), «funcionan más como una federación de economías especializadas que como una confederación democrática». Además, la constitución de individuos como agrupación de órganos, como en los animales, no tendría ningún sentido estratégico en cuanto a la supervivencia de organismos sésiles sujetos a la depredación.

La cuestión de la modularidad es otro concepto que tampoco ha sido plenamente definido o analizado, pero que ha alcanzado cada vez mayor relevancia en el estudio de la biología del desarrollo y la evolución (10). Por ahora, podríamos decir que, de existir en las plantas, la inteligencia estaría dissociada del concepto de individualidad, y quizás más próxima a una de tipo colectiva o enjambre.

4. ¿Cómo sienten las plantas?

En la antigua Grecia, clásicos como Aristóteles distinguían a los animales caracterizados por «crecer, vivir y sentir» de las plantas, que «crecían y vivían, pero no sentían». Esta diferenciación la asumió Lemery



en 1675 para definir los reinos Animal y Vegetal (11). *¿Estaban los clásicos en lo cierto?*

La Real Academia de la Lengua Española nos da varios significados del verbo *sentir*; entre otros nos dice que es «experimentar sensaciones producidas por causas externas o internas». De acuerdo con esta definición, deberíamos discrepar de los clásicos. Si las plantas son capaces de responder, interactuar y adaptarse a su entorno es porque son capaces de percibirlo.

Sabemos que las plantas han evolucionado y desarrollado sofisticados sistemas sensoriales con el objeto de optimizar su nutrición y defenderse de agentes bióticos, como los patógenos y herbívoros, y también abióticos, como las sequías, el frío, el calor, etcétera.

Nuestra sabina, como organismo dependiente de la luz, necesita conocer su dirección. Charles y Francis Darwin, observando la curvatura de las plantas hacia una fuente de luz (5), concluyeron que estas no solo son capaces de percibir la presencia y dirección de la luz, sino también de transmitir esta información a la zona de la planta que se curva, fenómeno denominado *fototropismo*. Posteriormente, se descubre que las plantas detectan la dirección de la luz porque poseen unas moléculas fotorreceptoras en las células del ápice, las fototropinas,¹⁴ que captan radiaciones de la zona del azul del espectro visible y que inician una cadena de transducción de señales que se transmite desde dicho ápice hasta los tejidos, provocando la elongación de las células situadas en el lado sombreado, lo que produce la curvatura de la misma. La señal transmitida es el ácido 3-indol acético, al que se le denominó *auxina*, del griego *auxin*, elongación y que fue la primera fitohormona descubierta (6).

Las plantas poseen otros fotorreceptores que captan la luz en diferentes rangos de longitud de onda; por ejemplo, una familia de distintos tipos de holoproteínas denominadas *fitocromos*, que se localizan en las células de las hojas y tallos, y les permiten estimar la calidad y canti-

¹⁴ Las fototropinas son proteínas fotorreceptoras (en concreto, flavoproteínas) que, junto con los criptocromos y los fitocromos, permiten a las plantas responder y alterar su crecimiento en respuesta a la luz ambiental. Son proteínas quinasas que se autofosforilan y se activan en respuesta a la luz azul, lo cual puede llevar a una cascada de eventos en el interior de la célula.

dad de luz que reciben o la cercanía y posición de otros objetos o individuos. Para ello, cuantifican la relación entre la luz del rojo y rojo lejano del espectro de la radiación que les llega y reflejan los objetos sobre ella, es decir sus sombras.

De igual modo, el tallo de nuestra sabina percibe la presión del viento y sus raíces la gravedad, reaccionando mediante la translocación de auxina hasta los tejidos, en los que se estimulará o inhibirá el crecimiento localizado de un conjunto de células, respectivamente, lo que ocasionará la curvatura que permitirá a la planta dirigirse hacia el origen del estímulo o alejarse de él. Las auxinas, además de los tropismos, también regulan otros procesos del desarrollo de la planta; particularmente estableciendo la polaridad tallo-raíz desde la misma formación del embrión, junto con otro grupo de fitohormonas, las citoquininas. Así, las auxinas se producirán primordialmente en el meristemo apical, localizado en el ápice del tallo y se transportarán hacia abajo unidireccional e independientemente de la gravedad, por lo que la auxina siempre se acumulará en la dirección donde se sitúan las raíces (6).

Las raíces siempre crecen hacia el interior de la tierra al igual que mineros buscando agua y nutrientes. Esto es lo que se conoce como *gravitropismo*. Este fenómeno ya fue observado por Charles Darwin mientras comprobaba como las raíces posicionadas horizontalmente se inclinaban en función de la gravedad. Al extirpar el ápice radical y colocar la raíz horizontalmente, esta continúa creciendo en esta dirección. Si, por el contrario, se suprime el ápice de la raíz 90 minutos después de situarla horizontalmente, es decir cuando ya ha iniciado su inclinación, esta continuaría creciendo indefinidamente en el mismo sentido. La punta de la raíz, en concreto su caliptra, funciona como un sensor de la gravedad y procesa esta información, lo que le permite orientarse en el espacio e identificar las posiciones abajo y arriba. En el interior de las células de la caliptra se encuentran unos orgánulos, los estatolitos, que son un tipo de amiloplastos modificados, que se depositan por peso sobre la superficie del retículo endoplásmico a modo de plomada indicando el sentido del vector gravedad. Los animales poseemos un sentido denominado *propiocepción* que funciona prácticamente con el mismo principio que en las plantas y que en los invertebrados reside en los estatocistos.



Así pues, las plantas que dependen de la luz del sol, del agua y de los nutrientes del suelo, precisan moverse para ubicar los órganos encargados de su recolección en la posición más favorable en el espacio. Esto es especialmente crítico en los polos de su cuerpo, en los que residen, como hemos visto, los elementos para orientar sus tallos y raíces y crecer del modo correcto, con los primeros posicionados hacia el sol y las segundas dirigidas hacia abajo.

Por otro lado, las plantas deben responder y adaptarse a un ambiente variable (desarrollo postembrionario). Para ello son capaces de percibir las condiciones cambiantes de su entorno, incluyendo las variaciones de las sustancias químicas presentes en el medio ambiente, a cuya generación ellas también contribuyen. Las plantas liberan a su alrededor un conjunto de sustancias volátiles, que nosotros detectamos en forma de olores, y que les permiten valorar el estado de salud o actitud en otros componentes del medio en el que se desarrollan. Algunas plantas se preparan para la batalla cuando «huelen» a sus vecinas heridas, lo que les permite prevenir los efectos de un futuro ataque de patógenos o herbívoros. Otras veces, ellas pueden ser las depredadoras, existen plantas parasitarias no autótrofas que dependen de los nutrientes de otras, como es el caso de la *Cuscuta pentagona*, que olfatea sus posibles víctimas y dirige sus tallos hacia ellas. El olor no es solamente una sustancia volátil sino toda una mezcla de compuestos químicos, y esta planta es incluso capaz de discernir e interpretar si un olor que percibe es de una especie apetecible, como el tomate, o repulsiva a su «gusto», como sucede con el trigo. Esto es debido a que, aunque ambos vegetales contienen un compuesto volátil llamado β -mirceno, solamente el trigo sintetiza un compuesto particularmente «repulsivo» para la cuscuta, el (z)-3-hexanil acetato. Podríamos decir que *Cuscuta pentagona* es capaz de decidir hacia donde crecer en función del olor de las plantas que proliferan a su alrededor.

En otro estudio, el equipo de Monica Gagliano y Michael Renton (12), de la Universidad de Australia Occidental, incluso sugiere que las plantas también perciben los sonidos, sentido que se creía hasta ahora reservado solo al reino animal. En un experimento muy sencillo, se grabaron los clics que realizan las raíces del maíz al crecer, y se observó que

las raíces de plantas próximas se direccionaban hacia esos sonidos e intentaban aproximarse a sonidos similares a esos clics cuando los científicos los reproducían.

La cuestión inmediata sería preguntarse, *¿cómo escuchan y emiten sonidos las plantas?*

La física nos ha demostrado que toda la materia vibra y origina ondas sonoras si el entorno permite su transmisión. También sabemos que una planta gasta menos energía al emitir sonidos que cuando produce señales químicas. Por último, es un hecho que la naturaleza es muy ahorradora y tiende a favorecer la eficiencia energética, por lo que sería extraño que las plantas no poseyesen sensores y emisores definidos de sonidos.

Los vegetales presentan sensores de vibración, aunque estos no son semejantes a los oídos de los animales. Las membranas de las células vegetales captan y reaccionan a la vibración, al igual que lo hacen nuestras células. Las frecuencias que detectan están en el rango de infrasonidos y ultrasonidos, alejadas del rango auditivo humano; es decir que no las oigamos no significa que no existan. Las plantas no aprecian ningún tipo de música, así que no sirve de nada ponerles Mozart a los cultivos o ensayar «5 horas con Mario» con nuestras begonias. Como decimos, emiten y perciben vibraciones de amplitudes muy bajas, que son las más comunes en la naturaleza (entre los 100 y 400 hertzios). Curiosamente, las raíces de las plantas tienden a dirigirse hacia sonidos en el entorno de los 300 hertzios, que son similares a los producidos por el agua que fluye. Esto sugiere que asocian esta frecuencia con la presencia de agua.

Resumiendo, las plantas poseen múltiples y diferentes receptores que son capaces de percibir distintos estímulos, como los mencionados y también otros como cambios en el campo magnético y eléctrico, gradiente químico, etcétera.

Las señales internas y externas son detectadas por receptores, proteínas que cambian en respuesta a estímulos específicos y se encuentran en diferentes componentes celulares, como la membrana plasmática, el retículo endoplásmico, el núcleo, los plastos, citoplasma, etcétera. Cada estímulo debe ser captado por un receptor apropiado. La recepción del estímulo modifica la actividad de ciertas proteínas, o induce cambios en el potencial de membrana, permeabilidad o la formación o cambio en los



niveles de señales intracelulares denominadas segundos mensajeros. Estas moléculas a su vez modulan procesos como la permeabilidad celular, la traducción o expresión génica, originando, en último término, una respuesta rápida, como puede ser la apertura o cierre de los estomas, o lenta, como la floración en el momento adecuado del año. En muchos casos, la respuesta inicial puede ser la producción de señales, como las hormonas, que son transportadas entre diferentes partes de la planta y desencadenan distintos procesos como la curvatura de nuestra sabina. Las fitohormonas y su homeostasis juegan un papel clave en la integración, regulación y sincronización del desarrollo del organismo modular. Muchas de las etapas e intermediarios implicados en la transmisión de las señales, entre los receptores y las respuestas han sido identificadas, tanto espacial como temporalmente, y constituyen las rutas de transducción de señales.

La cadena de reacción a un estímulo externo podría resumirse en: recepción, transducción y respuesta.

Las plantas y los animales tienen componentes intermediarios de transducción similares. En ambos casos se emplean receptores en conjunción con quinasas y fosfatasa, pero presentan diferentes estrategias. Por ello perciben distintos estímulos y obedecen a diferentes sistemas de señales para regular su desarrollo. Así, por ejemplo, en las plantas la germinación, el desarrollo foliar o la floración están regulados por estímulos ambientales como la temperatura, la luz y el fotoperiodo; mientras que los animales responden más bien a señales internas.

En los vegetales la mayoría de las rutas de transducción de señales funcionan inactivando, degradando o retirando represores de expresión génica (6). La inactivación de estos se lleva a cabo a través de mecanismos tan diversos como la fosforilación, defosforilación y degradación de moléculas, fundamentalmente proteínas, que actúan como interruptores dotando a la célula vegetal de mecanismos que le permiten regular la concentración de componentes claves de la ruta de transducción. Los mecanismos de retroalimentación negativa suponen otro mecanismo para atenuar las respuestas. Pero, *¿por qué han evolucionado las vías de señalización de las plantas sobre la base de la regulación negativa más que en la regulación positiva, como ocurre en los animales?*

Los modelos matemáticos de las vías de transducción de señales que emplean reguladores negativos sugieren que estos permiten una inducción más rápida de los genes de respuesta situados aguas abajo. La velocidad de respuesta, en particular frente a un estrés ambiental, como la sequía, puede ser crucial para la supervivencia de las plantas sésiles. Por lo tanto, es probable que la adopción de este tipo de regulación en la mayoría de las vías de señalización de los vegetales haya conferido una ventaja selectiva durante su evolución.

En resumen, este distinto comportamiento observado entre animales y plantas refleja claramente las pautas adaptativas, incluso a nivel molecular, a modos de vida diferentes, sésil frente a móvil.

Por otro lado, las cadenas de transducción de señales, tanto en animales como en plantas, están sometidas a regulación por un reloj circadiano y estacional interno, mediante mecanismos muy semejantes en ambos tipos de organismos. Las plantas duermen de modo muy similar a los animales. Tienen un ciclo diurno activo y otro nocturno de descanso. También existen vegetales que son noctámbulos, como ciertos animales, y los ciclos van al revés. La fase de descanso de las plantas presenta idénticas características que la de los animales; por ejemplo, no presentan sensibilidad al entorno e incluso las posiciones de descanso son similares. Muchas plantas cierran sus hojas o las sitúan en una posición diferente durante la noche. Y como los animales, a medida que cumplen años requieren menos horas de descanso observándose diferencias entre plantas jóvenes y las más adultas. Este es un asunto de genes que se activan de modo distinto al envejecer igual que sucede con los animales. No conocemos por qué las plantas necesitan descansar; al igual que tampoco sabemos con claridad por qué dormimos. Lo solemos relacionar con la actividad cerebral, pero no hay ninguna prueba científica concluyente. Los vegetales no tienen cerebros, pero sus procesos de vigilia/descanso son similares a los de los animales.

En este apartado hemos finalizado por equiparar la percepción vegetal con la animal. Pero para poder afrontar el desafío que nos hemos planteado al inicio, respecto a la posible inteligencia de las plantas, deberemos debatir previamente acerca de tres características de lo que consideramos inteligencia: la comunicación, la memoria y el aprendizaje.



5. ¿Son capaces de comunicarse las plantas?

La comunicación vegetal ocurre a dos niveles: intra e inter especies.

Una de las primeras formas de comunicación vegetal descubierta es la que ocurre mediante señales químicas volátiles, a la que nos hemos referido al hablar de la reacción frente al ambiente. El primer trabajo de este tipo se publicó en 1983 por Rhoades (13), trabajando con el sauce de Sitka (*Salix sitchensis*); en dicho artículo se describe que los sauces infectados experimentalmente emiten señales químicas que hacen que los vecinos sanos generen resistencia contra los depredadores. Se ha comprobado que la agresión por patógenos o herbívoros induce cambios en la expresión de cientos de genes.

Ian Baldwin y su grupo del Instituto de Química Ecológica del Max Planck (RFA) están demostrando que las plantas son más que formas de vida primitiva y que son capaces de comunicarse entre ellas mediante un complejo lenguaje de sustancias químicas (14). Hasta ahora han identificado más de 200000 compuestos vegetales naturales. Estos investigadores han descifrado la información empleando un aparato que asemeja a las larvas causando heridas en las hojas de tomate. El aire del recipiente, que contiene la planta de tomate, es analizado posteriormente en un espectrómetro que muestra las señales químicas con que reaccionan los vegetales a los diversos ataques. «El organismo vegetal entra en un caos total y casi perece. Luego se repone gracias a una reacción finamente orquestada que desemboca en una demanda de auxilio», dice este autor. Se trata de sustancias que transitan por toda la planta en cuestión de minutos. Las llamadas fitohormonas tendrían el mismo papel que las hormonas que liberan los tejidos humanos y originan dolor para llamar la atención sobre una inflamación. Uno de estos compuestos es la hormona del peligro, llamada *jasmonato*; actuaría similarmente a la adrenalina de los animales. El papel de esta pequeña molécula, que se sospecha fundamental para la supervivencia de los vegetales, es actuar de guardián y alertar de una amenaza exterior: un animal herbívoro; un hongo; un insecto; una bacteria; un cambio brusco de temperatura, y oponer resistencia.

¿Qué beneficio genera para el emisor advertir a las demás plantas?

Un aspecto fundamental de esta pregunta es conocer si la planta emite esas señales para alertar al resto de sus órganos o bien a otros congéneres. En un experimento realizado por Heil y Silva Bueno (15), se observó que cuando las hojas se hieren, estas inducen una respuesta sistémica frente a la agresión; pero si las hojas están aisladas en una bolsa de plástico, los compuestos volátiles, al no salir del área dañada, no generan inmunidad contra el ataque de herbívoros y patógenos. Obviamente, puesto que los compuestos generados son volátiles y se emiten a la atmósfera, las señales químicas de respuesta a la agresión también alertarán a otros individuos. Al ser organismos modulares, ambos aspectos son relevantes, evita ser agredido y el individuo advierte a las plantas vecinas, favoreciendo que los insectos reduzcan el ataque y evitando que el daño se propague en la población, previniendo un ataque futuro. Es decir, la planta atacada se beneficia a la larga si comunica la información.

Esta actividad cooperativa proporciona algunos ejemplos sorprendentes en los que se puede estimar incluso un alto grado de generosidad. Hay una investigación muy hermosa que se hizo hace cuatro años en Canadá, en el transcurso de la cual se aisló a un gran abeto del acceso al agua, y los abetos de alrededor le pasaron sus nutrientes (a través de sus raíces) durante años para que no muriera. Esto sugiere que las plantas son organismos sociales tan sofisticados y evolucionados como nosotros. Su vida social es muy activa y, como no pueden moverse, tienen que tejer unas relaciones sociales útiles con sus vecinas.

También se ha comprobado que algunas especies de plantas muestran el cuidado parental que observamos en los animales más evolucionados. En un bosque denso, para que “un árbol recién nacido” adquiera cierta altura y pueda realizar la fotosíntesis y ser autosuficiente, han de pasar al menos diez o quince años durante los cuales será alimentado y cuidado por su familia. Esos cuidados se los proporcionan, a través de sus raíces, las plantas de su mismo clan que están cercanas.

Como hemos comentado, otra posible vía de comunicación entre los seres vivos son los sonidos. Investigaciones realizadas por el mencionado grupo de Monica Gagliano y Michael Renton, sugieren que las plan-



tas, o al menos las estudiadas por ellos, no son una excepción y pueden comunicarse entre sí mediante sonidos (12). Este equipo estudió la germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum*) en presencia o ausencia de otras plantas de la misma especie, o de plantas de albahaca (*Ocimum basilicum*). En ausencia de otras plantas, la tasa de germinación era muy baja, pero en presencia de ellas, la germinación y el crecimiento de las plántulas de pimiento aumentaban. Lo relevante fue que cuando las semillas de pimiento se aislaban de las plantas de albahaca con barreras de plástico negro, que bloqueaban las señales lumínicas o químicas, las semillas germinaron como si todavía pudieran comunicarse con sus vecinas. Por el contrario, plantas calificadas como competidoras, como el hinojo (*Foeniculum vulgare*), parecían impedir la germinación de las semillas de pimiento por la misma vía. Estos autores interpretaron estos datos como una muestra de que las plantas pueden afectar a la germinación de las semillas y crecimiento de las plántulas por un mecanismo todavía desconocido, habiendo sugerido que la naturaleza de esta vía de comunicación podrían ser señales acústicas generadas por vibraciones nanomecánicas, desde el interior de las células, que facilitarían una comunicación rápida entre plantas próximas.

6. ¿Qué tipo de memoria tienen las plantas?

Se han propuesto tres tipos de memoria en las plantas: sensorial y a corto y largo plazo, aunque sus mecanismos no son para nada semejantes a la memoria que reside en nuestro cerebro. Muchos autores optan por emplear el término de impronta de estrés a lo que otros designan como memoria, con el propósito de «evitar las connotaciones antropomórficas ligadas a este término» (16). Independientemente del vocablo, se concibe que es la manera en que prácticas pasadas influyen y condicionan la subsecuente modificación de una respuesta.

Son numerosos los experimentos que demuestran la existencia de memoria en las plantas; estas necesitan recordar los estímulos que han recibido para dar una respuesta apropiada a su entorno (17). «Las plantas forman memorias que registran la exposición previa a la sequía, al calor, al frío prolongado y a los agentes patógenos», explica Lindquist (18). Por

ejemplo, la memoria de la hibernación, conocida como *vernalización*, se forma tras una exposición prolongada al frío, que promoverá la floración en primavera; esta memoria a largo plazo y basada en mecanismos epigenéticos¹⁵ puede persistir en una planta obtenida a partir de un esqueje que, en sí mismo, nunca ha estado expuesto al frío (6).

La Dr. Monica Gagliano y sus colegas, trabajando con *Mimosa pudica* diseñaron una serie de experimentos como si esta fuese un animal con un comportamiento condicionado (19). «Entrenaron» su memoria a corto y largo plazo en dos entornos, uno de alta y otro de baja luminosidad, dejando caer repetidamente agua sobre las plantas utilizando un aparato de diseño personalizado. Se observó que las plantas de mimosa detenían el cierre de sus hojas cuando comprobaban que la perturbación repetida no tenía ninguna consecuencia perjudicial real. Demostraron así, que las plantas son capaces de adquirir un comportamiento aprendido en cuestión de segundos y, como en los animales, el aprendizaje es más rápido en el entorno menos favorable. Lo más notable es que estas plantas eran capaces de recordar lo aprendido durante varias semanas, incluso después de que las condiciones ambientales hubieran cambiado.

La venus atrapamoscas (*Dionaea muscipula*) tiene la capacidad de recordar los estímulos eléctricos previos, que son conservados durante un corto período de tiempo y que le sirven para activar su mecanismo de cierre de la roseta. Esto indicaría un tipo de memoria eléctrica de corto plazo (17) que reduciría el número de falsas alertas y, por tanto, un gasto energético innecesario, al requerir que la víctima entre en contacto con los tricomas de sus hojas, al menos dos veces en un periodo corto de tiempo.

Otro tipo de memoria se basa en mecanismos epigenéticos (6), como se ha mencionado, e incluso hay investigaciones recientes que implican a los priones (18), semejantes a los que provocan el síndrome de las «vacas locas», como mecanismo de memorización, por ejemplo, para registrar las condiciones ambientales a largo plazo y regular la floración en la descendencia.¹⁶

¹⁵ Se refiere al conjunto de reacciones químicas y demás procesos que modifican la actividad del ADN pero sin alterar su secuencia.

¹⁶ http://elpais.com/elpais/2016/05/24/ciencia/1464084789_791430.html.



En una mala hierba conocida como chipaca (*Bidens pilosa*), se analizaron los niveles de jasmonato y oxilipinas, sustancias indicadoras del ataque de un herbívoro, y se sugirió un posible modelo de memoria vegetal a un nivel genético. Las plantas no expuestas previamente a un ataque presentaban una concentración basal de estos compuestos indicadores de ataque. Cuando se producía la agresión de un insecto, la producción y liberación de estos reguladores de crecimiento vegetal se activaba, de manera que cuando se superaba un umbral determinado, lo que solía suceder tras ataques sucesivos, se observaba una reducción en el periodo de respuesta a ataques posteriores. La forma en que las plantas recordaban estas sucesivas agresiones implicaría varias fases; entre ellas: la modificación de las rutas biosintéticas implicadas en la sobreproducción de oxilipinas, la modificación en la percepción de estos compuestos y su transducción vía factores de transcripción y activadores transcripcionales, y en la producción de micro ARNs que posibilitarían la formación de improntas de estrés a largo plazo (14).

En otro experimento muy similar, Heidi Appel y Rex Cocroft,¹⁷ investigadores de la Universidad de Missouri (EE. UU.), pusieron orugas sobre algunos berros, y en otros colocaron unos aparatos que imitaban las vibraciones emitidas por los insectos cuando se alimentaban de ellos.¹⁸ Cuando los científicos pusieron las orugas reales sobre las plantas que habían estado en contacto con los artilugios, observaron que la exposición previa a las «vibraciones de alimentación» inducía en ellas un aumento de la concentración de aceite de mostaza, sustancia repelente de insectos herbívoros. En resumen, los berros reaccionaron a lo que apreciaron como una amenaza inminente y movilizaron sus defensas. Así, se demostró que las plantas son capaces de sentir las agresiones y reaccionar frente a ellas al activar sus defensas.

Así pues, lo siento por los veganos por razones éticas, pero pese a su apariencia de inertes y pasivas, las plantas se defienden y «hasta sienten los dientes de quienes las devoran». Las plantas de alguna manera «escuchan» las vibraciones de tus dientes masticando y reaccionan dis-

¹⁷ <https://cocroft.biology.missouri.edu/>.

¹⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=TKQ-CIX9afA>.

cretamente ante ello; ello no significa que puedan sufrir como lo hacen los animales, pues no tienen sistema nervioso central. Pero la creencia de que los únicos seres «sintientes»¹⁹ son los animales debería descartarse de una vez.

7. ¿Aprenden las plantas?

El carácter sésil de nuestra sabina la hace más sensible y capaz de discriminar las señales ambientales que los animales. Nuestro árbol recibe más de una decena de estímulos ambientales y, a pesar de que entre estos hay interferencias, debe ser capaz de fijar su atención y limitar su percepción hacia ciertas señales específicas para responder adecuadamente. Para ello es necesario un sistema de detección de errores que verifique que se está cerca o lejos de lograr los objetivos que redunden en su supervivencia.

El aprendizaje, según Threwavas (20, 21), implica dos condiciones: la capacidad de tener un objetivo y la capacidad de evaluar y modificar el comportamiento ajustándolo a la realidad actual. Investigaciones recientes muestran que las plantas de café y los cítricos en flor interactúan con las abejas de distinto modo según la cantidad de polen que estas lleven (22). Si transportan mucho polen, las flores incrementan los niveles de cafeína en el néctar para estimular sus neuronas, y de esta forma recuerden esa planta y regresen a ella.²⁰ Por el contrario, si la abeja acarrea poco polen, suprime la cafeína.

Otro ejemplo esclarecedor es el de las acacias africanas que muestran una batería diversa de respuestas frente a sus depredadores. Estas leguminosas suelen prestar alojamiento en pensión completa a algunas hormigas especializadas que conviven con ellas y las defienden de herbívoros como elefantes y jirafas. En otros casos utilizan estrategias más drásticas. El profesor emérito, Wouter van Hoven de la Universidad de Pretoria en Sudáfrica, en un estudio sobre las causas de una altísima mortalidad de los kudúes, un tipo de antilope que se alimenta ramoneando

¹⁹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensocentrismo>.

²⁰ <http://blogs.discovermagazine.com/science-sushi/2013/03/07/2634/>.



las acacias,²¹ comprobó que dicha mortandad variaba según la zona y era proporcional a la densidad de la población de antílopes en cada granja cinegética estudiada. Se puso de manifiesto que las acacias cuando son sometidas a un excesivo ramoneo, responden incrementando los niveles de taninos en sus hojas hasta en cuatro veces, lo que resultaba tóxico para los antílopes; pero esta no era la única respuesta que se observó, además emitían etileno, una fitohormona gaseosa, que se difundía en la atmósfera y advertía a las acacias de su misma zona que aún no habían sido atacadas, de manera que estas también reaccionaban incrementando la actividad de los enzimas productores de taninos. Así, la acacia no solo percibe la agresión de los herbívoros y la memoriza, además, también advierte del riesgo a otros árboles de su especie, demostrando así una verdadera inteligencia social.

Resumiendo, hemos aportado pruebas de que las plantas sienten, recuerdan, se comunican, aprenden y son altruistas o interesadas, según les convenga, pero:

8. ¿Son inteligentes las plantas?

Quedaría por indagar si la inteligencia es un rasgo asociado a sistemas complejos, o si únicamente es un carácter ligado a los sistemas neuronales de los animales. Supuestamente somos competentes para identificar la inteligencia en otros animales, sustancialmente porque investigamos organismos que parecen resolver problemas. Pero las plantas suponen un desafío tan absolutamente diferente que es extraño en su conjunto al hábito humano. Incluso la misma intencionalidad podría ser una propiedad inseparable del lenguaje y no necesariamente de la inteligencia.

La palabra inteligencia procede del latín *intelligentia*, que significa literalmente «escoger entre». La Real Academia Española de la Lengua incluye, además, como acepción más común, la de «capacidad de entender o comprender». En el lenguaje colectivo, se entiende como inteligencia la habilidad que tienen los seres humanos y los animales superiores,

²¹ http://www.dailymotion.com/video/xbth6g_inteligencia-vegetal-las-acacias_school.

para entender la realidad, independientemente de si hay intencionalidad o no. Entender el concepto de inteligencia con nuestros paradigmas actuales se antoja ya difícil y, por ello, es complejo lograr definir si lo que observamos en otros animales, o en las plantas, organismos que nos ocupan en este momento, es o no inteligencia.

Un equipo internacional de científicos de la Universidad de Oxford (Reino Unido) y Tel-Hai College (Israel) ha demostrado que las plantas de guisantes pueden manifestar sensibilidad al riesgo; es decir, que puedan tomar decisiones de adaptación que tengan en cuenta la variación ambiental, una capacidad previamente desconocida fuera del reino animal (23). El profesor Alex Kacelnik, del Departamento de Zoología de la Universidad de Oxford, en la discusión de este trabajo expone: «A nuestro entender, esta es la primera demostración de una respuesta adaptativa al riesgo en un organismo sin un sistema nervioso. No concluimos que las plantas son inteligentes en el sentido utilizado por los seres humanos u otros animales, sino más bien que los comportamientos complejos e interesantes en teoría, se pueden predecir como adaptaciones biológicas... Los resultados nos llevan a mirar a las plantas de guisante como estrategias dinámicas que modelan sus procesos de toma de decisiones como si fueran un ser inteligente».

La biología comienza a replantear cada vez más el modo en que concebimos la Tierra y sus especímenes. Una definición de inteligencia en términos biológicos es la que se basa en la capacidad que tiene un ser vivo de adaptarse al entorno (2). En este sentido, las plantas son entes realmente inteligentes, como lo demuestra el hecho de que han logrado colonizar todos los ambientes, si exceptuamos la Antártida o ciertas regiones áridas del planeta, y con esto podemos asegurar que las plantas tienen un comportamiento tan elaborado como el de los animales. Stefano Mancuso, profesor del Departamento de Neurobiología Vegetal de la Universidad de Florencia (Italia) expresa que «Si se define la inteligencia como la capacidad de resolver problemas, las plantas tienen mucho que enseñarnos». ²² Las plantas son capaces de responder de ma-

²² <http://www.rtve.es/alacarta/videos/redes/redes-raices-inteligencia-plantas/989209/>.



nera adecuada a estímulos internos y externos, es decir: son conscientes de lo que son y de lo que las rodea. Según este autor, la inteligencia es un carácter de tipo cuantitativo, mayor o menor según el organismo, algo que existe tanto en las plantas como en los animales, una propiedad de la vida que todos los seres vivos deben tener para sobrevivir.

Otro actor relevante en la nueva percepción sobre inteligencia vegetal es el profesor emérito de la Universidad de Edimburgo (Reino Unido) Anthony Threwavas (21, 24), a quién tanto debemos acerca del conocimiento sobre el funcionamiento de las plantas. Su aportación empieza estableciendo una fuerte relación entre dos conceptos: inteligencia y movimiento. Pensamos intuitivamente que nuestra capacidad de movimiento es una consecuencia de la inteligencia. Hemos visto que tanto las plantas como los animales responden a estímulos ambientales moviéndose, aunque los mecanismos sean completamente diferentes. Como ya comentamos, los animales se mueven gracias a las células musculares que se contraen al recibir estímulos electroquímicos procedentes de una neurona. Las plantas carecen de neuronas y músculos y se mueven modificando su forma con el crecimiento. La inteligencia se suele asociar con la presencia de un sistema nervioso central, pero *¿lo necesitan las plantas?*

El sistema nervioso central integra todas las señales que vienen del exterior y del interior, organiza toda esta información, la procesa y genera una respuesta. El cerebro es el órgano rector del organismo en todos los vertebrados, mientras que en los artrópodos y moluscos encontramos ganglios nerviosos que centralizan la información y son, por tanto, equivalentes al cerebro vertebrado. Sin embargo, en los corales, los poríferos, como las esponjas, los briozoarios y los ectoproctos, todos ellos organismos de vida sésil al igual que las plantas, no encontramos células nerviosas, lo que sugiere que la vida sésil no impone la necesidad de un sistema que organice toda la información del ambiente que el organismo está percibiendo.

Si bien no hemos discutido si todo lo anterior es o no inteligencia, hemos logrado esclarecer que la percepción vegetal difiere de la percepción animal solamente en algunos de los mecanismos, pero no en el concepto. Es más, podríamos aventurarnos a decir que las plantas son tan

conscientes de su entorno como lo son los animales,²³ independientemente de su inteligencia. No necesitan un sistema nervioso que procese toda la información procedente del exterior ni órganos de los sentidos específicos para poder sentir y relacionarse con el medio, las plantas no necesitan ojos para ver, nariz para oler u oído interno para saber dónde se encuentran en el espacio. Tampoco necesitan neuronas para producir impulsos eléctricos ni músculos para moverse.

Al contrario que en los animales, la mayor parte de las células vegetales transmiten señales eléctricas, y en el ápice de las raíces hay muchísimas. Charles y Francis Darwin en los últimos párrafos de su libro *El poder del movimiento de las plantas* (5), espacio que solían reservar para sus aseveraciones más relevantes, aventuran y predicen que el cerebro de las plantas reside en sus raíces y, en cierta manera, las investigaciones del grupo del Dr. Mancuso les están dando la razón (25). Este grupo observó que el movimiento de los ápices radiculares es muy complejo y exige la sincronización de las diferentes partes de la raíz, que en cierta forma se asemeja al reptar de los gusanos o serpientes.²⁴ Asimismo, las raíces presentan en el ápice, entre el área meristemática y la de elongación, una zona denominada de transición (26, 27), inferior a 1 milímetro de longitud, con la actividad respiratoria y emisión de señales eléctricas más alta detectada en las plantas, con potenciales de acción semejantes a los que nuestras neuronas utilizan para intercambiar información. Sabemos que cada zona de transición solo tiene unos centenares de células, pero cada planta puede presentar de decenas a miles de raíces, todas interconectadas entre sí, de manera que parece que funciona de forma similar a una red de internet, aunque en el caso de las plantas serían redes vivas.

Aceptemos que los árboles son organismos modulares, formados por la adicción sucesiva de metámeros al cuerpo primario de la planta. Supongamos ahora que funcionasen regidos por las mismas pautas observadas en los poliorganismos con inteligencia de tipo enjambre o social. En el mundo biológico abundan los procesos colectivos que poseen rele-

²³ <http://www.animal-ethics.org/sintiencia-animal/>.

²⁴ https://www.ted.com/talks/stefano_mancuso_the_roots_of_plant_intelligence?language=es.



vantes funciones adaptativas, que van desde el movimiento coordinado para la construcción del nido hasta la formación de un camino para la comunicación. Con frecuencia, estos fenómenos se asientan en reglas simples e información local (no exigen un plan global o un coordinador central), y compensan el deficiente funcionamiento o los desvíos en el comportamiento de algún elemento del colectivo.

El tratamiento teórico y los algoritmos de los modelos y ejemplos de autoorganización colectiva se inspiran en el diseño de nuevas técnicas de aprendizaje automático y de sistemas robóticos. El concepto de autoorganización viene del mundo de la Química-Física para indicar procesos en los que las interacciones locales entre partículas simples generan una estructura de un nivel superior. En el caso de las plantas, me atrevo a aventurar que se ajustaría al de colectivos de individuos que muestran división del trabajo y especialización en las diferentes actividades que se realizan simultáneamente. En todos estos casos, la estructura resultante emerge del trabajo colectivo de los organismos individuales (metámeros) que ejecutan comportamientos simples basados en la información local y no poseen un plan global que guíe el resultado final. Algunos de esos comportamientos simples podrían estar programados genéticamente, pero es poco probable que la larga serie de acciones que se ejecutan estén codificadas en el genotipo, porque eso requeriría multitud de genes y sería demasiado inflexible para adaptar el organismo al cambio repentino que puede ocurrir en el entorno. Una explicación más plausible es que la evolución selecciona las normas de comportamiento que priman en los principios de autoorganización para la producción de un fenómeno colectivo. En otras palabras, la mayor parte de los comportamientos resultantes de la actividad de las partes no están genéticamente codificados, sino que resultan de las interacciones con otros miembros del organismo modular y con el ambiente en un proceso de autoorganización.

Dicha autoorganización se basa en dos fuerzas contrarias: atracción y repulsión. En los sistemas biológicos, estas fuerzas se describen a menudo como retroalimentación positiva y negativa. La retroalimentación ocurre cuando una variable del sistema es alimentada de nuevo en el sistema para aumentar o disminuir la magnitud de esa misma cantidad.

Las distintas vías de transducción entre percepción y respuestas interaccionan entre sí mediante complejas redes de retroalimentación positiva y negativa, propias de un sistema complejo y necesarias para mantener el equilibrio dentro de la célula y el organismo. Este estado de equilibrio es equivalente a un «atractor» en teoría de sistemas dinámicos porque dicho sistema tenderá a volver a él si es perturbado. Todos los procesos que permiten la homeostasis de un organismo se regulan mediante un proceso de ciclos de autorregulación de ese tipo. Esto se conoce como *Biología de Sistemas*, una nueva área de la Biología Molecular que estudia cómo los sistemas complejos tienen la capacidad de autorregularse mediante complejas redes de interacciones que permiten crear mecanismos de detección y corrección de errores; sin embargo, esto no implica aprendizaje. Mantener la homeostasis no es un objetivo *per se* sino una propiedad de un sistema complejo vivo. Mientras el crecimiento de los animales solamente implica el agrandamiento de las estructuras, las plantas agregan nuevos miembros (órganos) a su estructura; los nuevos órganos dependerán de sus vecinos, pero el modo en el que crezcan y se desarrollen dependerá del ambiente que los rodea, creando más bien una confederación que un gobierno (28). De este modo, la interacción a distancia entre los individuos (metameros) se produce por medio de señales. Una señal es un índice intencional emitido por un individuo (organismo, órgano, tejido o célula) que se destina (más o menos conscientemente) a afectar el comportamiento de los individuos (organismo, órgano, tejido o célula) que lo reciben. Por ejemplo, durante la floración, las hojas competentes captan los estímulos oportunos y emiten señales, en forma de una proteína (FT) que se transporta a través del floema hasta los ápices vegetativos que sí son competentes se transformarán en meristemos florales.

Para finalizar, si algo tenemos en común todos los organismos, grabado en nuestro código genético, es la perpetuación de nuestras especies y, desde un punto de vista biológico, la inteligencia es un carácter más a tal fin. A medida que nuestra inteligencia social «autoconsideramos que ha aumentado», nuestras acciones han demostrado que han sido proporcionales a la destrucción de nuestro hábitat, comprometiendo nuestro futuro. Nuestra sabina lleva 500 años enseñándonos una lección



de integración y adaptación al medio en su hábitat y si no la molestamos, probablemente perdurará otros 1000 años más, que es el plazo que nos predice el profesor Stephen Hawking,²⁵ si persistimos en que sea el ambiente el que se adapte a nuestras necesidades. Según el astrofísico Michio Kaku «la conciencia es el conjunto de bucles de retroalimentación necesarios para crear un modelo del lugar que ocupamos en el espacio, en relación a los demás y en relación con el tiempo»²⁶ (29). Quizás nuestra sabina no sea un organismo inteligente, de acuerdo con nuestros parámetros; pero al menos espero haberles convencido de que es consciente de su entorno y tiene consciencia de su posición en él. Así pues, dejo a su albedrío la respuesta a mi última cuestión.

¿Es la melena de Machín, un árbol inteligente?

9. Conclusiones

1. Las plantas deberían contemplarse como organismos modulares sésiles. Su desarrollo supone la formación sucesiva de nuevas generaciones de estructuras y no el agrandamiento de las iniciales, típico de los animales.
2. Los vegetales presentan una habilidad sensorial similar e incluso, en algunos aspectos, superior a la de los animales. La capacidad de percepción no está asociada a la tenencia de un sistema nervioso.
3. Las plantas exhiben comportamientos complejos y diversos que incluyen la comunicación, la memoria y el aprendizaje.
4. Si realmente los vegetales son seres inteligentes, dicha (o esta) propiedad estaría desligada del concepto de individualidad y más cercana a una inteligencia de tipo social no asociada a un sistema coordinador central.

²⁵ http://elpais.com/elpais/2016/06/29/ciencia/1467213227_674046.html.

²⁶ <http://www.poramoralaciencia.com/2015/01/26/michio-kaku-explica-que-es-la-conciencia/>

Bibliografía

1. SANCHÍS I. Las plantas tienen nuestros cinco sentidos y quince más [Entrevista a Stefano Mancuso]. Vanguardia; 2015 [actualizado el 02/04/2015 14:58. Disponible en: <http://www.lavanguardia.com/lacontra/20150331/54428628868/la-contra-stefano-mancuso.html>.
2. STENHOUSE D. The evolution of intelligence: A general theory and some of its implications: Barnes & Noble Books; 1974.
3. MARDER M. Plant intentionality and the phenomenological framework of plant intelligence. *Plant signaling & behavior*. 2012;7(11):1365-72.
4. VON UEXKÜLL J, VON UEXKÜLL M, O'NEIL JD. A foray into the worlds of animals and humans: With a theory of meaning: U of Minnesota Press; 2010.
5. DARWIN C, DARWIN F. The power of movement in plants. London: Murray. 1880.
6. TAIZ L, ZEIGER E, Møller IM, Murphy A. Plant physiology and development: Sinauer Associates, Incorporated; 2015.
7. GOULD SJ and LEWONTIN, Richard, C. (1979). The Spandrels of San Marco and the Panglossian Programme: A Critique of the Adaptationist Programme. *Proceedings of the Royal Society of London*. 205(1161):281-8.
8. GOULD SJ, Vrba ES. Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*. 1982;8(01):4-15.
9. FIRN R. Plant intelligence: an alternative point of view. *Annals of Botany*. 2004;93(4):345-51.
10. BOLKER JA. Modularity in development and why it matters to evolution. *American Zoologist*. 2000;40(5):770-6.
11. CAVALIER-SMITH T. A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews*. 1998;73(3):203-66.
12. GAGLIANO M, MANCUSO S, Robert D. Towards understanding plant bioacoustics. *Trends in plant science*. 2012;17(6):323-5.
13. RHOADES D. Herbivore population dynamics and plant chemistry: Academic Press, New York; 1983.



14. GALIS I, GAQUEREL E, PANDEY SP, BALDWIN IT. Molecular mechanisms underlying plant memory in JA-mediated defence responses. *Plant, cell & environment*. 2009;32(6):617-27.
15. HEIL M, BUENO JCS. Within-plant signaling by volatiles leads to induction and priming of an indirect plant defense in nature. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007;104(13): 5467-72.
16. BRUCE TJ, MATTHES MC, NAPIER JA, PICKETT JA. Stressful “memories” of plants: evidence and possible mechanisms. *Plant Science*. 2007;173(6):603-8.
17. VOLKOV AG, CARRELL H, ADESINA T, MARKIN VS, JOVANOV E. Plant electrical memory. *Plant signaling & behavior*. 2008;3(7):490-2.
18. CHAKRABORTEE S, KAYATEKIN C, NEWBY GA, MENDILLO ML, LANCASTER A, Lindquist S. Luminidependens (LD) is an Arabidopsis protein with prion behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2016:201604478.
19. GAGLIANO M, RENTON M, DEPCZYNSKI M, MANCUSO S. Experience teaches plants to learn faster and forget slower in environments where it matters. *Oecologia*. 2014;175(1):63-72.
20. TREWAVAS A. How plants learn. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 1999;96(8):4216-8.
21. TREWAVAS A. Aspects of plant intelligence. *Annals of Botany*. 2003;92(1):1-20.
22. WRIGHT GA, BAKER DD, PALMER MJ, STABLER D, MUSTARD JA, POWER EF, et al. Caffeine in Floral Nectar Enhances a Pollinator’s Memory of Reward. *Science*. 2013;339(6124):1202-4.
23. DENER E, KACELNIK A, SHEMESH H. Pea Plants Show Risk Sensitivity. *Current Biology*. 26(13):1763-7.
24. TREWAVAS AJ, Baluška F. The ubiquity of consciousness. *EMBO reports*. 2011;12(12):1221-5.
25. BALUŠKA F, MANCUSO S, VOLKMANN D, BARLOW P. The ‘root-brain’ hypothesis of Charles and Francis Darwin: revival after more than 125 years. *Plant signaling & behavior*. 2009;4(12):1121-7.
26. BALUSKA F, MANCUSO S. Root apex transition zone as oscillatory zone. *Frontiers in plant science*. 2013; 4:354.

27. BALUŠKA F, MANCUSO S, VOLKMANN D, BARLOW PW. Root apex transition zone: a signalling–response nexus in the root. *Trends in plant science*. 2010;15(7):402-8.
28. MCINTYRE GI. Control of plant development by limiting factors: a nutritional perspective. *Physiologia Plantarum*. 2001;113(2):165-75.
29. KAKU M. *The future of the mind: The scientific quest to understand, enhance, and empower the mind*: Doubleday; 2014.



