

La ciencia al alcance de la mano

De nuevo presentamos en *Encuentros en la Biología* una contribución seleccionada entre las publicadas en la sección «Acércate a nuestros científicos» de la página web de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM), una de las sociedades científicas más importantes de España. Esta sección se impulsa desde el Programa de Divulgación de la SEBBM. El artículo fue publicado en junio de 2015. Puede encontrarlo, junto con otros [aquí](#).

Coordinadores de la sección: José Manuel Bautista, Amalia Díez, Teresa Giráldez, Almudena Porras, Isabel Varela-Nieto y Enrique Viguera Mínguez.



Paloma Mas es Profesora de Investigación del CSIC en el Centro de Investigación en AgriGenómica (CRAG, CSIC) en Barcelona. Doctora en Ciencias Biológicas (1997) por la Universidad de Murcia, realizó una primera etapa post-doctoral (1997-1999) en The Scripps Research Institute (La Jolla, CA, EEUU) en el estudio de virus de plantas. Posteriormente, en el Institute for Childhood and Neglected Diseases (ICND) (La Jolla, CA, EEUU) (2000-2003), estudió la ritmicidad circadiana en plantas. Actualmente dirige un grupo que se centra en los mecanismos de progresión del reloj circadiano en *Arabidopsis*. Es adjunta de la ANEP del área de plantas, ha sido Directora del Departamento de Genética Molecular, miembro de la comisión científica interna del CRAG y vocal de la comisión de admisiones de la SEBBM. Ha recibido el premio EURYL y el premio de la Fundación Carmen y Severo Ochoa. Ha sido miembro del programa EMBO YIP y más recientemente ha sido elegida EMBO Member.

EL RELOJ CIRCADIANO DE *Arabidopsis thaliana*: ¡LAS PLANTAS SIGUEN EL RITMO!

por PALOMA MAS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN AGRIGENÓMICA (CRAG, CSIC). BARCELONA

PALOMA.MAS@CRAGENOMICA.ES

El reloj circadiano percibe los cambios medioambientales y mide el paso del tiempo para generar ritmos en múltiples procesos biológicos. El reloj juega un papel particularmente importante en plantas, pues al ser organismos sésiles necesitan responder y adaptarse a los cambios medioambientales de forma muy precisa y eficiente.

The circadian clock perceives the environmental changes and measures the pass of time to generate rhythms in multiple biological processes. The clock plays a key role in sessile organisms like plants that need very precise and efficient responses to the environmental changes.

El reloj circadiano es un mecanismo celular presente en prácticamente todos los organismos. Una función clave del reloj es la sincronización del metabolismo, fisiología y desarrollo con los cambios medioambientales diurnos y estacionales generados por la rotación de la tierra sobre su propio eje^[1]. Se ha propuesto que las oscilaciones circadianas proporcionan una ventaja adaptativa al permitir que los organismos anticipen las transiciones durante el ciclo diurno/nocturno y coordinen procesos simultáneos, secuenciales o temporalmente incompatibles^[2]. En los últimos años, numerosos estudios bioquímicos, moleculares y genéticos han proporcionado una visión más completa de la función y organización circadiana. Los ritmos circadianos se generan en primera instancia mediante las regulaciones recíprocas entre componentes centrales del reloj que producen una ritmicidad en expresión génica, procesamiento de mRNA, abundancia de proteína y actividad^[3]. Otro mecanismo importante para la oscilación rítmica in-

cluye los cambios en la estructura de la cromatina y su control sobre la expresión de genes del reloj^[4].

Los estudios clásicos circadianos establecen que el funcionamiento del reloj recae en tres principales módulos funcionales: (1) rutas de entrada, (2) el oscilador central, y (3) rutas de salida. Hoy en día sabemos que esta visión es demasiado simplificada y que en realidad el reloj funciona mediante una red muy compleja de componentes y actividades interconectadas entre sí y con otras vías biológicas relevantes^[3]. En cualquier caso, la visión clásica del reloj es útil para entender cómo funciona, y hoy en día se sigue utilizando para posicionar componentes del reloj dentro de la entramada red circadiana. De forma muy simplificada se podría decir que la ruta de entrada al reloj hace referencia a todos los componentes que son capaces de percibir las señales medioambientales externas (fundamentalmente luz y temperatura) y de transmitir esta información temporal para sincronizar el oscilador. Este oscilador central funciona como un auténtico marcapasos que genera y mantiene los ritmos de su propia actividad, transmitiendo esta ritmicidad a los procesos biológicos controlados por el reloj, que componen sus rutas de salida.

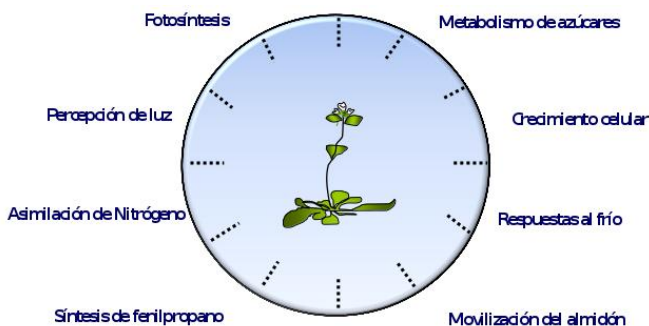


Figura 1. El reloj circadiano regula la ritmicidad de numerosos procesos fisiológicos y metabólicos en la planta.

La investigación circadiana ha avanzado de forma notable en los últimos años sobre todo en la planta modelo *Arabidopsis thaliana*. Respecto a la ruta de entrada, los efectos de la luz en el reloj están mediados por receptores específicos que incluyen fitocromos, criptocromos y los miembros de la familia de proteínas ZEITLUPE. Es interesante que aunque los criptocromos y fitocromos no son esenciales para las oscilaciones circadianas en *Arabidopsis*, la regulación circadiana de las rutas de foto-transducción genera fuerte vínculos entre estas dos redes de señalización. Se trata de un proceso conocido como *gating* mediante el cual un mismo proceso o respuesta de la planta se regula de manera diferente dependiendo de si es de día o de noche^[5]. La importancia del reloj para la planta también queda reflejada en las rutas de salida o procesos regulados por el reloj^[6]. De hecho,

casi todas las etapas del desarrollo de la planta están controladas por el reloj, por ejemplo la germinación, crecimiento y la regulación fotoperiódica del inicio de la floración. Otros procesos como la apertura estomática, la regulación y señalización de hormonas, las respuestas a los ataques bióticos y abióticos también están modulados por el reloj.

En *Arabidopsis*, de forma similar a otros organismos, la generación de la ritmicidad recae en una serie de regulaciones recíprocas entre componentes del oscilador central. Dos factores de transcripción tipo MYB, denominados CCA1 (CIRCADIAN CLOCK ASSOCIATED 1) y LHY (LATE ELONGATED HYPOCOTYL) participan como componentes represores de un regulador de respuesta atípico denominado TIMING OF CAB EXPRESSION 1 (TOC1). TOC1 directa e indirectamente también reprime la transcripción de CCA1 y LHY. Esta regulación genera la expresión rítmica y antifásica de TOC1 y CCA1/LHY. Mientras que el pico de expresión de CCA1 y LHY se observa al principio del día, TOC1 tiene su máximo de expresión en las primeras horas de la noche. Miembros adicionales de la familia PRR (PRR5, PRR7 y PRR9) también se unen a los promotores de CCA1 y LHY para reprimir su expresión. CCA1 y LHY forman un bucle de realimentación negativa mediante la promoción de la expresión de PRR7 y PRR9. Dentro de este entramado de regulaciones recíprocas, TOC1 aparece como un represor global de los genes del oscilador, tanto de los que se expresan durante el día como los que lo hacen durante la noche.

Aunque nuestro conocimiento del reloj circadiano en *Arabidopsis* ha avanzado mucho en los últimos años, aún estamos lejos de entender los mecanismos del funcionamiento y regulación del reloj, así como de los componentes que lo integran y la compleja de red de regulación entre ellos y con otros componentes de rutas relevantes en la planta.

Referencias

- ¹ Young, M.W., and Kay, S.A. Time zones: a comparative genetics of circadian clocks. *Nat Rev Gen* 2, 702-715. 2001.
- ² Wijnen, H., and Young, M.W. Interplay of circadian clocks and metabolic rhythms. *Annu Rev Genet* 40, 409-448. 2006
- ³ Harmer, S.L. The circadian system in higher plants. *Annu Rev Plant Biol* 60, 357-377. 2009
- ⁴ Seo, P.J., and Mas, P. Multiple Layers of Posttranslational Regulation Refine Circadian Clock Activity in Arabidopsis. *The Plant Cell Online* 26, 79-87. 2014
- ⁵ Mas, P., and Yanovsky, M.J. Time for circadian rhythms: plants get synchronized. *Curr Opin Plant Biol* 12, 574-579. 2009
- ⁶ De Montaigu, A., Tóth, R., and Coupland, G. Plant development goes like clockwork. *Trends in Genetics* 26, 296-306. 2010.