

# SABER ENVEJECER, UN ARTE, UN PROCESO DIFÍCIL DE LA VIDA

Marta Cubría Radío



Ya decía el padre del psicoanálisis Sigmund Freud (1856-1939) que si quieres soportar la vida, tienes que estar dispuesto a aceptar la muerte; o como decía el humorista francés Colucci (1944-1986): “*si tu voulais pas mourir, le mieux c’était carrément de pas naître*” (si no querías morir, lo mejor habría sido no haber nacido, directamente). Y en efecto, la muerte forma parte de la vida y en el caso de las plantas, va asociada muchas veces a la **senescencia**, un tipo de muerte programada que provoca una disminución de la eficiencia fisiológica. Es necesario diferenciarla del envejecimiento por sí solo, que es el proceso que se produce de forma natural con el paso del tiempo. En inglés se utilizan las palabras: *senescence* y *aging*, respectivamente.

La senescencia de las plantas es uno de los puntos que actualmente investiga el grupo de investigación, formado el 2003, que lidera el Dr. Sergi Munné Bosch en el Departamento de Biología Vegetal (Unidad de Fisiología Vegetal) de la Facultad de Biología en la Universidad de Barcelona. Además, también son especialistas en estudiar el estrés hídrico, el estrés oxidativo y la fotoprotección, que a la vez son procesos que se ven involucrados en el proceso de la senescencia.



De izquierda a derecha: Marta Juvany, Xavier Miret, Melanie Morales, Jana Cela, Sergi Munné, Íker Hernández, Marta Oñate, Maren Müller, Amparo Asensi y Laia Arrom. Faltan: Marta Pintó, Laura Siles y Sandra Puig.

## ¿POR QUÉ SE INVESTIGA LA SENESCENCIA?

La senescencia, es un proceso que desde siempre ha intrigado a la sociedad. En la Grecia Clásica, el filósofo Aristóteles ya escribía sobre ella. Obviamente, la preocupación siempre ha sido encarada al ser humano, pero, ¿por qué nos interesa estudiar la senescencia en plantas?

En primer lugar, porque el estudio directo de la senescencia nos lleva a conocer mejor el proceso y, a partir de aquí, intentar aumentar la longevidad de los cultivos, lo que podría suponer una mejora de la eficacia de los mismos, uno de los primeros objetivos en este ámbito por su proximidad a la industria alimentaria. El estudio indirecto de la senescencia consiste en la investigación de factores que la inducen, como podría ser el estrés oxidativo que se explicará más adelante. El hecho de estudiar la senescencia indirectamente aportaría gran conocimiento sobre la actuación y el desarrollo de diversos tipos de estrés, los cuales, de nuevo, pueden provocar una baja eficiencia de los cultivos.

En segundo lugar, el caso del estudio de la senescencia en el aparato reproductor de la planta, la flor, comporta un extra de información fisiológica transformada en económica para la industria horticultora.

## ¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE EL ESTUDIO DE LAS PLANTAS?

La demanda global de productos derivados de las plantas, como los alimentarios, está incrementando dramáticamente. Desafortunadamente, las personas más pobres son y serán las primeras víctimas de este déficit alimentario; las Naciones Unidas han estimado que el número actual de países que luchan cada día contra la crisis alimentaria ya son: 37.

¿Por qué han aumentado tanto últimamente los precios de los productos? A la vez que algunos defienden que la primera causa es la avaricia empresarial, otros indican que el primer factor es el aumento exponencial de la población mundial. En las próximas décadas, se calcula que

habrá 3 billones de bocas más para alimentar mientras que disminuye el número de tierras cultivadas. Además, en los países desarrollados hay una tendencia a seguir creciendo económicamente respecto al resto, donde el consumo de productos de origen animal está aumentando; la producción de un kilogramo de carne requiere de cuatro a ocho kilogramos de cereales. Por otro lado, la subida del precio de la energía ayuda al incremento del precio de producción de la comida.



Para finalizar, las plantas hoy día empiezan a jugar un rol importante dentro de la necesidad energética: la **bioenergía**. El reto está en compatibilizar al 100% y de forma no competitiva la bioenergía con la agricultura para la alimentación, preservando al mismo tiempo los ecosistemas.

Es por todo esto que es importante conocer y acercarse al mundo de las plantas. Las vías abiertas de su investigación son múltiples y variadas: la producción vegetal, la innovación biotecnológica y el desarrollo óptimo de la planta. También los procesos (eco)-fisiológicos para saber cómo funciona la planta, como por ejemplo la fotosíntesis, la absorción de agua y minerales, la movilización de almidón y las reservas lipídicas, y la tolerancia al estrés. Todo ello implica una gran complejidad ya que se ve regulado por una red multifactorial y molecular que no se conoce mucho y que interactúa fuertemente.

### ¿QUÉ es la senescencia?

La primera pregunta que nos hacemos es: ¿qué es la senescencia? Es el proceso fisiológico de la última etapa del desarrollo de la planta; de la vida de la planta. Es un proceso dependiente de energía que está controlado por el propio programa genético de la planta y que se caracteriza por el típico proceso de removilización de nutrientes.

Se han identificado dos tipos de senescencia vegetal: la senescencia **mitótica** y la **post-mitótica**. La mitosis es un proceso de división de las células que consiste en la obtención de dos células hijas con igual número de cromosomas, el material genético, que la célula inicial. En la senescencia mitótica, como el propio nombre indica, la célula pierde permanentemente la capacidad de dividirse por mitosis; mientras que en la senescencia post-mitótica la célula, con la previa pérdida de la capacidad mitótica, es conducida a su propia muerte. Es lo que ocurre, por ejemplo, con las hojas en el otoño como ilustra la figura que encabeza el artículo.

A raíz de estas definiciones nos podemos hacer una segunda pregunta: ¿cuál es la diferencia o relación que hay entre la muerte y la senescencia? Sencillo, la senescencia es un tipo de muerte, pero no todos los tipos de muerte se deben al proceso de la senescencia. La senescencia es un proceso lento, largo y generalizado, que pertenece a la muerte conocida científicamente con el nombre de muerte celular programada o *Programmed Cell Death* en inglés (PCD).

A diferencia del proceso general de la senescencia, el último paso de la senescencia, que explicaré más adelante, es un proceso rápido y localizado donde actúan unas proteasas – enzimas degradadores de proteínas – específicas para arginina/lisina que se encuentran en plantas, hongos y protistas: las metacaspasas y la degradación de membranas cloroplásticas entre otros efectos.

En el desarrollo animal, la PCD juega un papel importante, en la que los mecanismos moleculares han sido extensamente estudiados. La PCD se puede iniciar por señales específicas, como errores en la replicación del ADN durante la división e implica la expresión de un grupo característico de genes. La expresión de estos genes provoca la muerte celular. No se conoce mucho la PCD en plantas.

### ¿DÓNDE ocurre?

Volviendo a las plantas, la senescencia puede producirse en cualquier órgano de la planta, pero los más estudiados han sido las hojas. El grupo de investigación del Dr. Sergi Munné Bosch, además de la senescencia foliar, también estudia la senescencia floral. De la senescencia floral estudia el llamado punto de no-retorno, el punto a partir del cual la senescencia será irreversible y que también se da en la senescencia foliar. La importancia económica de trabajar con la senescencia floral está directamente relacionada con la industria de las plantas ornamentales. El “consumo” de flores por persona en Europa y Japón es similar (21,7 y 20,04 per cápita, según el *Flower Council of Holland*, 2007). La producción total horticultora en 2010 sumó 7.9 billones de euros, de los cuales 5.2 billones de euros eran del sector ornamental y 2.7 billones eran del sector de la horticultura.

### ¿CUÁNDO y CÓMO ocurre?

Se inicia por la edad, al recibir una serie de señales de desarrollo y una serie de señales medioambientales; es decir, que intervienen **factores endógenos** y **exógenos**. El proceso tiene tres fases: **fase inicial**, **fase degenerativa** y **fase terminal**. La fase inicial o fase de inducción de la senescencia se caracteriza por una disminución de la fuente de energía – transición de la

fuente-, inicio de la disminución de la actividad fotosintética y cascadas primarias de señales. Esta etapa está fuertemente regulada por hormonas. La pérdida de la eficiencia fotosintética, debida a la degradación del aparato fotosintético, es uno de los procesos que permiten monitorizar la senescencia. Los otros son variaciones en los niveles de proteínas o el grado de integridad de las membranas hasta la expresión de los genes asociados a la senescencia (SAGs).

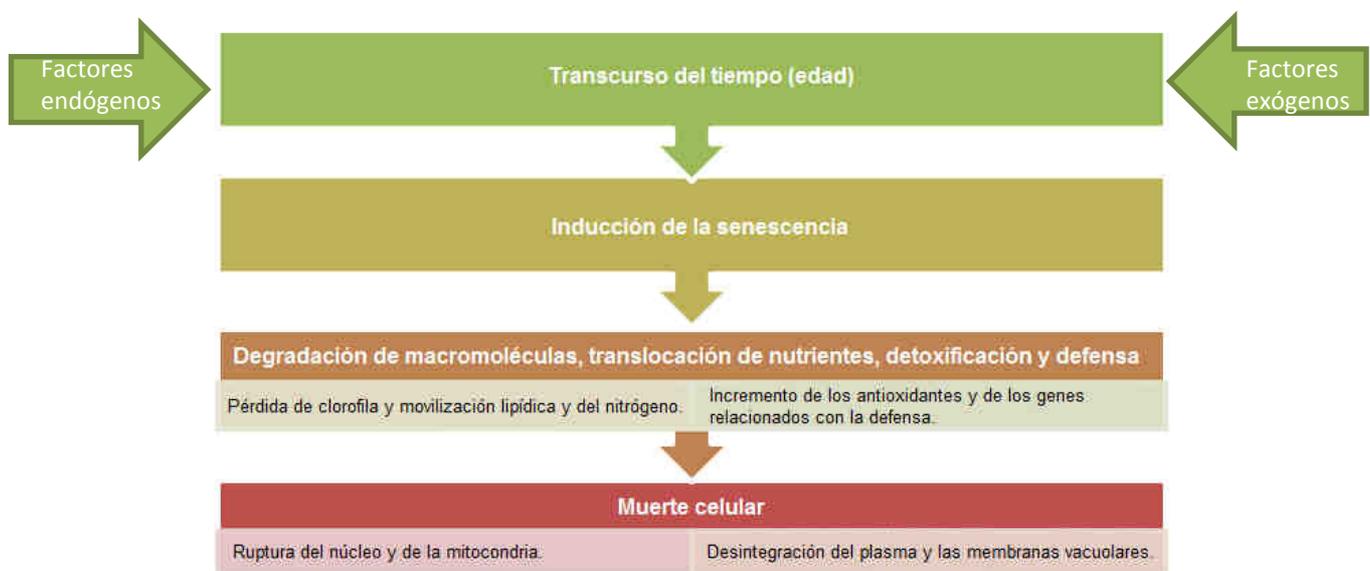
En segundo lugar, en la fase degenerativa se lleva a cabo el desensamblaje de los componentes celulares y la degradación de macromoléculas. Es la fase de reorganización que asegura la movilización de nutrientes, para reaprovecharlos. Por último, en la tercera fase, la fase terminal, se acumulan factores inductores de la muerte celular, pérdida de la integridad de la célula y finalmente la muerte celular.

### ¿POR QUÉ y QUIEN es el responsable?

Los factores de la inducción de la senescencia, como ya he comentado anteriormente, son: los factores endógenos, los factores exógenos y la edad que se consideraría un factor endógeno.

Los factores endógenos, además de la edad, son: las hormonas vegetales –como las citoquinas, el etileno, la auxina, los jasmonatos, el ácido salicílico y el ácido abscísico-, el estrés oxidativo, los azúcares y la reproducción en las flores.

Los factores exógenos son: los rayos ultravioleta B o el ozono, la limitación de nutrientes, el calor o el frío, la sequía, la sombra y el ataque de patógenos, entre otros; la mayoría de estos casos crean una situación de estrés.



Podemos deducir que todos estos factores, al no actuar individualmente, crean una compleja red de interacciones que construye todo un sistema que dificulta su estudio y comprensión. En este punto reside la dificultad de la investigación alrededor de la senescencia.

Me centraré en explicar los principales reguladores endógenos y algunas de las técnicas de laboratorio que han ayudado a la identificación de su función en la senescencia.

### **Las fitohormonas**

Se ha identificado cuáles son los principales reguladores internos –las hormonas- y cuál es su función. Como ya he dicho, los estudios hasta ahora se han centrado en las hojas, pero normalmente, los compuestos reguladores suelen mantener su función en la senescencia de las diferentes partes de la planta. Es cierto también que hay controversia respecto a ciertas hormonas vegetales o fitohormonas y su función. Según la Real Academia de la lengua Española (RAE) una hormona es una sustancia orgánica de acción inhibitoria o activadora, específica de la función de determinados tejidos y, en consecuencia, una **hormona vegetal** es una sustancia que controla el desarrollo de los vegetales. Son sintetizadas por la propia planta y siempre regulan los procesos fisiológicos con concentraciones muy bajas.

Las hormonas vegetales, en el caso de la senescencia, se pueden dividir en dos tipos: las inductoras de la senescencia y las inhibitorias de la senescencia. Las hormonas actuarán en forma de concentraciones y nunca a título individual sobre cascadas de transducción de señales y sobre genes activadores o inhibitorios de procesos, directa o indirectamente relacionados con la senescencia. La transducción de señales es un proceso que tiene dos etapas principales. En la primera etapa una molécula, hormona o estímulo medioambiental, activará un receptor que está situado en la membrana plasmática; en la segunda etapa hay una alteración de las moléculas intracelulares gracias a la activación del receptor y, en consecuencia, la célula da una respuesta, un cambio fisiológico. Es un proceso muy complejo ya que intervienen muchos elementos y éstos no actúan solamente en la transducción de una señal sino que actúan en muchas, creando una red.

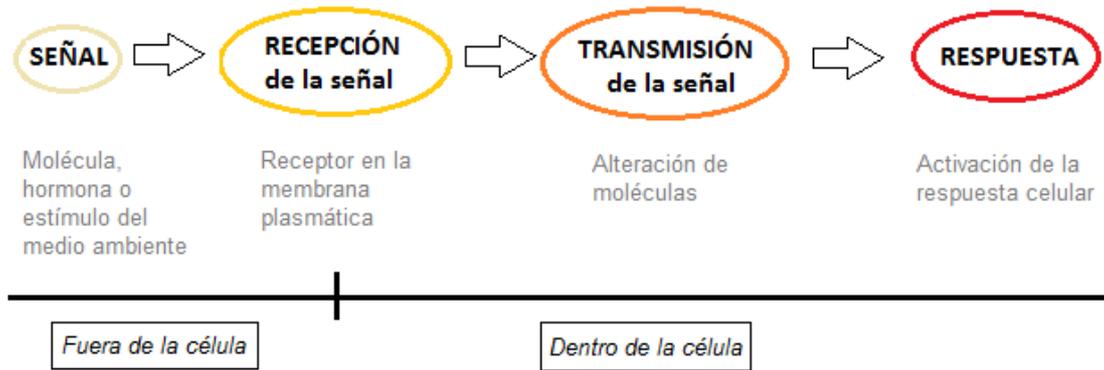


Figura 1 La transducción de señal

Las hormonas inductoras del proceso son: el etileno, el ácido abscísico y los jasmonatos primordialmente, pero también los salicilatos y los brasinoesteroides. El **etileno** es sin duda el promotor más estudiado. Es un hidrocarburo de fórmula  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ , uno de los principales componentes del gas natural. Para estudiar la función de todos estos compuestos, en el proceso se utilizan diversas técnicas de aplicación exógena, y se comparan los resultados con un control –



Figura 2 Estructura química de l'etilè.

planta sin aplicación exógena- debiendo tenerse en cuenta que el efecto en el primer caso no es solo resultado de la hormona aplicada externamente, sino también de la hormona producida por la propia planta. Además, también se han creado transgénicos insensibles al etileno que permiten retardar la aparición del proceso de la senescencia, y mutantes que producen menores cantidades de etileno. Un ejemplo de transgénico insensible son los mutantes *etr1* d'*Arabidopsis thaliana*, que son insensibles al etileno porque los receptores del etileno han sido truncados (figura 4). *Arabidopsis thaliana*, una planta emparentada con la mostaza, es el modelo biológico por excelencia del mundo vegetal y con el que se suelen iniciar las investigaciones biotecnológicas; el problema que presenta es que tiene poca aplicabilidad a la eco-fisiología real ya que, como vulgarmente se dice, es una planta de laboratorio.



Figura 1 Diferentes partes de *Arabidopsis thaliana*, modelo biológico vegetal.

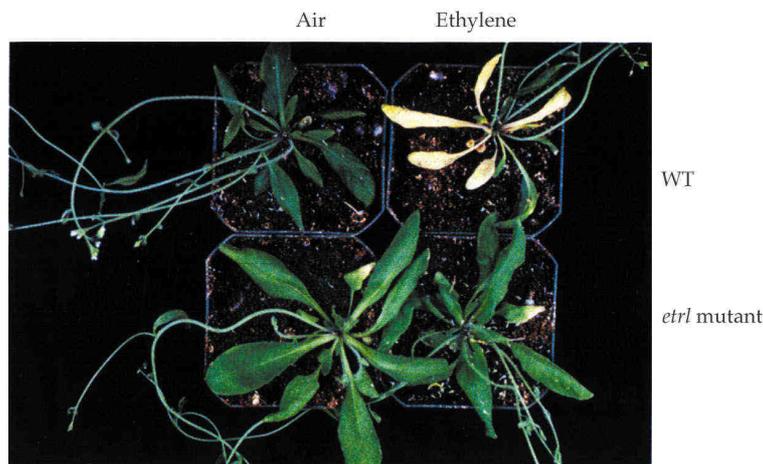


Figura 2 Diferencias entre *Arabidopsis thaliana* – desarrollada en las mismas condiciones- dependiente de si es salvaje, wildtype WT, o el mutante *etrl* y de si tiene aplicación exógena de etileno o no.

Por el contrario, las hormonas inhibitoras del proceso son las citoquinas, las auxinas y las giberelinas. Las citoquinas naturales son las grandes inhibitoras de la senescencia. La zeatina (figura 5) es de las primeras citoquinas identificadas. La función que las define mejor es la promoción de la división y diferenciación celular. En el caso de las citoquinas la investigación se ha realizado gracias a la aplicación exógena y gracias a transgénicos sobre-productores de citoquinas.

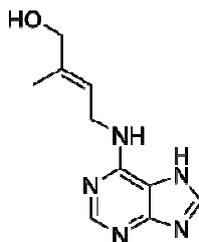


Figura 3 Estructura química de la zeatina, una citoquina. Fue determinada por primera vez en *Zea mays*, el maíz, gracias a Lethan (Australia) y Miller (EE.UU). Las citoquinas son moléculas derivadas de la adenina con una cadena lateral unida al grupo 6 del anillo purínico. La cadena lateral puede ser isoprenoide o aromática.

Aunque las citoquinas no previenen completamente la senescencia, pueden retardarla de forma significativa. Si se hace una aplicación exógena solo de citoquinas sobre las hojas se observa que éstas se quedan verdes (fotosintéticamente activas), mientras que en una situación normal estas hojas se vuelven amarillas debido a que durante la senescencia el metabolismo de los carotenos aumenta (figura 6). Para comprobar el papel de las citoquinas en la regulación del inicio de la senescencia de la hoja, se transformaron plantas de tabaco con un quimérico que tenía como promotor el específico de la senescencia (promotor SS) para dirigir la expresión del gen *ipt* implicado en la biosíntesis de las citoquinas (figura 7). En plantas, se utilizan mucho los genes quiméricos para aumentar la síntesis proteica, es decir la expresión de un gen.



Figura 4 A la izquierda, la planta que expresa el gen *ipt*, se mantiene verde y fotosintéticamente activa. A la derecha, la planta control de la misma edad con senescencia avanzada y de reducida actividad fotosintética.

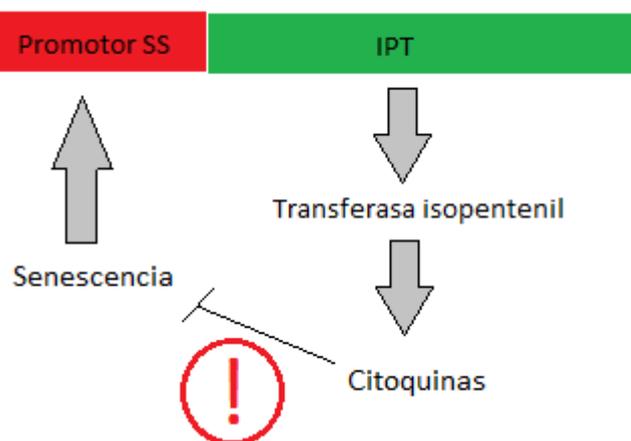


Figura 5 Funcionamiento del gen sobre expresado ipt.

### El estrés oxidativo

Otro de los factores endógenos que puede contribuir a la senescencia en las plantas es el **estrés oxidativo**. La vida en la Tierra ha evolucionado dando lugar a organismos aerobios, que no pueden vivir sin oxígeno, ya que es clave para sus procesos metabólicos. No obstante, cuando el oxígeno es activado, se forman las especies reactivas de oxígeno (ROS). Un exceso de estas formas reactivas y una disminución de los antioxidantes conducen al estrés oxidativo. En la célula vegetal es frecuente y normal la generación de ROS en los cloroplastos durante el proceso fotosintético, aunque existan numerosos mecanismos defensivos para contrarrestar este estrés oxidativo de origen fisiológico.

El concepto inicial de las ROS era que eran sustancias tóxicas siempre, pero se ha visto y demostrado que esta teoría ya ha quedado obsoleta y que las ROS son sustancias señaladoras y que solamente cuando la relación entre cantidad de ROS y cantidad de antioxidantes se desequilibra mucho a favor de las ROS, se inicia el estrés oxidativo.

El efecto oxidativo de las ROS depende de con quien interactúen. El efecto oxidativo sobre los lípidos provoca una reacción en cadena de peroxidación, y sobre las proteínas provoca alteraciones estructurales sobre la estructura primaria, secundaria y terciaria. En el caso del ADN provocaría mutaciones, como deleciones y roturas, y uniones a proteínas. Este efecto oxidativo de las ROS se definiría como un daño en el caso de que fuese una oxidación sostenida y de que los antioxidantes no puedan paliar los efectos.

Los mecanismos para defenderse de las ROS pueden ser, bien los antioxidantes enzimáticos, o bien los antioxidantes no-enzimáticos. Entre los antioxidantes enzimáticos tenemos los llamados superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa, y entre los antioxidantes no-

enzimáticos tenemos el ascorbato (vitamina C), los tocoferoles (vitamina E), el  $\beta$ -caroteno (vitamina A), el glutatión o el coenzima Q, entre otros. Los antioxidantes pueden, en algunos casos, reaccionar directamente con las ROS, o servir de sustrato de las enzimas defensivas. Tienen la capacidad de inhabilitar la acción, que podría ser nociva, de los radicales libres generados como consecuencia de su propio metabolismo.

Durante la senescencia hay una disminución de la estabilidad de la membrana, un aumento de la tasa de peroxidación lipídica y una reducción de los niveles de superóxido dismutasa o la catalasa, que contribuyen doblemente al incremento del estrés oxidativo. A medida que avanzamos los estadios de la senescencia, aumentan las ROS y la maquinaria antioxidante pierde funcionalidad. El balance de la producción de ROS y la actividad antioxidante de la célula es un factor de regulación del proceso de la senescencia.

Otras dos técnicas de estudio de la senescencia son los análisis del grado de peroxidación lipídica, por ser el responsable de la degradación de la membrana a causa del efecto de las ROS en los lípidos, y la actividad de los enzimas detoxificadores y de las moléculas antioxidantes no-enzimáticas.

Concluyendo, todavía queda un largo camino para comprender el entramado de factores que actúan en el proceso de la senescencia y, como decía Platón (427 ac-347ac), filósofo griego, “teme la vejez, porque nunca viene sola”. En ciencia, temer es sinónimo de investigar y en ello está el grupo de investigación del Dr. Sergi Munné Bosch de la Universidad de Barcelona, entre otros laboratorios de todo el mundo.

## **LOS MIEMBROS DEL GRUPO:**

### **Entrevista con el Dr. Sergi Munné Bosch.**

El Dr. Sergi Munné Bosch lidera el grupo de investigación desde 2003 y es profesor titular en la Facultad de Biología en la Universidad de Barcelona. La clave de su investigación es imperativamente la motivación.

**Marta Cubría: ¿Qué motivación principal fue la que te animó a iniciarte en la investigación?**

Dr. Sergi Munné i Bosch: Fue un poco por accidente, un motivo personal. (Se queda pensativo) Fue gracias a que me dieron una beca Erasmus. En mi caso, tenía que hacer investigación con aquella beca y fue entonces cuando me inicié en la investigación, me gustó, desgraciadamente (risas) y aquí estoy.

**MC: ¿Por qué te quedaste haciendo investigación en España si parece más atractivo profesionalmente el extranjero?**

SM: Por razones personales: familia y pareja. (Seguidamente y con mucho entusiasmo, continúa hablando). Pero también se puede trabajar bien en España, se puede hacer investigación de primer nivel. En España puede ser más difícil que en Alemania, por ejemplo, pero es más fácil que en el norte de África, por ejemplo. Y además, más recursos no quiere decir necesariamente mejor investigación, las ideas también son importantes (remarcando mucho la palabra “necesariamente”). Los descubrimientos científicos más importantes recordemos que no son de la época post-genómica, quiero decir que no son de los últimos diez años, que es cuando en principio se hizo la mayor inversión en investigación.

**MC: ¿Piensas que la sociedad sabe en qué se invierte su dinero destinado a la ciencia? Y si no lo saben, ¿Cómo se lo harías llegar?**

SM: No lo saben. La clave, divulgación de la ciencia, como el artículo que estás escribiendo tú.

**MC: ¿Lo tendrían que saber?**

SM: Sí, lo tendrían que saber.

**MC: ¿Qué razón contundente darías a una persona de la calle para invertir en investigación?**

SM: No tengo ninguna. Para mí el mundo no se acaba en la investigación, aunque sea investigador. Depende de si se quiere avanzar en el área del conocimiento, es decir, depende de las prioridades sociales.

**MC: ¿Y en la investigación de las plantas?**

SM: Igual que en animales.

**MC: Actualmente tienes bajo tu grupo componentes que vienen de Licenciatura y de Grado, ¿qué diferencias académicas hay? ¿Pros y contras?**

SM: No tengo nadie bajo mi grupo, es mi grupo. No he encontrado diferencias, ningún problema. Lo que yo valoro de una persona son las ganas de trabajar, no que tengan un poco más o menos de conocimientos.

**MC: Este grupo de investigación colabora o ha colaborado con otros centros. Para dar una idea al lector, ¿de qué variedad de países estamos hablando?**

SM: "Puff", muchos ... Brasil, Chile, Estados Unidos, Canadá, Sudáfrica, Túnez, Japón, Nueva Zelanda, Australia y diferentes países europeos como por ejemplo Francia, Alemania, Portugal, Reino Unido.... Más o menos son los que recuerdo ahora.

**MC: ¿Cómo se establecen estas relaciones para hacer colaboraciones?**

SM: Las relaciones se establecen con las personas, no con los países o con las instituciones. Por ejemplo, la colaboración con Nueva Zelanda la establecí gracias a haber conocido en un congreso europeo a un holandés que estaba como profesor en Nueva Zelanda. Nosotros pertenecemos a una Red Europea de Senescencia donde también podemos establecer relaciones para colaboraciones. También por casualidad, conoces a alguna persona en el ámbito privado con quien después estableces relaciones en el ámbito profesional. Por artículos directamente, también sería una posibilidad.

**MC: Puedes comparar la manera de hacer investigación de otros centros internacionales con el de la Universidad de Barcelona, ¿qué diferencias hay?**

SM: La investigación depende de las personas y no de una institución por sí sola. No compararía en general centros.

**MC: ¿Un cambio práctico y factible que harías en la manera de hacer investigación en la Universidad de Barcelona para mejorarla?**

SM: Si la UB quiere mejorar su investigación lo que tiene que hacer es financiar a los grupos de investigación directamente (haciendo énfasis sobre la palabra “directamente”).

**MC: ¿Qué países recomendarías profesionalmente hablando como destino para la investigación de la Fisiología Vegetal?**

SM: Todos. Si tuviese que escoger algún país para una Fisiología Vegetal muy tecnológica lo haría en Alemania o Estados Unidos; si tuviese que escoger para una Fisiología Vegetal más relacionada con la biodiversidad escogería Brasil, Sudáfrica o África Subsahariana, por poner algunos ejemplos. Depende mucho del ámbito de la Fisiología Vegetal que quieras estudiar.

## LOS MIEMBROS DEL GRUPO:

### Entrevista con la Dra. Laia Arrom

La Dra. Laia Arrom presentó su tesis doctoral con el título: “Senescencia floral en *Lilium*: importancia de los reguladores endógenos y efectos de las aplicaciones exógenas”, en septiembre de 2012. Hoy, continúa investigando y ayudando a los estudiantes más jóvenes que integran el grupo, con el empuje que tanto la caracteriza.

**Marta Cubría: Al salir de la carrera (Licenciatura de Biología), ¿qué deficiencias y en qué aspectos crees que tenías una buena formación?**

Laia Arrom: Me faltaba práctica en el laboratorio, no porque no se hagan prácticas suficientes a lo largo de la carrera sino porque trabajar y hacer prácticas dirigidas es muy diferente, me faltaba “soltura”. Y creo que salí bastante reforzada por lo que respecta a ser capaz de buscar una fuente de información, donde encontrar la información.

**MC: Acabas de doctorarte hace no más de un año; ¿podrías decirme los pros y contras de tu experiencia de cuatro años de doctorado?**

LA: Pros: he podido hacer lo que yo he querido, no he estado ligada a nada y he tenido mucho soporte, pero eso, claro, depende de quién te dirija la tesis.

Contra: es sacrificado pero si te gusta se pasan las horas volando.

**MC: ¿Cómo recuerdas el día de la presentación de tu tesis?**

LA: (Se queda pensativa) Muchos nervios. Llevas tanto tiempo preparándote solo para eso, y pasa muy muy rápido.

**MC: Teniendo en cuenta solamente los aspectos profesionales, ¿en qué otro centro o país te habrías planteado hacer el doctorado?**

LA: Es que no me había planteado hacer el doctorado, surgió. Me explico, comencé una colaboración con una chica del grupo de Sergi, Marta, me gustó mucho y después Sergi me sugirió si quería hacer el doctorado con él y así comenzó todo.

**MC: Durante estos años de investigación, ¿qué crees que has aportado a la sociedad?**

LA: Sí que he aportado mi granito de arena a la sociedad científica, al menos por lo que hace a la ciencia básica; pero soy consciente de que a la sociedad en general poco...

**MC: ¿Cómo ves el horizonte y cuál es tu motivación actual?**

LA: El horizonte complicado, porque tengo la vida hecha aquí y no quiero marcharme, y parece que si no quieres marcharte no tienes sitio aquí en España.

La motivación, los nuevos retos, la investigación es lo que tiene, que por muy insignificante que parezca una cosa a ti te parece interesante.

**MC: ¿Te ves trabajando en una empresa?**

LA: Sí (rotundo).

**MC: Hoy en día, ¿cuál sería la característica principal que ha de tener un investigador?**

LA: Paciencia, motivación y persistencia. Ganas de hacer las cosas, simplemente.

**MC: ¿Cuál es tu día a día en el laboratorio?**

LA: No estoy cada día en el laboratorio. La gracia de este trabajo es que no tienes dos días iguales, un día estás en el Parque Científico, otro estás en Campos Experimentales, otro estás en el laboratorio del departamento, otros buscando artículos, otros escribiendo...

**MC: ¿Crees que la “internacionalidad” es necesaria en un buen investigador futuro?**

LA: Creo que marcharte fuera siempre te enriquece y te enseña nuevas formas de hacer las cosas, y te enseña a hacer cosas no solamente del trabajo sino que también aprendes cosas nuevas de ti mismo. De todas formas, no estoy de acuerdo con la idea de que todo lo de fuera es mejor, la falta de recursos a veces te hace tener más ingenio que las ocasiones en las que se dispone de todos los recursos.

**MC: Si tuvieses que darle un adjetivo a la ciencia de España, ¿cuál sería?**

LA: Yo diría rigurosa, no sé si lo digo solo por lo que conozco, pero he conocido y conozco gente muy válida.