

Encuentros en la **b**iología



Condensados
Biomoleculares

Cotorra argentina
como especie invasora

Competencia
espermática

Premio Nobel: Svante
Pääbo

Vol XVI | No 186
PRIMAVERA | 2023

ENCUENTROS EN LA BIOLOGÍA
Revista de divulgación científica
Indexada en *Dialnet*

Entidad editora:

Universidad de Málaga. EDITADA CON LA COLABORACIÓN DE LA UNIDAD DE IGUALDAD DE GÉNERO DE LA UMA, DEL INSTITUTO DE HORTOFRUTICULTURA SUBTROPICAL Y MEDITERRÁNEA “LA MAYORA” (IHSM-UMA-CSIC) Y EL DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

Depósito legal: MA-1.133/94

ISSN (versión electrónica): 2254-0296

ISSN (versión impresa): 1134-8496

Periodicidad:

4 NÚMEROS ORDINARIOS (TRIMESTRALES) Y AL MENOS
1 NÚMERO EXTRAORDINARIO MONOGRÁFICO AL AÑO

Correspondencia a:

JUAN ANTONIO PÉREZ CLAROS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
29071 - MÁLAGA
JOHNNY@UMA.ES

EQUIPO EDITORIAL

DIRECTOR

- Juan A. Pérez Claros
johnny@uma.es
Paleontología
Edición Digital

COMITÉ EDITORIAL

- A. Victoria de Andrés Fernández
deandres@uma.es
Biología animal aplicada
Ciencia Sin Límites
- Elena Bañares España
elbaes@uma.es
Biología vegetal
- Juan José Borrego García
jjborregouma.es
Microbiología
- Rafael Antonio Cañas Pendón
rcanas@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
- M. Gonzalo Claros
claros@uma.es

Biología celular,
molecular y genética
*Escribir bien no cuesta
trabajo. Anecdotario
científico*

- Juan Carlos Codina
jccodina@uma.es
Microbiología
*Coordinación y difusión
(Educación Secundaria)*
- José Córdoba Caballero
josecordoba@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
Diseño y maquetación
- Belén Delgado Martín
belendm@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
Diseño y maquetación
- Ana Grande Pérez
agrande@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
*Jóvenes científicos.
Mujeres STEM UMA*
- Beatriz Martínez Poveda
bmpoveda@uma.es

Biología celular,
molecular y genética

- Miguel Á. Medina Torres
medina@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
- Paul Palmqvist Gomes
paulpg21@gmail.com
Biología animal
- Luis Rodríguez Caso
caso@eelm.csic.es
Biología vegetal
Calidad y difusión
- Elena Rojano Rivera
elenarojano@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
*Coordinación. Diseño y
maquetación*
- Héctor Valverde Pareja
hvalverde@uma.es
Edición Digital
- Enrique Viguera
eviguera@uma.es
Biología celular,
molecular y genética
- Patricia Zarza Herrero
pzherrero03@uma.es

Biología celular,
molecular y genética
*Coordinación y difusión
(Alumnos)*

COMITÉ CIENTÍFICO

- Antonio Diéguez Lucena
dieguez@uma.es
*Filosofía de la ciencia.
Epistemología*
- Juan Antonio Guadix Domínguez
jaguadix@uma.es
Biología animal
- María Rosa López Ramírez
mrlopez@uma.es
Astrobiología

COMITÉ EDITORIAL DE HONOR

- Salvador Guirado Hidalgo
guirado@uma.es
Biología Celular
- Esteban Domingo
edomingo@cbm.uam.es
Evolución de virus
- Gonzalo Álvarez Jurado
g.alvarez@usc.es
Genética

La portada



Eva Alarcón Fanjul en representación del Servicio de Publicaciones y Divulgación Científica (SPY-DUM) y Juan Antonio Pérez Claros como director de Encuentros en la Biología han alcanzado el acuerdo de incluir nuestra publicación dentro del portal de revistas umaeditorial en el trigésimo curso académico de la creación de Encuentros.

Índice

| | |
|---|----|
| Editorial | 4 |
| La imagen comentada | 5 |
| Condensados Biomoleculares: Organizadores de la Vida | 6 |
| Un enfoque local para comprender mejor la dispersión a gran escala y el crecimiento de las poblaciones de cotorra argentina como especie invasora | 11 |
| Premio Nobel al estudio de nuestros orígenes como especie | 15 |
| Competencia espermática y emparejamiento humano | 17 |

Editorial

Ortega Gasset, la inteligencia artificial y la divulgación científica

Este junio de 2023 hará cinco años que di un paso adelante en tomar la responsabilidad de dirigir *Encuentros en la Biología*. Son todos números redondos, pues este nuevo número marca el inicio de nuestra inclusión en la plataforma [umaeditorial](#) y no hay que olvidar que estamos celebrando el trigésimo aniversario del curso académico en el que Salvador Guirado y sus colaboradores echaron a andar nuestra querida revista. En mi primer editorial mencioné unos párrafos de *La rebelión de las masas* de José Ortega y Gasset, correspondiente al capítulo *La barbarie del 'especialismo'*. A pesar de que hace casi un siglo del comienzo de su publicación (pues su forma original consistió en artículos que fueron apareciendo en la revista *El Sol*), esta obra lejos de quedar desfasada parece estar más vigente que nunca, especialmente tras el advenimiento de la inteligencia artificial. Me gustaría volver a traer aquí aquella selección de párrafos que en el fondo están implícitamente ligados a la filosofía de todos aquellos que creemos en la interdisciplinariedad del conocimiento humano:

“Sería de gran interés, y mayor utilidad que la aparente a primera vista, hacer una historia de las ciencias físicas y biológicas mostrando el proceso de creciente especialización en la labor de los investigadores. Ella haría ver cómo, generación tras generación, el hombre de ciencia ha ido constriñéndose, recluyéndose, en un campo de ocupación intelectual cada vez más estrecho. Pero no es esto lo importante que esa historia nos enseñaría, sino más bien lo inverso: cómo en cada generación el científico, por tener que reducir su órbita de trabajo, iba progresivamente perdiendo contacto con las demás partes de la ciencia, con una interpretación integral del universo, que es lo único merecedor de los nombres de ciencia, cultura, civilización europea.” [...] “[El especialista] [e]s un hombre que, de todo lo que hay que saber para ser un personaje discreto, conoce sólo una ciencia determinada, y aun de esa ciencia sólo conoce bien la pequeña porción en que él es activo investigador. Llega a proclamar como una virtud el no enterarse de cuanto quede fuera del angosto paisaje que especialmente cultiva, y llama *dilettantismo* a la curiosidad por el conjunto del saber.” “El caso es que, recluso en la estrechez de su campo visual, consigue,

en efecto, descubrir nuevos hechos y hacer avanzar su ciencia, que él apenas conoce, y con ella la enciclopedia del pensamiento, que concienzudamente desconoce. ¿Cómo ha sido y es posible cosa semejante? Porque conviene recalcar la extravagancia de este hecho innegable: la ciencia experimental ha progresado en buena parte merced al trabajo de hombres fabulosamente mediocres, y aun menos que mediocres. Es decir, que la ciencia moderna, raíz, y símbolo de la civilización actual, da acogida dentro de sí al hombre intelectualmente medio y le permite operar con buen éxito. La razón de ello está en lo que es, a la par, ventaja mayor y peligro máximo de la ciencia nueva y de toda civilización que ésta dirige y representa: la mecanización. Una buena parte de las cosas que hay que hacer en física o en biología es faena mecánica de pensamiento que puede ser ejecutada por cualquiera, o poco menos.”

Todo biólogo evolutivo sabe que los sistemas responden a las presiones de selección adaptándose (o desapareciendo) y una forma de destacar en la mediocridad del hiperespecialismo es la de incrementar, aún si cabe, la mecanización del proceso de producción. En nuestro caso, la cantidad de artículos publicados. Los gestores de la investigación han adquirido acríticamente las tesis del burócrata, asimilando cantidad a calidad. Es tema común de charla de café entre científicos comentar la cantidad de trabajos con las que hemos de vernos a la hora de abordar cualquier revisión que aportan nada o casi a un tema. Publicamos como nunca antes, pero encontrar los avances serios en nuestros campos resulta cada vez más complicado. Esto es debido a la dilución del conocimiento positivo en un mar de mediocridad alentada por científicos burócratas. En este contexto, la venida de la inteligencia artificial puede agravar una situación que ya es, per se, preocupante. La evolución de la ciencia en este contexto es algo que veremos todos, quién sabe hacia dónde iremos. Quizás nos hundamos en un pozo sin fondo, pero hay que ser positivo, quizás se alcance tal grado de mediocridad en el sistema que se termine por buscar alguna solución. Querido lector, el espíritu de nuestra revista está en línea con la mencionada reflexión de Ortega, que no es otra que la de ofrecerte una una visión global y diversa de todo lo referente a la Biología.

Juan Antonio Pérez Claros

La imagen comentada



Crédito de la imagen: Rafael A. Cañas y Francisco R. Cantón.

Hoja de Ginkgo biloba, un fósil viviente y una transición evolutiva.

El *Ginkgo biloba* es una especie de árbol gimnosperma, un fósil viviente, y el último representante de la clase Ginkgosida. A nivel molecular también es un ejemplo singular de la evolución de las plantas. El ginkgo presenta la dotación completa de genes que codifican para la proteína glutamina sintetasa: GS1a, GS1b y GS2. Esta enzima es esencial para la asimilación del nitrógeno inorgánico en las moléculas orgánicas y, por tanto, está en la base para sustentar la vida de las plantas. De estos genes, GS1a y GS2 producen proteínas con funciones

similares en las hojas, encargándose de la asimilación del amonio liberado en la fotorrespiración y del producido en la fotoasimilación del nitrato. Sin embargo, sus localizaciones intracelulares son distintas (citosólica para la GS1a y plastidial para la GS2). Curiosamente, en la evolución se ha producido una transición desde plantas solamente con GS1a (ej. coníferas) a plantas con solo GS2 (ej. dicotiledóneas). Este proceso parece estar relacionado con cambios en el medio ambiente terrestre que provocaron la aparición de nuevos nichos que explotar. Así pues, cuando vemos la hoja de ginkgo tenemos delante un punto de transición en la evolución de las plantas, una ventana al pasado.

Rafael A. Cañas (RCANAS@UMA.ES) y Francisco R. Cantón (FRCANTON@UMA.ES).
Profesor Titular y Catedrático del Área de Bioquímica y Biología Molecular.
Integrative Molecular Biology Lab (IMBL).
Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga.

CONDENSADOS BIOMOLECULARES: ORGANIZADORES DE LA VIDA

por MARÍA HEREDIA TORREJÓN, ALFONSO MARÍA LECHUGA SANCHO Y RAÚL MONTAÑEZ MARTÍNEZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN BIOMÉDICA DE CÁDIZ (INIBICA).

Resumen: La vida nunca deja de sorprendernos. Hoy lo hace con unos orgánulos libres de membrana conocidos como condensados biomoleculares. Éstos, son el resultado de un fenómeno de autoorganización de biomoléculas capaz de crear auténticos microentornos con funciones definidas en el interior de la célula. En los últimos años, se ha descubierto que los condensados desempeñan un papel relevante en diversos aspectos de la biología celular, como la regulación de la expresión génica, la síntesis de proteínas, el control de la señalización celular, la polimerización de proteínas del citoesqueleto o la formación de agregados asociados a enfermedades neurodegenerativas, entre muchas otras aún por descubrir. Estos hallazgos están desafiando nuestra comprensión actual de los procesos celulares y ofrecen nuevas maneras de entender el funcionamiento interno de las células. Los condensados muestran mecanismos celulares previamente desconocidos, mucho más estocásticos y que diluyen la preponderancia del mecanicismo genético en favor de los procesos de autoorganización celular. El avance en la comprensión de los condensados biomoleculares abre emocionantes vías de investigación en biología celular y molecular y permiten la reinterpretación de los procesos que relacionan el genotipo y el fenotipo, ofreciendo así la posibilidad de comprender mejor las enfermedades y desarrollar enfoques terapéuticos más efectivos en el futuro.

Abstract: *Life never fails to surprise us. Today, it does so with membrane-less organelles known as biomolecular condensates. These structures arise from a phenomenon of biomolecular self-organization capable of generating localized microenvironments with defined functions within the cell. In recent years, the significance of condensates in various aspects of cellular biology has been unveiled, including the regulation of gene expression, protein synthesis, cellular signaling control, cytoskeletal protein polymerization, and the formation of aggregates associated with neurodegenerative diseases, among many others yet to be discovered. These findings are revolutionizing our current understanding of cellular processes and providing new insights into cell process regulation. Condensates unveil previously unknown cellular mechanisms, more stochastic, that are shifting away from the dominance of genetic mechanisms in favor of cellular self-organization processes. The advancement in comprehending biomolecular condensates paves the way for exciting avenues of research in cellular and molecular biology, enabling the reinterpretation of processes that relate the genotype to the phenotype. Offering, in this way, the potential to better understand diseases and develop more effective therapeutic approaches in the future.*

Palabras clave: Condensados Biomoleculares, separación de fases líquido-líquido, autoorganización, biología estructural, salud humana.

Keywords: *Biomolecular condensates, liquid-liquid phase separation, self-organization, structural biology, human health.*

¿Qué es un condensado biomolecular?:

Imaginad una célula, la mínima unidad de la vida. Pese a la simplicidad del anterior enunciado, cada célula humana alberga en su interior unas 6 millones de proteínas, 67 millones de transcritos de distintos ARNs y toda una miríada de otras moléculas. Además, cada una de ellas, presenta diferentes grados de hidrofobicidad, carga relativa y tendencia a interactuar o repelerse. En un citoplasma tan concurrido y reactivo, cualquier pequeña perturbación

rápidamente se propaga. ¿Cómo logran las células coordinar tan caótico citoplasma y llevar a cabo sus funciones? En realidad, el contenido intracelular presenta una gran organización. Retículos, mitocondrias, endosomas o vesículas de secreción y otros orgánulos, encierran los componentes citoplasmáticos mediante bicapas lipídicas o los anclan a su superficie. Pero esta es sólo una de las posibles fuentes de orden. Ahora sabemos que las células también forman otro tipo de compartimentos mediante la interacción espontánea y transitoria de sus proteínas y ácidos nucleicos. Estos compartimentos conforman auténticos orgánulos

los libres de membrana conocidos como condensados biomoleculares (CBs)^[1].

Gracias a los CBs, las células agrupan componentes citoplasmáticos implicados en una tarea común. Así, minimizan las interacciones indeseadas con otras moléculas favoreciendo la eficiencia y especificidad de las reacciones. Al no verse encerrados por una membrana, estos orgánulos intercambian sus compo-

ponentes con el citoplasma circundante sin necesidad de transportadores específicos^[2] y son capaces de percibir y adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes de su entorno (Figura 1A). Esta regionalización dinámica permite el control coordinado de las millones de reacciones celulares y explicaría la sorprendente velocidad de los procesos celulares.

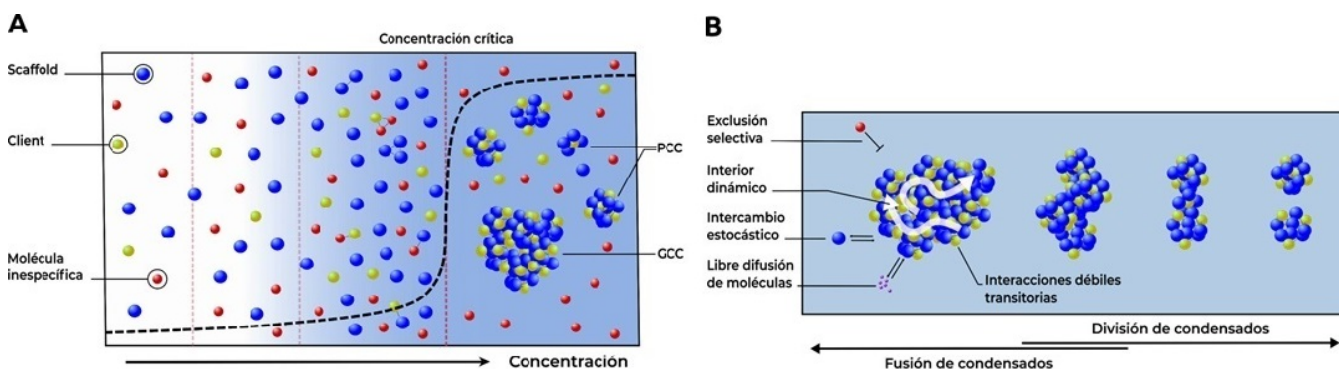


Figura 1: Representación del proceso de LLPS. **A)** A partir de un determinado umbral de concentración, proteínas y ácidos nucleicos establecen interacciones débiles transitorias que provocan la separación de fases, dando lugar a una fase densa (condensado biomolecular) y a una fase diluida (citoplasma celular). Estas interacciones se producen entre determinados componentes, excluyendo al resto del microentorno. (PCC) Pequeñas condensados conexos, (GCC) Gran condensado conexo. **B)** Representación de la naturaleza dinámica de los CBs. Las naturaleza de las interacciones definen la dinámica de las moléculas del interior del condensado. Principalmente adquieren una consistencia semilíquida en la que las moléculas difunden libremente en el interior del condensado, pudiendo intercambiarse con las del citoplasma circundante. Esta naturaleza dinámica permite a las gotas fluir, fusionarse o separarse.

Separación de Fases Líquido-Líquido:

Aunque se conocen diversos mecanismos implicados en la formación de CBs, los datos experimentales han demostrado que la separación de fases líquido-líquido (LLPS)^[3] tiene un papel destacado. En la célula, la LLPS es un proceso termodinámico pasivo y reversible que se produce mediante el establecimiento de interacciones débiles entre componentes. Como resultado, estos componentes se agrupan en una fase densa, diluyendo así su entorno próximo (Figura 1A). Tal como sucedería al mezclar agua y aceite, la tensión superficial provoca que la fase densa adopte forma de gota^[4,5]. Capaces de fluir, fusionarse o separarse, estas gotas conforman verdaderos microentornos que existen de forma estable en las células (Figura 1B).

Este proceso termodinámico permite minimizar la energía libre de una región del sistema. Descomponiendo la energía libre (G) en sus componentes entálpicos (H) y entrópicos (S), $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, vemos que la disminución entrópica que supone la reducción en el número de microestados causado por la condensación ha de ser compensada por la continua

formación de interacciones débiles que favorecen la minimización de energía libre mediada por el término entálpico. Así pues, el número y la fuerza de esas interacciones van a determinar la probabilidad de condensación a una temperatura dada y la estabilidad del condensado^[6,7].

La microcompartimentalización celular mediada por LLPS fue propuesta en 1995 por Walter y Brooks^[8], pero no fue hasta 2009 que esta teoría ganó relevancia tras demostrar Brangwynne y su equipo que los gránulos-P de las células germinales en *Caenorhabditis elegans*, se forman mediante LLPS^[9]. Posteriormente, el equipo de Michael K. Rosen demostró la separación de fases en proteínas de señalización y ofreció las primeras evidencias experimentales de interacciones multivalentes en proteínas^[10]. Desde entonces, los trabajos mostrando la relevancia de los condensados a diferentes escalas, están creciendo exponencialmente^[11].

¿Cuáles son los determinantes físico-químico-biológicos de la LLPS?:

A pesar de todos los avances en el campo, todavía

no se tiene certeza sobre los mecanismos moleculares que gobiernan la LLPS. Sabemos que se pueden diferenciar dos amplios grupos de moléculas que forman parte de un CB: las denominadas *scaffolds*, que dirigen su formación a través de interacciones multivalentes entre ellas; y las *clients*, que se incorporarían a *posteriori* a la red nucleada por las primeras. La abundancia relativa de *scaffolds* y *clients* y la valencia de cada una de ellas va a determinar la conectividad de la red líquida que regula su estabilidad y tamaño^[6]. La restricción de tamaño de los condensados podría estar regulada activamente por la célula, controlando la tasa de producción y degradación de moléculas que los conforman. Así mismo, las bicapas son capaces de regular la localización y formación de condensados, anclando moléculas implicadas y disminuyendo la concentración a la cual se produce la separación de fases, al mantenerlas en un entorno localizado^[5,12].

Las interacciones entre *scaffolds* se darían tanto a través de dominios estructurados, p.ej.: dominios de reconocimiento de RNA, de unión a DNA o de homo/hetero dimerización; como de las regiones intrínsecamente desordenadas (IDRs) de las proteínas^[13]. Sin embargo, los actores principales de la separación de fases, parecen ser las interacciones multivalentes transitorias mediadas por las IDRs. Estas regiones se caracterizan por la ausencia de una estructura

tridimensional bien definida, oscilando en un amplio rango de conformaciones. A pesar de ocupar un papel central en el campo de los CBs, las dificultades experimentales que conlleva su estudio limita nuestro conocimiento sobre ellas. Con la tecnología actual, se ha podido estimar que hasta el 43.6% del proteoma humano está conformado por IDRs^[14], que se caracterizan por presentar regiones de baja complejidad (RBC), y dominios priónicos (DP). Estas RBCs y DPs tienen una composición aminoacídica particular, que además, ocupan una posición específica dentro de la secuencia primaria. De esta manera, podemos ver que se trata de regiones enriquecidas en aminoácidos que promueven el desorden, como glicina y prolina; y aminoácidos con carga positiva como la arginina, que favorecen el establecimiento de interacciones polares. Los anteriores aminoácidos, se encuentran espaciados por residuos aromáticos como la tirosina, que favorecen las interacciones $\pi - \pi$ o $\pi - sp^2$; formando motivos repetitivos como: [S/N/G]Y[S/N/G], RGG/RG, FG^[13]. Así mismo, variaciones en los parámetros ambientales (pH, gradientes salinos, temperatura...), en la concentración de sus componentes e incluso modificaciones químicas o estructurales (como modificaciones post traduccionales), comportan cambios en la composición y propiedades físicas de los CBs.

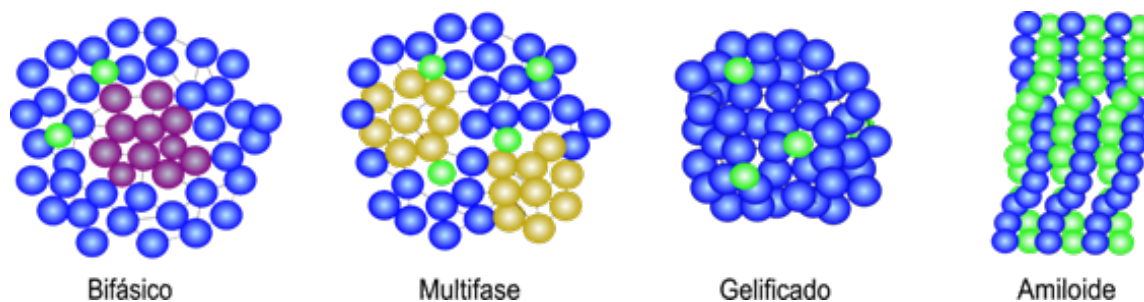


Figura 2: Diferentes tipos de CBs en función de sus propiedades materiales. A diferencia de los condensados con propiedades líquidas, los condensados gelificados y amiloides forman estructuras no dinámicas y a menudo, insolubles.

Propiedades materiales:

Los CBs tienen apariencia de gota, pero debido a su naturaleza, estas no son simples gotas homogéneas en las que se observan interacciones isotrópicas, sino que más bien, siguen la dinámica de los *network fluids*. Como introducíamos antes, en este tipo de fluidos, las partículas establecen interacciones anisotrópicas, formando estructuras mesoscópicas que van más allá de la escala molecular, conformando redes de polímeros que presentan cadenas y ramificaciones^[15]. Sus propiedades reológicas vienen determinadas pre-

cisamente por el número de interacciones y la escala temporal a la que se producen o rompen estas interacciones, el número de sitios de interacción en las moléculas de la fase densa y las acciones moduladoras del resto de la secuencia. Es por ello que estos fluidos no son puramente viscosos, sino que pueden comportarse como materiales viscoelásticos. Esto se traduce en que en el interior de los CBs se pueden formar diferentes redes de interacción que conforman multicapas con diferentes propiedades reológicas, p.e.: viscosidad, tensión superficial, porosidad^[16]. De este modo, las propiedades materiales de los condensados conforman así mismo, todo un nuevo campo de in-

vestigación, pudiendo encontrarse gran diversidad de clases: *gelled condensates*, *amyloid fibers*, *glassy-like assemblies*, etc.^[14] (Figura 2). Un caso paradigmático es el de la esclerosis lateral amiotrófica, donde se ha visto que la mutación patogénica G156E, que recae sobre un DP de unión a ARN de la proteína FUS, muestra una mayor tendencia a formar agregados, cambiando las propiedades líquidas del condensado, que forma un agregado sólido de fibras^[17].

Condensados en múltiples escalas de regulación:

La complejidad inherente a la vida se resiste a nuestro entendimiento. Diseccionando sus propiedades individuales, se han conseguido numerosos progresos en la comprensión de los procesos celulares. Sin embargo, ante estos nuevos mecanismos de regulación de la función celular, la interpretación clásica de los mapas de reacciones interconectadas y coordinadas mediante optimizaciones evolutivas de afinidad y especificidad se desdibuja. El complejo campo de los CBs, nos obliga a aceptar que nuevas propiedades emergen como resultado de la interacción de sus componentes a múltiples escalas. Este nuevo nivel de complejidad que aportan los CBs, ofrece un nuevo y apasionante paisaje por explorar. La novedad en la interpretación del funcionamiento celular basada en CBs radica en que la función emerge del comportamiento colectivo y autoorganizado de las moléculas, que se ensamblan como unidades de computación temporal. Así, estas moléculas acceden a estados de

respuesta en función del *status quo* celular, compitiendo entre ellas por la consolidación de procesos que imposibilitan otros. Quizás, ahí esté la réplica a los tan elusivos mecanismos de memoria celular, alterando así lo que creíamos saber sobre la gestión celular de la información.

Aunque queda mucho trabajo por hacer, la relevancia de los CBs como organizadores de la bioquímica celular es ya un hecho aceptado^[11,18], y se ha demostrado su papel en la patofisiología de múltiples enfermedades^[19,20,21,22]. En el contexto de una enfermedad, definimos una 'condensadopatía' como la formación de un CB aberrante causante de un fenotipo patológico específico. Se han observado CBs patológicos en varios sistemas de estudio de enfermedades neurodegenerativas, miocardiopatías, ciertos tipos de cáncer, infecciones virales y enfermedades raras^[23,24] (Figura 3). Gracias a estos estudios, sabemos que los CBs cumplen funciones clave a múltiples escalas. A nivel molecular, regulan la actividad de vías de señalización a través de la concentración o exclusión de componentes específicos, el plegamiento de las macromoléculas o la organización vectorial de reacciones bioquímicas. Lo que recuerda mucho al concepto de canalización metabólica propuesto por Agius y Sherratt en 1997^[25]. A nivel de mesoescala, donde las moléculas forman estructuras más complejas, se ha visto que los condensados servirían para diseñar su arquitectura, como hacen por ejemplo en las densidades post-sináptica^[26] o los centriolos^[27]. Por último, a nivel celular, se encargan de mantener la arquitectura subcelular, por ejemplo, manteniendo el estado de la heterocromatina^[4].

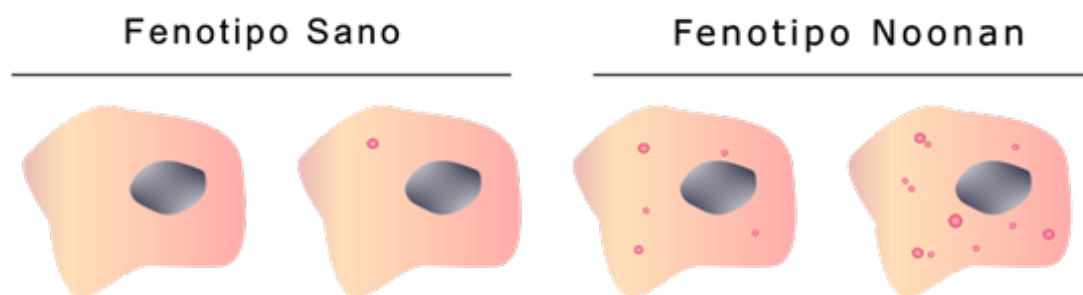


Figura 3: Fenotipo característico de una condensadopatía. Los individuos sanos presentan un reducido número de condensados biomoleculares, mientras que aquellos con síndrome de Noonan muestran un incremento notable.

Sin entrar en mayor profundidad, podemos hacernos una idea del delicado equilibrio entre los parámetros físico-químico-biológicos que intervienen en la separación de fases. Alteraciones de este equilibrio podrían conducir a estados patológicos a través de

perturbaciones en la formación^[10], propiedades materiales^[17], localización^[29] o composición^[30] de estos CBs^[24]. Esto ha hecho que en la última década, se invierta un gran esfuerzo en la investigación de estos CBs, dando lugar a un conjunto de herramientas

que posibilitan su estudio. La incorporación de estas herramientas en colaboración con la mejora y abaratamiento de otras tecnologías, va permitiendo coger impulso y conseguir su despegue científico. Así, se ha podido estimar que existen unas 36 000 variantes genéticas causantes de enfermedades mendelianas y diferentes tipos de cáncer, cuya patogénesis estaría directamente relacionada con la alteración de CBs^[24]. Por no hablar ya de la relevancia de estos en la elucidación de la significancia clínica de las variantes

de significado incierto que actualmente se acumulan en el sistema sanitario, fruto de nuestro desconocimiento. Este asunto será nuestro objeto de debate en el próximo número donde revisaremos el papel de los CBs en la fisiopatología de diversas enfermedades. Es apasionante ver como las manchas del leopardo se van difuminando^[31] a medida que comprendemos cada vez un poco más del carácter “social” del comportamiento celular.

Referencias

- [1] Fare, C. M., Villani, A., Drake, L. E. & Shorter, J. Higher-order organization of biomolecular condensates. *Open Biol.* 11, 210137 (2021).
- [2] Poudyal, R. R., Pir Cakmak, F., Keating, C. D. & Bevilacqua, P. C. Physical Principles and Extant Biology Reveal Roles for RNA-Containing Membraneless Compartments in Origins of Life Chemistry. *Biochemistry* 57, 2509–2519 (2018).
- [3] Banani, S. F., Lee, H. O., Hyman, A. A. & Rosen, M. K. Biomolecular condensates: organizers of cellular biochemistry. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 18, 285–298 (2017).
- [4] Liu, X. et al. Mitotic Implantation of the Transcription Factor Prospero via Phase Separation Drives Terminal Neuronal Differentiation. *Dev. Cell* 52, 277–293.e8 (2020).
- [5] Case, L. B. Membranes regulate biomolecular condensates. *Nature cell biology* vol. 24 404–405 (2022).
- [6] Espinosa, J. R. et al. Liquid network connectivity regulates the stability and composition of biomolecular condensates with many components. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 117, 13238–13247 (2020).
- [7] Falahati, H. & Haji-Akbari, A. Thermodynamically driven assemblies and liquid-liquid phase separations in biology. *Soft Matter* 15, 1135–1154 (2019).
- [8] Walter, H. & Brooks, D. E. Phase separation in cytoplasm, due to macromolecular crowding, is the basis for microcompartmentation. *FEBS Lett.* 361, 135–139 (1995).
- [9] Brangwynne, C. P. et al. Germline P granules are liquid droplets that localize by controlled dissolution/condensation. *Science* 324, 1729–1732 (2009).
- [10] Li, P. et al. Phase transitions in the assembly of multivalent signalling proteins. *Nature* 483, 336–340 (2012).
- [11] Lyon, A. S., Peeples, W. B. & Rosen, M. K. A framework for understanding the functions of biomolecular condensates across scales. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 22, 215–235 (2021).
- [12] Zhang, H. et al. A subcellular map of the human kinome. *Elife* 10, (2021).
- [13] Schuster, B. S. et al. Biomolecular Condensates: Sequence Determinants of Phase Separation, Microstructural Organization, Enzymatic Activity, and Material Properties. *J. Phys. Chem. B* 125, 3441–3451 (2021).
- [14] Tsang, B., Pritišanac, I., Scherer, S. W., Moses, A. M. & Forman-Kay, J. D. Phase Separation as a Missing Mechanism for Interpretation of Disease Mutations. *Cell* 183, 1742–1756 (2020).
- [15] Dias, C. S., Araújo, N. A. M. & Telo da Gama, M. M. Dynamics of network fluids. *Adv. Colloid Interface Sci.* 247, 258–263 (2017).
- [16] Choi, J.-M., Holehouse, A. S. & Pappu, R. V. Physical Principles Underlying the Complex Biology of Intracellular Phase Transitions. *Annu. Rev. Biophys.* 49, 107–133 (2020).
- [17] Patel, A. et al. A Liquid-to-Solid Phase Transition of the ALS Protein FUS Accelerated by Disease Mutation. *Cell* 162, 1066–1077 (2015).
- [18] Zeng, M. et al. Reconstituted Postsynaptic Density as a Molecular Platform for Understanding Synapse Formation and Plasticity. *Cell* 174, 1172–1187.e16 (2018).
- [19] Nedelsky, N. B. & Taylor, J. P. Bridging biophysics and neurology: aberrant phase transitions in neurodegenerative disease. *Nat. Rev. Neurol.* 15, 272–286 (2019).
- [20] Tulpule, A. et al. Kinase-mediated RAS signaling via membraneless cytoplasmic protein granules. *Cell* 184, 2649–2664.e18 (2021).
- [21] Wang, L. et al. Rett syndrome-causing mutations compromise MeCP2-mediated liquid-liquid phase separation of chromatin. *Cell Res.* 30, 393–407 (2020).
- [22] Alberti, S. & Hyman, A. A. Biomolecular condensates at the nexus of cellular stress, protein aggregation disease and ageing. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 22, 196–213 (2021).
- [23] Mitrea, D. M., Mittasch, M., Gomes, B. F., Klein, I. A. & Murcko, M. A. Modulating biomolecular condensates: a novel approach to drug discovery. *Nat. Rev. Drug Discov.* 21, 841–862 (2022).
- [24] Banani, S. F. et al. Genetic variation associated with condensate dysregulation in disease. *Dev. Cell* 57, 1776–1788.e8 (2022).
- [25] Agius, L. Channelling in Intermediary Metabolism. (Ashgate Publishing, 1997).
- [26] Wu, X., Cai, Q., Feng, Z. & Zhang, M. Liquid-Liquid Phase Separation in Neuronal Development and Synaptic Signaling. *Dev. Cell* 55, 18–29 (2020).
- [27] Park, J.-E. et al. Phase separation of Polo-like kinase 4 by autoactivation and clustering drives centriole biogenesis. *Nat. Commun.* 10, 4959 (2019).
- [28] Zhu, G. et al. Phase Separation of Disease-Associated SHP2 Mutants Underlies MAPK Hyperactivation. *Cell* 183, 490–502.e18 (2020).
- [29] Boulay, G. et al. Cancer-Specific Retargeting of BAF Complexes by a Prion-like Domain. *Cell* 171, 163–178.e19 (2017).
- [30] Basu, S. et al. Unblending of Transcriptional Condensates in Human Repeat Expansion Disease. *Cell* 181, 1062–1079.e30 (2020).
- [31] Goodwin, B. Las Manchas Del Leopardo: La Evolución de la Complejidad. (*Tusquets Editores*, 1998).

UN ENFOQUE LOCAL PARA COMPRENDER MEJOR LA DISPERSIÓN A GRAN ESCALA Y EL CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES DE COTORRA ARGENTINA COMO ESPECIE INVASORA

A LOCAL APPROACH TO BETTER UNDERSTAND THE BIG-SCALE SPREAD AND POPULATION GROWTH OF THE MONK PARAKEET AS AN INVASIVE SPECIES

por SANDRO LÓPEZ-RAMÍREZ Y ANTONIO-ROMÁN MUÑOZ

FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

SANDROLR@UMA.ES;ROMAN@UMA.ES

Resumen: Las especies exóticas invasoras son actualmente un tema de interés para los organismos de gestión medioambiental y los medios de comunicación, debido a los problemas socioeconómicos y medioambientales que causan. La cotorra argentina, originaria de Sudamérica y establecida actualmente como invasora en América del Norte, Asia, África y Europa Occidental, es un claro ejemplo de ello, sobre todo en algunas ciudades donde las poblaciones crecen rápidamente y su distribución se amplía de manera continua. El primer registro de cotorra argentina en España tuvo lugar en 1975 y desde entonces la especie ha expandido su área de distribución por amplias zonas del país, especialmente en las grandes ciudades y sus alrededores. Málaga cuenta con una de las mayores poblaciones de España donde, a falta de la puesta en práctica de medidas de control, la especie sigue aumentando en efectivos. En este estudio documentamos como una población llega a alcanzar su capacidad de carga, lo que favorece la dispersión de la especie a las áreas circundantes. Estudiar las poblaciones de la especie a escala local nos ayuda a estimar el número de cotorras que puede soportar una zona determinada y también a predecir de un modo más preciso la futura ocupación de aquellas zonas que son favorables para la especie. Esto permitiría evitar el asentamiento de ejemplares en zonas desocupadas y ayudaría a mitigar posibles impactos ambientales y conflictos con el ser humano.

Abstract: *Invasive species are currently a topic of interest to environmental management agencies and the media because of the socio-economic and environmental problems they cause. The Monk parakeet, a parrot originally from South America, and now established as an invasive species in North America, Asia, Africa and Western Europe, is a clear example of this, especially in some cities where populations are growing rapidly and its distribution is continuously expanding. The first record of this invasive species in Spain dates from 1975 and since it has expanded its range over large areas of the country, especially in and around large cities. Málaga has one of the largest populations in Spain where, in the absence of control measures, the species continues to increase in numbers and range. In this study, we document how a population reaches its carrying capacity, which favours the dispersal of the species to surrounding areas. Studying the populations of the species at a local scale helps us to estimate the number of parrots that a given area can support and also to predict more accurately the future occupation of favourable areas for the species. This would help to prevent the settlement of individuals in unoccupied areas and help to mitigate potential environmental impacts and conflicts with humans.*

Palabras clave: Dispersión, Invasiones biológicas, Málaga, *Myiopsitta monachus*, *Psittacidae*.

Keywords: *Biological invasions, Dispersion, Malaga, Myiopsitta monachus, Psittacidae.*

¿Qué diferencia existe entre una especie exótica y una especie exótica invasora?:

Las especies exóticas son aquellas que han sido transportadas fuera de su área de distribución natural como resultado directo o indirecto de la acción humana^[1]. Las especies exóticas que logran sobrevivir se considerarán invasoras si se establecen en el nuevo hábitat y pueden reproducirse y propagarse

eficazmente desde la zona en la que fueron introducidas inicialmente. Las especies invasoras, por tanto, pueden suponer una amenaza importante para las especies, el ecosistema y/o la economía de su nueva área de distribución^[2,3]. Sin embargo, la mayoría de las especies introducidas no se convierten en invasoras^[4,5]. En el sur de España se han registrado más de 120 especies de aves exóticas pero menos del 10 % han conseguido establecer poblaciones autosuficientes.



Figura 1: Nido simple (izquierda) y comunal (derecha), ambos contruidos en palmeras del género *Phoenix*. (autores: Sandro López-Ramírez y A.Román Muñoz)

La cotorra argentina como una invasora exitosa:

La cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) es originaria de Sudamérica y ha sido una mascota popular desde antes de los años 70^[6]. Por ello, millones de individuos fueron capturados y exportados desde su hábitat nativo a diferentes partes del mundo^[7,8]. Algunas características de la especie han favorecido su exitoso establecimiento en nuevos hábitats. Este ave posee un reclamo fuerte y molesto, que suele ser la razón por la que muchos dueños han liberado a estas aves. Estas liberaciones intencionadas, acompañadas de escapes accidentales en cautividad, han provocado la rápida propagación que actualmente afecta a cuatro continentes: América del Norte, Asia, África y Europa Occidental^[9,10,11,12]. Otra caracte-

rística importante es que la cotorra argentina es la única especie, dentro de la familia Psittacidae, que construye sus nidos en lugar de utilizar cavidades para criar^[13]. Esto facilita su establecimiento sin tener que competir con otras especies por las cavidades disponibles para anidar^[14]. Los nidos de cotorra argentina están contruidos con pequeñas ramas y palos fuertemente entrelazados, y suelen estar compuestos por varios compartimentos independientes (cámaras) con entradas separadas^[15]. Se pueden distinguir dos tipos de nidos: simples (pequeños alojamientos para una sola pareja con una sola cámara) y comunales (alojamientos de gran tamaño con múltiples cámaras que acogen a varias parejas o grupos) (Figura1). Además, es una especie gregaria que está bien adaptada para explotar con éxito una gran variedad de plantas nativas e introducidas en entornos urbanos (Figura 2).



Figura 2: Ejemplar de cotorra argentina alimentándose de pepinillos del diablo *Ecballium elaterium* (autor: A.Román Muñoz).

Evolución histórica de la cotorra argentina en España y Málaga:

El primer registro de un ejemplar libre de cotorra argentina en España se remonta a 1975, cuando se observaron dos individuos en las zonas urbanas de Barcelona y Murcia^[8,17]. En Málaga, el primer registro se detectó en 1978^[18]. Desde entonces, esta especie ha expandido su área de distribución por toda España, especialmente en las grandes ciudades y sus alrededores^[7,17,19]. La ciudad de Málaga tiene una de las mayores poblaciones de España, con 2181-2467 individuos en 2015^[8], cifra que seguramente se ha más que duplicado en la actualidad. La distribución y el tamaño de la población de la especie sigue creciendo a nivel ibérico a un ritmo acelerado y tiene el potencial de extenderse aún más, incluso fuera de los ambientes urbanos, donde aparecen principalmente en estos momentos (especialmente en jardines y parques) (Figura 3)^[20].

¿Qué ocurre con las poblaciones de cotorra argentina a nivel local?:

Tras su establecimiento, las poblaciones de cotorra argentina han crecido exponencialmente^[8,21]. Sin embargo, a un nivel más local, estas poblaciones alcanzan un nivel máximo de densidad, lo que posiblemente indica que se ha alcanzado la capacidad de carga de la zona, y se mantienen estables en el tiempo. Esto es lo que podría favorecer la propagación de la especie en el entorno de las proximidades de las poblaciones con altos niveles de densidad^[22]. El estudio realizado por López-Ramírez y Muñoz (2022) en la Ciudad Deportiva de Carranque (Málaga, España), mostró que la población de cotorra argentina creció rápidamente desde 1995 hasta 2015 y se estabilizó entre 2016 y 2018, alcanzando su punto más alto en 2019 con 100 individuos (Figura 4)^[22]. Este estudio también demuestra que en 2015, una vez que el número de nidos se estabilizó, aparecieron nuevos nidos en las inmediaciones de la colonia de cría.

Estas observaciones están en línea con los estudios que ponen de manifiesto que, generalmente, las distancias de dispersión de la especie son muy cortas, raramente sobrepasando los 2 kilómetros^[23].



Figura 3: Grupo de cotorras en el entorno del parque de Huelín (Málaga). (autor: A.Román Muñoz).

¿Qué implicaciones tiene estudiar las poblaciones a nivel local para su gestión?:

Atendiendo a nuestros resultados, la expansión del área de distribución de la cotorra argentina se

produce principalmente por difusión, desde las colonias de cría ya saturadas hacia las áreas vecinas, ocupando zonas adyacentes favorables^[22]. De esta manera, estudiar las poblaciones locales de la especie nos ayuda a estimar el número de cotorras que puede

soportar una zona determinada y también predecir mejor la futura ocupación de las zonas aledañas que son favorables para la especie. Esto permitiría evitar el asentamiento de ejemplares en zonas desocupadas y ayudaría a mitigar posibles impactos ambientales y conflictos con el ser humano. Por este motivo, es necesario conocer con detalle la evolución poblacional a lo largo del tiempo así como el proceso de dispersión de la especie, teniendo en cuenta que es más fácil y menos costoso evitar el asentamiento de nuevos individuos que intentar eliminar una población de cotorras una vez establecida.

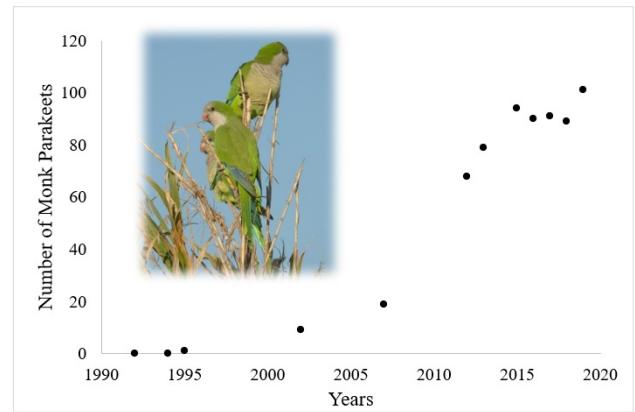


Figura 4: Tamaño estimado de la población de cotorra argentina en la Ciudad Deportiva de Carranque (Málaga, España) desde 1992 hasta 2019, medido en términos de número de cotorras observadas.

Referencias

- [1] Falk-Petersen, J., Bøhn, T., and Sandlund, O.T. (2006) On the numerous concepts in invasion biology. *Biological Invasions*. 8 (6), 1409–1424.
- [2] Cassey, P., Blackburn, T.M., Duncan, R.P., and Lockwood, J.L. (2005) Lessons from the establishment of exotic species: a meta-analytical case study using birds. *Journal of Animal Ecology*. 74 (2), 250–258.
- [3] European Commission (2014) Especies exóticas invasoras: la respuesta de la Unión Europea. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo.
- [4] Williamson, M. and Fitter, A. (1996) The varying success of invaders. *Ecology*. 77 (6), 1661–1666.
- [5] Jarić, I. and Cvijanovic, G. (2012) The tens rule in invasion biology: Measure of a true impact or our lack of knowledge and understanding? *Environmental Management*. 50 (6), 979–981.
- [6] Bull, J. (1973) Exotic birds in the New York City area. *The Wilson Bulletin*. 85 (4), 501–505.
- [7] Muñoz, A.-R. and Real, R. (2006) Assessing the potential range expansion of the exotic monk parakeet in Spain. *Diversity and Distributions*. 12 (6), 656–665.
- [8] Molina, B., Postigo, J.L., Muñoz, A.-R., and Del Moral, J.C. (2016) La cotorra argentina en España, población reproductora en 2015 y método de censo. SEO/BirdLife, Madrid.
- [9] Hatzofe, O. and Yom-Tov, Y. (2002) Global warming and recent changes in Israel’s avifauna. *Israel Journal of Zoology*. 48 (4), 351–357.
- [10] Lever, C. (2005) Naturalised birds of the world. A&C Black.
- [11] Mori, E., Di Febbraro, M., Foresta, M., Melis, P., Romanazzi, E., Notari, A., et al. (2013) Assessment of the current distribution of free-living parrots and parakeets (Aves: Psittaciformes) in Italy: A synthesis of published data and new records. *Italian Journal of Zoology*. 80 (2), 158–167.
- [12] Edelaar, P., Roques, S., Hobson, E.A., Gonçalves Da Silva, A., Avery, M.L., Russello, M.A., et al. (2015) Shared genetic diversity across the global invasive range of the monk parakeet suggests a common restricted geographic origin and the possibility of convergent selection. *Molecular Ecology*. 24 (9), 2164–2176.
- [13] Forshaw, J.M. (1989) Parrots of the world. Lansdowne Melbourne, Victoria, Australia.
- [14] Hernández-Brito, D., Blanco, G., Tella, J.L., and Carrete, M. (2020) A protective nesting association with native species counteracts biotic resistance for the spread of an invasive parakeet from urban into rural habitats. *Frontiers in Zoology*. 17 (1), 1–13.
- [15] Burger, J. and Gochfeld, M. (2009) Exotic monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) in New Jersey: Nest site selection, rebuilding following removal, and their urban wildlife appeal. *Urban Ecosystems*. 12 (2), 185–196.
- [16] South, J.M. and Pruett-Jones, S. (2000) Patterns of Flock Size, Diet, and Vigilance of Naturalized Monk Parakeets in Hyde Park, Chicago. *The Condor*. 102 (4), 848–854.
- [17] Batllori, X. and Nos, R. (1985) Presencia de la Cotorrita Gris (*Myiopsitta monachus*) y de la Cotorrita de Collar (*Psittacula krameri*) en el Area Metropolitana de Barcelona. *Miscellanea Zoologica*. 9 407–411.
- [18] Paterson, A.M. (1988) Cotorra Argentina, *Myiopsitta monachus*. Noticiario Ornitológico. *Ardeola*. 35 309–310.
- [19] Sol, D., Santos, D.M., Fera, E., and Clavell, J. (1997) Habitat selection by the Monk Parakeet during colonization of a new area in Spain. *The Condor*. 99 (1), 39–46.
- [20] Rodríguez-Pastor, R., Senar, J.C., Ortega, A., Faus, J., Uribe, F., and Montalvo, T. (2012) Distribution patterns of invasive Monk Parakeets (*Myiopsitta monachus*) in an urban habitat. *Animal Biodiversity and Conservation*. 35 (1), 107–117.
- [21] Souviron-Priego, L., Muñoz, A.-R., Olivero, J., Vargas, J.M., and Fa, J.E. (2018) The legal international wildlife trade favours invasive species establishment: The monk and ring-necked parakeets in Spain. *Ardeola*. 65 (2), 233–246.
- [22] López-Ramírez, S. and Muñoz, A.-R. (2022) A Local Approach to Better Understand the Spread and Population Growth of the Monk Parakeet as an Invasive Species. *Birds*. 3 (3), 277–284.
- [23] Borray-Escalante, N.A., Baucells, J., Carrillo-Ortiz J.G., Hatchwell, B.J., Senar J.C. Long distance dispersal of monk parakeets (in prep.).

PREMIO NOBEL AL ESTUDIO DE NUESTROS ORÍGENES COMO ESPECIE

por ENRIQUE VIGUERA MÍNGUEZ

PROFESOR TITULAR DE GENÉTICA DE LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

EVIGUERA@UMA.ES

¿De dónde venimos? ¿Cuál es el origen del humano anatómicamente moderno, el *Homo sapiens*?...

Nos venimos planteando estas preguntas desde tiempos históricos. Gracias a los datos aportados por la Arqueología y Paleontología, sabemos que nuestros ancestros aparecieron en África hace cerca de 300 000 años y que el Neandertal, que habitaba en Europa y parte de Asia desapareció hace unos 35 000-40 000 años. ¿Llegaron a encontrarse cuando el *Homo sapiens* migró desde África? ¿Qué aspecto tendrían unos y otros? ¿Serían rubios o pelirrojos, con piel oscura o blanca, compartirían un mismo grupo sanguíneo, intolerantes a la lactosa quizá?

Estas cuestiones, lamentablemente, no podemos responderlas examinando los restos óseos que encontramos en los yacimientos. Para ello tendríamos que tener acceso a la información genética de estos individuos y analizarla de forma similar a la que se usa hoy día en genética forense para identificar los rasgos de un sospechoso o para realizar estudios de diagnóstico genético en caso de enfermedades hereditarias.

El Premio Nobel en Fisiología o Medicina 2022 reconoce la labor de un pionero, el investigador sueco Svante Pääbo, director del Instituto Max-Planck de Antropología Evolutiva en Leipzig. La materia orgánica se degrada con el tiempo y el ADN, molécula portadora de la información genética, lógicamente también. Pääbo logró poner a punto la metodología necesaria para recuperar fragmentos minúsculos de ADN de Neandertal, primero su ADN mitocondrial, de herencia materna y en el año 2010, leer el genoma completo, lo que nos permitiría responder a las preguntas antes planteadas. Eran pelirrojos, sí, pero más interesante es el hecho de que compartimos con ellos un ancestro común que vivió hace unos 800 000 años, una rama daría lugar al Neandertal, otra al *Homo sapiens*, una se extinguiría y otra no. Pero, ¿qué pasó cuando se encontraron? El análisis de ADN neandertal muestra regiones más parecidas al humano moderno que al humano contemporáneo procedente de África. Es decir, ¡se cruzaron entre ellos! Y no fue algo puntual sino que ocurriría a lo largo de casi 10 000 años por toda la geografía, en Oriente Medio, en Europa.

Las poblaciones actuales de ascendencia europea o asiática tenemos entre un 1-4 % de ADN de neandertal en nuestro genoma, pero no así las poblaciones de ascendencia africana, para las cuales se ha encontrado sólo un 0,3 % de de ADN de Neandertal, posiblemente debido a una vuelta a África del humano arcaico. Pero los estudios de Pääbo fueron más allá: en 2008 se encontró un fragmento de una falange de un dedo que Mattias Meyer, investigador de su grupo estudió. La comparación del material genético obtenido con el genoma de Neandertal y del *Homo sapiens* era tan diferente que implicaba la existencia de un tercer homínido –primate erguido y de locomoción bípeda, los Denisovanos, que convivieron espacio-temporalmente con éstos. Compartían un ancestro común con los Neandertales hace unos 650 000 años. Los estudios revelaron la hibridación de Neandertales y Denisovanos entre sí y de *Homo sapiens* y Denisovanos (individuos del sudeste Asiático contienen hasta un 6 % de ADN de Denisova fruto de estos cruzamientos ancestrales).



Figura 1: Svante Pääbo recibe el Premio Nobel de medicina de S.M. el Rey Carlos XVI Gustavo de Suecia en el Konserthuset de Estocolmo el 10 de diciembre de 2022. © Nobel Prize Outreach. Foto: Nanaka Adach.

Pääbo ha sido pionero en los estudios que darían lugar a una nueva disciplina en la Biología: la Paleogenómica. Lamentablemente, el Instituto Karolinska no ha tenido en cuenta las contribuciones a esta disciplina del español Carles Lalueza-Fox o del estadounidense David Reich, cuyos estudios de ADN antiguo han servido para comprender la transición neolítica o el cambio de un modo de vida de los humanos cazadores-recolectores a la agricultura- pastoreo

mediante la domesticación de plantas y animales. Posteriormente se desarrollarían asentamientos estables, aparecerían núcleos poblacionales y el comienzo de la civilización como la conocemos hoy día y con el aumento de los tamaños poblacionales, migración y mezcla de poblaciones. Estos estudios han echado por tierra el concepto de raza. No existen razas humanas.

Los resultados obtenidos en el campo de la Paleogenómica muestran que en un determinado momento habitaban la Tierra al menos tres especies de humanos y que éstos se cruzaron entre ellos. Hace unos 40.000 años, todas las formas humanas arcaicas desaparecen y permanece una que contiene en su genoma regiones de ADN que han sido seleccionados durante la evolución.

Solemos definir en nuestras clases en el Grado en Biología que individuos de una especie son aquellos organismos capaces tener descendencia fértil entre sí, pero no con miembros de poblaciones de otras especies. El árbol de la humanidad, el que intenta reflejar nuestro origen evolutivo, nos aparece plagado de cruzamientos y de ramas que aparecen y desaparecen en el tiempo, algo más parecido a una red que a un árbol. Un merecido Nobel que está transformando nuestra comprensión de la historia humana.



Figura 2: Trabajo de Paleogenética en la Cueva del Boquete de Zafarraya, Málaga. Enrique Viguera, Matthias Meyer y Alba Bossoms. Para evitar la contaminación con DNA humano es necesario trabajar con guantes, mascarilla y EPI.

Nota: este artículo fue publicado por el autor en Diario Sur el 4 de octubre de 2022

COMPETENCIA ESPERMÁTICA Y EMPAREJAMIENTO HUMANO

por HERACLIO CORRALES PAVÍA

DOCTORANDO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA EN LA UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

HERACLIOCORRALES@UMA.ES

Resumen: : El presente artículo pretende abordar la cuestión de la poliandria en nuestra especie a través del estudio de la fisiología humana. El objetivo es tratar de mostrar qué conclusiones pueden obtenerse sobre nuestras estrategias de emparejamiento desde el punto de vista de las adaptaciones fisiológicas relacionadas con esta cuestión en el ser humano, por lo que se atenderá al tamaño de las gónadas masculinas y a la tipología de los espermatozoides humanos, analizando en el proceso las teorías que existen sobre la cuestión, así como su relación con el aparato reproductor femenino humano. Sin embargo, dado que el *Homo sapiens* es una especie cuya conducta es muy plástica, será necesario mostrar en qué medida el entorno puede modificar y condicionar las conductas relacionadas con el emparejamiento, señalando así el límite del enfoque de la investigación.

Abstract: *This article aims to address the question of polyandry in our species through the study of human physiology. The aim is to show what kind of conclusions can be drawn about our mating strategies from the point of view of the physiological adaptations related to this question in humans, therefore we will look to the size of the male gonads and the typology of human spermatozoa, analysing in the process the theories that exist on the issue, as well as their relationship with the human female reproductive apparatus. Nevertheless, given that Homo sapiens is a species whose behaviour is highly plastic, it will be necessary to show the extent to which the environment can modify and condition mating behaviours, thus indicating the limit of the research approach.*

Palabras clave: Selección post-cópula, celos, psicología evolucionista, emparejamiento sexual

Keywords: *post-copulation selection, jealousy, evolutionary psychology, sexual mating*

Introducción:

El objetivo del presente trabajo es extraer conclusiones de los datos obtenidos sobre la fisiología humana para abordar la cuestión de si la selección natural o sexual ha favorecido predominantemente la monogamia o la poligamia en nuestra especie. Si bien es cierto que nuestra especie es conductualmente polimórfica en ese rasgo, lo que motiva que el presente trabajo no tenga pretensiones normativas, un análisis con este punto de partida es útil para enfrentarnos a la difícil cuestión del papel de la evolución y del aprendizaje social en la configuración de algunos mecanismos psicológicos. Así, se responderá a la cuestión “qué conclusiones podemos extraer de la fisiología humana sobre la conducta de apareamiento”. Se definirá la tesis de la competencia espermática y cómo puede rastrearse, veremos en qué medida es aplicable al ser humano y se discutirán los resultados obtenidos.

La competencia espermática:

La competencia espermática puede definirse como “la competición dentro de una hembra entre los espermatozoides de dos o más machos para fertilizar el

óvulo. Hay razones para suponer que la selección que actúa en un espermatozoide individual [...] confiere ventaja selectiva al macho que lo produce”^[1]. Esto es, cuando los espermatozoides de más de un macho viven al mismo tiempo en el tracto reproductor de una hembra, la selección natural actúa en favor del macho cuyos espermatozoides sean capaces de fecundar al óvulo, en la medida en que son los genes de este y no del otro los que se transmiten a la siguiente generación. Cabe suponer, por tanto, que, en las especies animales en las que se da este fenómeno, aparezcan rasgos que otorguen a los espermatozoides ventaja competitiva. El primer rasgo que parece ofrecer una clara ventaja sobre los espermatozoides rivales es el número de ellos que se eyacula en el tracto reproductor femenino. Parker, el promotor de la teoría, explica que la causa de que los machos produzcan “tantos espermatozoides pequeños” está relacionada con este fenómeno. En efecto, frente a Cohen, quien argumenta que la gran cantidad de espermatozoides que producen los machos se debe al gran número de gametos defectuosos que se producen por meiosis, Parker señala que los óvulos también se producen a través de la meiosis, pero que son bastante menos numerosos. En su lugar, sugiere que esto se debe al proceso de competencia espermática: cuanta más cantidad de

espermatozoides se eyaculen, más probable será que sean los propios y no los del otro macho los que alcanzan al óvulo^[2]. Este principio, llamado por analogía “el principio de la lotería”^[3], explica la anisogamia que se produce en todos los animales sexuales aludiendo a la competencia espermática. Al margen de que este sea o no el único factor que explica la diferencia de tamaños en gametos masculinos y femeninos, cuestión que excede los objetivos del trabajo, sí que se puede usar el recuento de espermatozoides de una especie como prueba indirecta de la existencia de competencia espermática. En la medida en que un gran número de espermatozoides en la eyaculación de una especie es explicado por el principio de la lotería como la existencia de competencia espermática acen tuada, el análisis de este rasgo humano ofrece una vía a partir de la cual investigar la cuestión de la monogamia. Hay otras adaptaciones que entran en juego y que es posible rastrear en el cuerpo humano. Una de las más polémicas es la hipótesis del espermatozoide kamikaze. Según esta, solo una porción de los espermatozoides que se expulsan tiene como función buscar y fecundar al óvulo. Sin embargo, una cantidad sorprendente de ellos (40%) tiene deformaciones y variaciones, y parecen no buscar de modo activo el gameto femenino. Lo que proponen Baker y Bellis es que estos espermatozoides pueden clasificarse en dos grupos en base a su función, a juzgar por lo que han observado en ratones: i) algunos espermatozoides aparentemente deformes forman un tapón en el tracto reproductor de la hembra a través del que no pueden pasar espermatozoides rivales^[4] o alrededor del óvulo; ii) otros tienen el objetivo de buscar los espermatozoides de otros machos y destruirlos^[5], lo que convierte a la situación en una guerra^[6]. Sin embargo, es esta una hipótesis que no ha podido confirmarse. En un experimento se juntaron in vitro quince eyaculaciones de hombres probadamente fértiles tras tres días de abstinencia sexual. No se encontraron los espermatozoides “asesinos” de los que hablaron Baker y Bellis, de hecho, se observaron algunas agresiones entre espermatozoides del mismo hombre^[7]. Dadas las limitaciones del experimento, sin embargo, la hipótesis no se considera absolutamente descartada. Baker se queja en un artículo reciente del abandono de su hipótesis por parte de la comunidad científica, señalando que ni siquiera se han buscado espermatozoides bloqueadores en la eyaculación humana^[8]. Además, se ha encontrado que el tamaño de los testículos se correlaciona con la exposición a la competencia espermática. Experimentalmente se ha comprobado que las mariposas aumentan significativamente el tamaño de sus gónadas masculinas tras solo diez generaciones expuestas a competencia espermática. Además, es

frecuente que la concentración de espermatozoides de una eyaculación dependa de la evaluación del riesgo (inconsciente) de verse expuesto a competencia espermática^[9]. Veamos si el ser humano tiene algunas de estas características.

¿Competencia espermática en seres humanos?:

La cuestión que nos ocupa es si el fenómeno descrito en la sección anterior se encuentra presente en los seres humanos. Conviene advertir tres cosas antes de comenzar. En primer lugar, que es probable que exista un conjunto de adaptaciones coherentes con el problema de la competencia espermática y que, en principio, no hay razón para que no las haya en forma de mecanismos psicológicos^[10]. En segundo lugar, no se tendrán en cuenta los estudios sociales que concluyan la poligamia o la monogamia de nuestra especie sin atender a los rasgos fisiológicos^[11] más allá de señalar sus deficiencias y su parcialidad, que es lo que, en parte, se pretende. Por último, se debe notar que la mujer tiene un papel activo en la fecundación, pero es una cuestión demasiado compleja y discutida como para ser tratada aquí. Baste con decir que, aunque no está claro que sea así, se ha señalado que la frecuencia con la que una agresión sexual con penetración acaba en embarazo es comparativamente muy pequeña si la comparamos con la del sexo consentido^[12]. Los desarrolladores de esta tesis en humanos han señalado que es necesario que, para que se dé la competencia en humanos, es necesario que se dé de hecho la poliandria, i. e. la exposición a la fertilización por más de un macho^[13]. Se ha señalado que existen al menos cinco casos en los que se puede dar la competencia espermática en el ser humano: i) sexo comunal; ii) prostitución; iii) agresión sexual; iv) infidelidad, y v) promiscuidad (especialmente común en adolescentes)^[14]. Se ha prestado especial atención a la infidelidad de la mujer en este fenómeno^[15], lo que quizás ha hecho a esta tesis tan polémica; sin embargo, parece que es precipitado concluir algo así: para que exista competencia espermática es suficiente con que algunas mujeres mantengan relaciones sexuales con varios hombres en un corto período de tiempo. Pero ¿qué adaptaciones tiene el ser humano para la competencia espermática? Si comparamos al ser humano con los gorilas (*Gorilla gorilla*), que es un animal que, salvo cambio de líder de harén, no presenta poliandria, vemos que el testículo humano es significativamente más grande: el nuestro supone un 0.08% de nuestro peso corporal, mientras que en el gorila, un 0.03%. Pero, por otro lado, los chimpancés (*Pan troglodytes*), una especie con mucha competencia espermática, tienen unos testículos que suponen

el 0.3% de su peso corporal^[16]. Dos observaciones pueden hacerse sobre este punto: la primera es que los testículos humanos son más grandes proporcionalmente que los de los gorilas, lo que parece indicar cierto grado de competencia espermática en nuestra especie (que es lo que sugiere el autor del estudio); pero, por otro lado, es destacable que el tamaño de nuestros testículos se ha reducido mucho desde que nos separamos evolutivamente de los chimpancés, lo que parece sugerir una clara tendencia hacia la monogamia^[17]. Por supuesto, todo esto se sostiene solo si asumimos que la causa de los testículos grandes es el principio de la lotería y solo el principio de la lotería. Es posible que otros factores expliquen la existencia de un recuento de espermatozoides especialmente alto en humanos. Uno podría ser que la vagina y el útero suponen un entorno especialmente hostil para el espermatozoide: además de que la cópula se puede producir en días no fértiles, lo que evita la fecundación, la ovulación es espontánea y no inducida por el coito, expulsa casi todo (<99%) el esperma con el reflujo vaginal y ataca a los espermias liberando leucocitos^[18]. El esperma, de hecho, sobrevive más tiempo en el tracto reproductor de una coneja que en el de una mujer^[19]. Las razones por las que las mujeres han sido seleccionadas para dificultar el embarazo exceden los objetivos del presente trabajo, quizás se deba a que tienen una ventaja comparativa al tener más tiempo de valorar los rasgos de carácter de un posible padre de sus hijos. Si esto causa que los testículos humanos sean más grandes, entonces somos más polígamos de lo que cabe inferir considerando solo el principio de lotería. En cualquier caso, este principio parece seguir aplicando en nuestra especie. Se ha mostrado, a través de un estudio en el que se le pidió a 35 parejas que estuvieran separadas un tiempo variable y aportaran después la eyaculación a través del preservativo o del reflujo vaginal recogido, que, cuanto más tiempo se está separado de la pareja habitual, mayor es el volumen de esperma por eyaculación, pasando de 389 millones hasta 712 millones en función del tiempo que transcurriera, lo que sí parece de modo más claro una estrategia dirigida a la competencia espermática^[20]. Otra adaptación cuya utilidad es transparente es la presencia de espermiocida en el tramo final de la eyaculación del hombre, probablemente destinada a dificultar el acceso de los espermatozoides de otro hombre al aparato reproductor femenino^[21]. Hay otras posibles adaptaciones para la competencia espermática: en un experimento con dildos de una tienda erótica y una vagina artificial, se vio que el que mejor desplazaba el agua con almidón de maíz (que hacía las veces de semen en el experimento) era el dildo más realista^[22]. A esto

se ha objetado que, debido a las grandes diferencias entre seres humanos y antropoides en la forma del pene y que éstos tienen una competencia espermática mucho más acentuada que la nuestra, entonces sería del todo sorprendente que, en el tránsito hacia una conducta más monógama (aunque no plena), se desarrollase un rasgo complejo y específico justo en la dirección contraria^[23]. Se trata de un fenómeno bastante improbable, sin duda, pero sería posible argumentar que se trata de una exaptación (sean cuales sean las razones de la evolución del pene) o que ha surgido una vez nuestro linaje se ha separado del de los chimpancés por razones de competencia espermática. Es importante notar que, pese a lo que pensaban los sociobiólogos dedicados al estudio de la competencia espermática en humanos de los años ochenta y noventa, no todos los rasgos fisiológicos humanos se pueden explicar acudiendo a la noción de competencia espermática. Frente a la hipótesis de Baker y Bellis de que el orgasmo femenino puede funcionar como un mecanismo a través del cual la vagina facilita el acceso al útero al esperma del hombre que lo ha provocado (según los autores, el amante es quien típicamente produce más orgasmos en la mujer), la bióloga y filósofa feminista Elisabeth Lloyd señala evidencia en contra. En efecto, un estudio en el que se sitúan aparatos de medida en la vagina y el útero de voluntarias a las que se les pide que se estimulen manualmente hasta el orgasmo, muestra que el orgasmo en la mujer produce movimientos de contracción, pero desde el cérvix hacia la vulva, lo que produciría el efecto contrario al señalado. Se respondió a esto que se pueden identificar varios tipos de orgasmos en la mujer, dependiendo de la cantidad de oxitocina que segregaran. Se administró por vía nasal e intravenosa oxitocina a mujeres a las que se midió la presión del útero antes y después de la administración, encontrando que sí se había producido un aumento de presión en el útero que cuadra con la hipótesis^[24], pero eso no implica en absoluto al orgasmo: el estímulo sexual por parte de una pareja produce un aumento por sí solo de los niveles de oxitocina^[25]. Las conclusiones que parece sugerir nuestra fisiología es que en nuestra historia evolutiva ha habido una tensión entre una tendencia hacia la monogamia y determinados escenarios en los que sí ha existido la competencia espermática. Eso, por cierto, explicaría (aunque no sin un estudio más detenido) por qué los celos en los hombres suelen inducir la imagen de la pareja manteniendo relaciones sexuales con otro hombre, mientras que, en las mujeres, la de la pareja dejándolas por otra^[26]. Se han ofrecido algunas explicaciones sobre el porqué de esta tendencia a la monogamia: Frans de Waal

ha sugerido que se debe a las complicaciones de la cría en el entorno más hostil de la sabana^[27]. Partir de la fisiología es fundamental para comprender las adaptaciones, pues no cabe esperar que la selección natural elija sistemáticamente adaptaciones contradictorias, al margen de que esas adaptaciones sean más o menos plásticas.

Estrategias de emparejamiento humanas:

Se ha concluido en la sección anterior que, a juzgar por los rasgos fisiológicos evolucionados en nuestra especie, es de suponer que la dotación genética y los mecanismos psicológicos que tenemos sean los de un animal ligeramente polígamo. Ahora bien, ¿qué nos cabe esperar? En primer lugar, debemos notar que las estrategias reproductivas de los seres humanos varían en algunas cosas de una cultura a otra y de un ser humano a otro, pero no en otras. Las estrategias que adoptan los seres humanos son tremendamente sensibles a las prescripciones de la cultura, que difieren las unas de las otras en lo que a prácticas sexuales se refiere. En las culturas polígamas, por ejemplo, los hombres sufren una fuerte presión por parte de sus padres para encontrar parejas. Las estrategias de emparejamientos de hombres y de mujeres cambian también en función del número de personas de cada sexo que hay en la sociedad concreta^[28]. En segundo lugar, no todas las prácticas y conductas sexuales que existen son adaptaciones que surgen de modo directo de la selección natural. Esto es esencial señalarlo porque muchos autores que han abordado la sexualidad humana desde este punto de vista han incurrido en lo que Lewontin y Gould llamaron panadaptacionismo^[29], i. e. explicar todos los rasgos como una adaptación fruto de la selección natural. Es destacable en este punto que Baker y Bellis identificaron la masturbación (muy frecuente en los mamíferos machos y hembras) como una adaptación^[30]. En tercer lugar, el contexto social en el que se desarrolla una persona afecta al modo en el que desarrollará su sexualidad. Así, las mujeres que no han tenido una figura paterna durante la niñez tienden a estar más abiertas al sexo ocasional que aquellas cuyo padre ha estado presente. Más aún, las primeras suelen presentar la menarquía o primera menstruación antes^[31]. Del mismo modo, los violadores suelen ser personas que no han tenido una familia estructurada e incapaces de mantener una relación romántica por largo tiempo^[32]. Pero entonces ¿qué sentido tiene analizar la biología humana? ¿No sería suficiente con

la explicación que se da desde la sociología? En modo alguno. El ser humano debe comprenderse, como el resto de seres vivos, como una confluencia de genes y entorno: no es posible explicar al ser humano acudiendo solo a uno de estos dos factores. Se trata del resultado conjunto de ambos factores^[33]. A menudo la apelación a factores biológicos se usa como sinónimo de bueno (falacia naturalista) y otras como inevitable (determinismo biológico), pero ambas son tesis erróneas. Si comprendemos los esquemas psicológicos que producen tal y tal efecto, entonces podemos comprender nuestros rasgos y diseñar programas educativos y políticas eficaces para solucionar los problemas que atormentan a nuestra sociedad^[34]. Consideremos el caso de la agresión en el seno de la pareja. Se ha dicho desde el feminismo que se produce por la imposición de la monogamia de modo cultural, lo que implicaría la propiedad de la mujer por parte del hombre^[35]. Esta afirmación, desde el punto de vista aquí trabajado, no parece del todo fundamentada. Si bien es cierto que los celos sexuales tienden a producir una conducta agresiva, no queda nada claro cómo fomentar la poligamia va a reducir los celos y, por tanto, la agresión: “no hay paraísos habitados por personas sexualmente liberadas”^[36]. ¿Por qué creer que fomentar la poligamia va a hacer que nos “acostumbremos” a no tener celos? Si comprendemos qué fenómenos tienden a producir en mayor medida celos sexuales, sabremos prevenirlos con más eficacia y, por extensión, también la agresión en el ámbito de la pareja. Un análisis que combine el factor genético y el ambiental puede ser nuestra mejor herramienta para solucionar los problemas de los que adolece nuestra sociedad.

Conclusiones:

Se ha investigado sobre el fenómeno de la competencia espermática como punto de partida para abordar la cuestión de la monogamia en nuestra especie. Después de explicar el fenómeno se han investigado los rasgos humanos que se vincularían con este y se ha concluido que ha existido una fuerte tendencia a la monogamia en nuestra especie, aunque en tensión con ciertas tendencias contrapuestas que se preservan. La explicación podría estar en la necesidad de cuidado paterno de la prole humana. Además, se ha mostrado la necesidad de combinar el enfoque biológico con el sociológico para completar la explicación sobre la sexualidad humana.

Referencias

- [1] Parker G. Sperm competition and its evolutionary consequences in the insects. *Biological Review* 1: 552-567, 1970. pp. 527-528.
- [2] Parker G. Why are there so many tiny sperm? Sperm competition and the maintenance of two sexes. *Journal of Theoretical Biology* 96 (2): 281-294, 1982.
- [3] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 2.5.1.
- [4] Baker R y Bellis M. Kamikaze sperm in mammals? *Animal Behaviour*: 936-939, 1988.
- [5] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 2.5.3.
- [6] Baker R. Sperm Wars. Infidelity, Sexual Conflict and Other Bedroom Battles. *Fourth Estate*, Londres. 1996.
- [7] Moore H D y otros. No Evidence for Killer Sperm or Other Selective Interactions between Human Spermatozoa in Ejaculates of Different Males in vitro. *Proceedings: Biological sciences*: 2243-2350, 1999.
- [8] Baker, R. Robin Baker y Mark Bellis: Pioneers of Research on Human Sperm Competition. *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science*, 2017.
- [9] Shakelford T K y Goetz A T. Adaptation to sperm competition in Humans. *Directions in Psychological Science* 16 (1): 47-50, 2007.
- [10] Shakelford T K y otros. Adaptation to sperm competition in Humans. *Review of General Psychology* 9 3: 228-248, 2005.
- [11] Vg. Hooks B. El feminismo es para todo el mundo. *South End Press*, Nueva York. 2017. pp. 107-108.
- [12] Thornhill R y Palmer C T. A Natural History of Rape. *Biological Bases of Sexual Coercion*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. 2000. pp 121.
- [13] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 2.4.
- [14] Smith R. Human Sperm Competition, en R. L. Smith (ed.), *Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating*: 601-659, 1984.
- [15] Baker R. Sperm Wars. Infidelity, Sexual Conflict and Other Bedroom Battles. *Fourth Estate*, Londres. 1996.
- [16] Shakelford T K y Goetz A T. Adaptation to sperm competition in Humans. *Directions in Psychological Science* 16 (1): 47-50, 2007. p. 48.
- [17] Prum R O. La evolución de la belleza. *Ático de los libros*, Barcelona. 2019. pp. 248-249.
- [18] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 4.4.
- [19] Bedford J. The influence of the uterine environment upon rabbit spermatozoa, en G E Lamming y E C Amoroso (eds.), *Reproduction in the Female Mammal*: 478-499. Butterworths, Londres.
- [20] Buss D. La evolución del deseo. *Alianza*, Madrid. 2021. p. 156.
- [21] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 4.7.
- [22] Gallup G G y otros. The human penis as a semen displacer device. *Evolution and Human Behaviour* 24 (4): 277-289, 2003.
- [23] Prum R O. La evolución de la belleza. *Ático de los libros*, Barcelona. 2019. pp. 258-259.
- [24] Sperm transport in the human female genital tract and its modulation by oxytocin as assessed by hysterosalpingocintigraphy, hysteronotography, electrohysteronography and Doppler sonography. *Human Reproduction Update* 4, (5), 1998. .
- [25] Lloyd E. The case of Female Orgasm. *Bias in the Science of Evolution*. Harvard University Press, Cambridge. 2005. Cap. 7.
- [26] Thornhill R y Palmer C T. A Natural History of Rape. *Biological Bases of Sexual Coercion*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. 2000. pp. 42-44.
- [27] De Waal F. El mono que llevamos dentro. *Tusquets*, Barcelona. 2015. p. 132.
- [28] Buss D. La evolución del deseo. *Alianza*, Madrid. 2021. pp. 47-48
- [29] Gould S J y Lewontin R C. The Spandrels of San Marcos and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Program. *Proceedings of the Royal Society of London*, 205: 581-595, 1979.
- [30] Baker R y Bellis M. Human Sperm Competition. Copulation, Masturbation and Infidelity. *Hard Nut Books*, Londres. 2014. Sec. 4.7. Cap. 5.
- [31] Buss D. La evolución del deseo. *Alianza*, Madrid. 2021. pp. 188-189.
- [32] Thornhill R y Palmer C T. A Natural History of Rape. *Biological Bases of Sexual Coercion*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. 2000. pp. 80-81.
- [33] Lewontin R C y otros. Not in our Genes. Biology, Ideology, and Human Nature. *Haymarkets Books*. 2017. p. 276.
- [34] Thornhill R y Palmer C T. A Natural History of Rape. *Biological Bases of Sexual Coercion*. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts. 2000. pp. 179-183.
- [35] De Miguel A. Neoliberalismo sexual: el mito de la libre elección. *Cátedra*, Madrid. 2015. p. 46.
- [36] Buss D. La evolución del deseo. *Alianza*, Madrid. 2021. p. 270.

Ámbito y política editorial

La revista *Encuentros en la Biología* (ISSN 1134-8496) es una revista de divulgación científica con carácter interdisciplinar, está editada por la Universidad de Málaga y publica periódicamente (primavera, verano, otoño, invierno) aquellas contribuciones originales que se enmarcan en un ámbito de encuentro entre las ciencias biológicas y las demás fuentes de conocimiento científico; esto es, conocimiento testado experimentalmente y avalado al menos por una fuente primaria de documentación. Aceptará también la edición de biografías de autores relevantes, de reseñas de libros y trabajos especializados, de imágenes para la portada, la sección «La imagen comentada» y otras secciones especializadas, así como noticias, comunicaciones y eventos relacionados con la biología. La editorial valorará positivamente la contribución de los trabajos en un formato ameno y accesible para estudiantes y profesores de todas las áreas de la biología, al igual que la presentación de las últimas novedades científicas en este área.

Encuentros en la Biología es un foro de difusión abierto para todas aquellas personas que estén interesadas en enviar sus aportaciones. Las contribuciones así presentadas deberán ajustarse a la política editorial y a las normas que a continuación aparecen como «Instrucciones para los Autores». La revista se reserva el derecho a realizar cuantas modificaciones en forma y diseño estime oportunas.

Instrucciones para los autores

1. Todas las contribuciones serán inéditas o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos para su reproducción, en cuyo caso la edición incluirá la referencia de su autoría. Los manuscritos recibidos podrían revisarse con medios técnicos para detección de plagios.
2. Cada contribución constará de un título, el nombre completo del autor o autores, su afiliación (institucional, académica o profesional) y correo electrónico. Para distinguir la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (*, †, ‡, §, ¶, etc.) después del nombre de cada uno.
3. El documento se puede enviar en formato txt, rtf, sww/odt (OpenOffice/LibreOffice), doc/docx (MS-Word) o tex (L^AT_EX). Manuscritos largos pueden dividirse en varias partes que aparecerían en números distintos.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de genes y especies aparecerán en cursiva (*ABC*, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva los términos que se citen en un idioma distinto al castellano.
5. Los autores que no sean castellanohablantes pueden remitir sus manuscritos en inglés. Una vez aceptado, el equipo editorial elaborará un resumen en castellano.
6. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos deberán adjuntarse en ficheros independientes. Cuando sea posible, utilice el formato vectorial no propietario pdf, svg, eps o ps. En caso de fotografías o figuras tipo *bitmap* se pueden enviar en formato jpg, tif o png con una resolución mínima de 300 ppp. Existe la posibilidad de incorporar breves animaciones en formato gif a baja resolución.
7. Las referencias bibliográficas se citarán dentro del propio texto, numeradas por orden de aparición, entre corchetes en superíndice^[1]. Al final del mismo, se incluirá la sección de *Bibliografía* o *Referencias* de acuerdo con el estilo del siguiente ejemplo:
¹Einstein Z y Zwestein D. Spatial integration in the temporal cortex. *Res Proc Neurophysiol Fanatic Soc* 1: 45-52, 1974.
 Si hay más de dos autores, se citará el primero seguido de «y otros».
 Si el texto principal no incluye referencias bibliográficas, se ruega a los autores que aporten 3-4 referencias generales «para saber más» o «para más información».
8. Se anima a contribuir a la sección *la imagen comentada* con imágenes originales o de libre distribución (300 ppp de resolución como mínimo) acompañadas en documento aparte con un breve comentario de unas 300 palabras relacionado con la misma (descripción, información, técnica, etc.).
9. Se considerará cualquier contribución para las distintas secciones de la revista.
10. Envío de contribuciones: el original se enviará por correo a los coeditores o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al tema de la contribución. Como último recurso, se pueden enviar por correo postal acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
11. La aceptación de todas las contribuciones se hará a petición de los miembros del equipo editorial, manteniendo en todo caso los coeditores la decisión final sobre la misma. También se podrá sugerir al autor mejoras formales o de contenido para adaptar el artículo al perfil de la revista. La notificación se enviará por correo electrónico al autor que figure como corresponsal.