

Formación de patrones químicos y biológicos por un mecanismo de anclaje de oscilaciones

David G. Míguez* y Alberto P. Muñunzuri
 Grupo de Física non lineal, Universidade de Santiago de Compostela
 Campus sur, 15782 - A Coruña.

Uno de los procesos que más atrae la atención de investigadores en el campo de la embriología y morfogénesis es el de la formación de la columna vertebral. El mecanismo por el cual aparecen las vértebras, diferenciándose así a partir de un tejido homogéneo, permanece aún desconocido. La formación de un patrón precursor periódico en la dirección de crecimiento, conocido como *somitas*, ha sido objeto de un exhaustivo estudio en el transcurso de las últimas décadas. Asimismo, han ido surgiendo infinidad de modelos teóricos que permitían, en mayor o menor medida, una comprensión general del mecanismo. Muchos de ellos, apoyados en observaciones de embriones en desarrollo, coinciden en su idea principal: la formación de un patrón periódico con una longitud de onda característica, a partir de un tejido con una distribución homogénea de células. También coinciden en la idea de que en este proceso de segmentación axial, juegan un papel principal una oscilación y una frontera móvil. La oscilación se produce en una expresión de algunos de los genes de las células involucradas. La frontera móvil está identificada con el hecho de que el embrión esta creciendo.

En una primera aproximación, se explica el fenómeno de formación de las somitas como que la oscilación, que se produce en una zona homogénea conocida como el *Mesodermo Presomítico* (PSM) es anclada en la frontera del mismo, la cual se mueve con una velocidad debido al crecimiento. Esto se traduce en un patrón periódico que de células diferenciadas, las cuales, via procesos de calcificación, desembocan finalmente en las vértebras. Nuestra contribución consiste en la primera comprobación experimental de estos modelos teóricos de "anclaje de oscilaciones", así como de las previsiones de que la longitud de onda del patrón surgido, es únicamente dependiente de la relación entre la velocidad de la frontera móvil y del valor del periodo de la oscilación:

$$\lambda_i = T * V \quad (1)$$

Para la validación experimental de este mecanismo se uso un sistema químico conocido como reacción CDIMA. Éste es capaz de producir estructuras de Turing mediante un proceso de rotura espontánea de simetría espacial. Estas estructuras presentan una longitud de onda intrínseca (λ_0) y son estacionarias en el tiempo. Utilizando la fotosensibilidad de la reacción CDIMA, somos capaces de inducir una oscilación en los reactivos, sin más que encender y apagar una luz suficientemente intensa incidiendo sobre el medio activo. Asimismo, mediante un mecanismo hidráulico se consiguió una frontera móvil de iluminación con un valor de la velocidad muy bien controlada. De esta manera, se diseñó un dispositivo experi-

mental que reproduce las principales características del proceso de la *somitogénesis*, es decir, la frontera móvil y la oscilación.

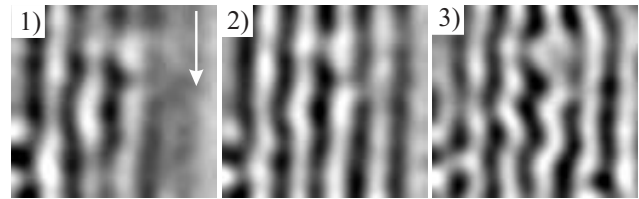


Figura 1. Secuencia temporal de fotografías del experimento para el caso $\lambda_0 = 0.8 * \lambda_i$. La flecha marca la situación de la frontera móvil. Se observa la relajación via Zig-Zag hacia una estructura más estable.

El mecanismo de Turing representa así el papel de la calcificación, sosteniendo la estructura periódica formada cuando $\lambda_0 = \lambda_i$. Se han realizado diferentes experimentos para varios valores de la velocidad de la frontera y del periodo. El resultado obtenido en nuestro laboratorio concuerda con las predicciones teóricas, dentro del error experimental (ver Fig.1). Es posible imponer una estructura periódica paralela a la frontera móvil, cuya longitud de onda coincide con la calculada de forma teórica. Esta estructura solamente se mantiene para el caso resonante, produciéndose en el caso contrario una relajación de la estructura impuesta hacia valores estables de la longitud de onda. Esto lo logra el sistema por medio de mecanismos de "desdoblamiento" "Zig-Zag".

Se ha conseguido de esta forma validar experimentalmente el mecanismo conocido como "Anclaje de oscilaciones" para procesos de segmentación axial que ocurren en vertebrados. Además de implementar un buen método para estudiar la relajación de estructuras de Turing hacia su longitud de onda estacionaria. Esto constituye un apuro más de las ventajas que proporciona el estudio de los modelos químicos para aplicaciones biológicas.

* david@fmares.usc.es

¹ <http://chaos.usc.es/>

² M. Kærn, D. G. Míguez, M. Mezinger, A. P. Muñunzuri, *enviado a Proc. Nat. Acad. Sci.* (2003)

³ J. Cooke and E. C. Zeeman, *J. Theor. Biol.* **58**, 455.

⁴ A. M. Turing, *Phylos* **237**, 37.