

ENCUENTROS EN LA BILOGÍA



Director:
Salvador Guirado

Editor jefe:
M. Gonzalo Claros

Comité editorial:
Ramón Muñoz-Chápuli,
Antonio de Vicente,
José Carlos Dávila,
Francisco Cánovas,
Francisca Sánchez

Diseño de la portada:
M. Gonzalo Claros

Correspondencia a:
Encuentros en la Biología,
M. Gonzalo Claros (Editor jefe),
Depto. Biología Molecular y Biquímica,
Facultad de Ciencias,
29071 Málaga
Tfno.: 952 13 7284
email: claros@uma.es

Dirección de internet:
<http://www.encuentros.uma.es/>

Editado con la financiación del
Vicerrectorado de Investigación y
Doctorado de la Universidad de Málaga.

D.L.:MA-1.133/94

ÍNDICE

3 Biotecnología y sociedad en Venezuela

María Fabiana Malacarne

4 Los agentes de unión a las inmunofilinas como terapia inmunosupresora

Josefa Gómez Maldonado

6 Breve historia de la Ecología (IV)

José M^a Blanco Martín

Portada: Sección transversal de un tronco de pino torcido hacia la derecha, donde se observa la madera de compresión. M. G. Claros, F. R. Cantón, D. P. Villalobos y S. Díaz-Moreno. Dpto de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga.

Instrucciones para los autores

La revista Encuentros en la Biología es una publicación mensual durante el curso académico español que pretende difundir, de forma amena y accesible, las últimas novedades científicas que puedan interesar tanto a estudiantes como a profesores de todas las áreas de la biología. Además de la versión impresa, la revista también se puede consultar en línea en <http://www.encuentros.uma.es/>. **Cualquier persona puede publicar en ella** siempre que cumpla las siguientes normas a la hora de elaborar sus originales:

1. Todos los manuscritos deberán ser inéditos o contarán con la autorización expresa del organismo que posea los derechos de reproducción. Además, deben tener alguna relación con el objetivo de la revista —los que simplemente reflejen opiniones se rechazarán directamente—.
2. El formato del documento puede ser RTF, ODT (OpenOffice), ABW (AbiWord) o DOC (Microsoft Word). Debido a las restricciones de espacio, la extensión de los mismos no debe superar las 1600 palabras; en caso contrario, el editor se reserva el derecho de dividirlo en varias partes que aparecerán en números distintos.
3. Cada contribución constará de un título, autor o autores, y su filiación (situación académica; institución u organismo de afiliación; dirección postal completa; correo electrónico; teléfono). Para diferenciar la afiliación de diferentes autores utilice símbolos (*, #, ¶, †, ‡) después del nombre de cada autor.
4. Los nombres de las proteínas se escribirán en mayúsculas y redondilla (ABC o Abc). Los de los genes y las especies aparecerán en cursiva (ABC, *Homo sapiens*). También se pondrán en cursiva aquellos términos que se citen en un idioma que no sea el castellano.
5. Las tablas, figuras, dibujos y demás elementos gráficos serán en blanco y negro puros, y deberán ir colocados en su posición, dentro del archivo. Las figuras, las fórmulas y las tablas deberán enviarse en formato GIF o JPG, a una resolución mínima de 150 dpi, máxima de 300 dpi y al menos 8 bits de profundidad.
6. Cuando sean necesarias, las referencias bibliográficas se citarán entre paréntesis dentro del propio texto indicando el apellido del primer autor (se escribirá «y cols» en caso de ser más), el año, la revista o libro donde aparece, el volumen y las páginas.
7. Envío de contribuciones: el original se enviará por correo electrónico al editor jefe (claros@uma.es) o a cualquier otro miembro del comité editorial que consideren más afín al contenido de su contribución. Aunque lo desaconsejamos, también se pueden enviar por correo ordinario (Departamento de Biología Molecular y Bioquímica, Universidad de Málaga, 29071 Málaga, España) acompañados de un CD. No se devolverá ningún original a los autores.
8. Los trabajos los leerán al menos un editor y/o un revisor externo para asesorar sobre la conveniencia de publicar el trabajo; también se podrán sugerir al autor las mejoras formales o de contenido que harían el artículo más aprovechable. En menos de 30 días se enviará la notificación al autor por correo electrónico.

BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD EN VENEZUELA

M. Sc. María Fabiana Malacarne

Fundación Instituto de Estudios Avanzados, IDEA. Carretera Nacional Hoyo de la Puerta, Valle de Sartenejas.
Baruta, Caracas (Venezuela)*

El avance de la ciencia y la tecnología se produce constantemente y, sin embargo, pasa inadvertido para la mayoría de los sectores de la sociedad que ignora las posibles ventajas y desventajas que implica. A diario nos enfrentamos a noticias sobre nanotecnología, bioinformática, telecomunicaciones y biotecnología, entre otras, presentadas con mucha frecuencia de manera sensacionalista y subjetiva, lo cual crea opiniones sesgadas en los sectores sociales que consumen dicha información.

El caso de la biotecnología es, quizás, el más extremo, ya que parece que las personas se adaptan rápido a los avances de la tecnología en telecomunicaciones o electrónica y es cotidiano el uso de teléfonos celulares o DVD, por ejemplo, mientras que cuando abordamos el tema de los organismos vivos, la cosa resulta más difícil. Es muy probable que esto se deba, en cierta medida, a los títulos con los que se presentan estos avances, tales como «Jugar a ser Dios», «Alimentos Frankenstein» por un lado y, por el otro, al fanatismo tanto de opositores como defensores de la tecnología.

Lo cierto es que muchos beneficios reales, así como los peligros potenciales, se quedan en segundo plano a causa de las luchas ideológicas más que científico-técnicas, las cuales no le interesan a la sociedad que tiene derecho a estar informada para poder tomar decisiones basadas en el razonamiento.

Por eso, en Venezuela, la Fundación IDEA y el Centro de Investigaciones en Biotecnología Agrícola (CIBA), han emprendido en el marco del subproyecto «Percepción pública, educación y divulgación de la Biotecnología Moderna» financiado por BID-Fonacit II, una campaña divulgativa sobre biotecnología orientada al público en general y a los estudiantes de bachillerato. En el primer caso, se han diseñado cinco folletos incluidos en la colección «Para leer en el metro» con los títulos *Hablemos de biotecnología*, *Biotecnología y salud*, *Biotecnología y agricultura*, *Biotecnología y ambiente* y *Biotecnología e industria*, los cuales están en circulación generando un interés sorprendente, medido a través de las consultas telefónicas y correos electrónicos recibidos demandando distinto tipo de información por parte de los usuarios. En el segundo caso, se editó un mini-libro titulado *Biotecnología*, donde se explica brevemente el desarrollo de esta tecnología a lo largo de la historia, haciendo énfasis en sus aplicaciones modernas y los posibles riesgos, y se brindan algunos conceptos básicos de bioseguridad. Este material, de distribución gratuita en las escuelas de educación media de la región central del país y en los estados Mérida y

Lara, ha tenido una enorme acogida entre los estudiantes y docentes de la tercera etapa fundamentalmente.

La inclusión de temas relacionados con la biotecnología, clásica y moderna, desde las etapas básicas de la educación permitirá, sin duda, formar una opinión fundamentada de la sociedad, ya que, desde la escuela, la información se multiplica a los hogares, además de estimular las vocaciones tempranas por las profesiones científicas.

En el país, la mayoría de estos temas no están incluidos en los programas de estudio y no se cuenta con docentes formados o actualizados para desarrollarlos en clase o para inducir un debate razonado con los estudiantes, que por otro lado, tienen inquietudes referentes al área debido a la información recibida a través de Internet o de otros medios de comunicación (cine, TV, etc.). Por otra parte, los financiamientos destinados a la educación en biotecnología son escasos, sin continuidad en el tiempo y con poco reconocimiento para los profesionales que se dedican a la divulgación científica.

Desde el año 2003, la Fundación IDEA ha venido desarrollando actividades destinadas a la formación y actualización de los docentes en el área de biología con la edición y distribución en las escuelas del libro *¡Qué buena IDEA!, Biotecnología para los más jóvenes* (Malacarne, 2004), el cual está destinado a docentes y estudiantes de la tercera etapa de educación básica y contiene actividades que se pueden desarrollar en el aula o en un laboratorio sencillo.

En el año 2005 y gracias al apoyo del Proyecto Biotecnología BID-Fonacit II, se han sumado a este esfuerzo instituciones como la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL) del estado de Lara con su Departamento de Educación Técnica, algunos Fundacites



(organismos adscritos al Ministerio de Ciencia y Tecnología) y numerosas escuelas de los estados de Aragua, Lara, Yaracuy y Cojedes. Se han desarrollado cursos para docentes, con la finalidad de dar a conocer el libro anteriormente mencionado, así como seis videos cortos (dos minutos cada uno), referentes a distintas áreas de desarrollo de la biotecnología, para estimular la actitud crítica y el debate entre los estudiantes. Uno de los objetivos de esta actividad es facilitar material didáctico con fundamento científico que se pueda incluir en algunas actividades planificadas por los docentes de esta etapa. Hasta el momento, se han capacitado 800 docentes y se continúa la labor, con la intención de llegar a todas las escuelas del país.

La Fundación IDEA y la RedBio Venezuela, han desarrollado una página web educativa (www.idea.gob.ve/biotec/educacion.swf) con la intención de brindar un recurso más a los estudiantes y docentes para la información, actualización y desarrollo crítico de los temas relacionados con la biotecnología.

El estudio de la percepción pública de las nuevas

tecnologías, y en especial de la biotecnología moderna, es de fundamental importancia para identificar las necesidades de información y las preferencias de los venezolanos. Los esfuerzos realizados hasta ahora nos indican que la población demanda más información y que ésta debe llegar de una manera sencilla, asequible para todos. Para lograr comprometer a la sociedad en la discusión de estos temas, es necesario formar grupos multidisciplinarios que incluyan a todos los actores formadores de opinión pública en el ámbito de la biotecnología moderna y propiciar espacios para el diálogo a través de los medios de comunicación social. También es necesario comprometer a las instituciones relacionadas con la educación formal para incluir a la biotecnología dentro de los programas de estudio desde las primeras etapas de la educación básica.

Todos los esfuerzos que realicemos en dar a conocer el resultado de nuestras investigaciones redundarán en una sociedad con mayor confianza en que la ciencia y la tecnología puedan mejorar su calidad de vida.

LOS AGENTES DE UNIÓN A LAS INMUNOFILINAS COMO TERAPIA INMUNOSUPRESORA

Josefa Gómez Maldonado

Becaria post-doctoral de investigación del Instituto Mediterráneo para el Avance de la Biotecnología y la Investigación Sanitaria (IMABIS)

Las terapias inmunosupresoras utilizadas para evitar el rechazo de un órgano transplantado tienen un amplio abanico de posibilidades, entre las que caben destacar: las terapias con glucocorticoides, con anticuerpos policlonales y monoclonales, las terapias con inhibidores de la síntesis de purinas, así como los agentes de unión a las inmunofilinas. La importancia de la *interleucina-2* (*IL-2*), como punto de mira en este tipo de aproximaciones terapéuticas cobra un enorme interés debido a que esta proteína forma parte primordial en la respuesta inmunitaria. Entre las aproximaciones moleculares que tienen como objetivo la *IL-2* caben destacar los agentes de unión a las inmunofilinas, los cuales actúan inhibiendo su producción o inhibiendo la propia molécula, lo que conduce, definitiva y principalmente, al bloqueo de la respuesta proliferativa a numerosos estímulos de los linfocitos T.

Los agentes de unión a las inmunofilinas más utilizados en las terapias inmunosupresoras son: la ciclosporina y el tacrolimús (agentes que inhiben la producción de la *IL-2*), y el sirolimús y un derivado modificado de éste, el everolimús (agentes que conducen a la inhibición de la propia *IL-2*). A continuación se exponen ciertos aspectos interesantes en cuanto al mecanismo molecular de actuación de estos fármacos inmunosupresores.

La **ciclosporina** (CSA) es un undecapéptido aminoacídico cíclico de aproximadamente 1,2 kDa de masa molecular,

extraído del hongo *Tolypocladium inflantum* y que desde 1978 está disponible en la clínica. La ciclosporina basa su efecto de acción inmunosupresora, primero, en la unión a un receptor de la inmunofilina intracelular [ciclofilina (CpN)] y, segundo, como parte de un complejo ciclosporina-ciclofilina que inhibe la actividad fosfatasa de la calcineurina (CaN) que normalmente promueve la migración del NF-AT (*nuclear factor of activated T cells*) del citoplasma al núcleo, donde activaría la transcripción del gen de la *interleucina-2*. De este modo, la ciclosporina actuaría bloqueando el paso de la fase G₀ a G₁ del ciclo celular [Braun WE, *Journal of Clinical Apheresis* 18:141-152 (2003)] (véase la figura 1).

El **tacrolimús** (TAC) es una lactona macrólida derivada del hongo *Streptomyces tsukubaensis* (masa molecular: 803,5 Da) descubierta en 1984 por Fujisawa Pharmaceutical Co., Ltd. Su mecanismo de acción se basa en la unión a un grupo de inmunofilinas denominadas proteínas captadoras del tacrolimús (FKBP), que es un receptor intracelular del linfocito T. La formación de un gran complejo pentamérico, que comprende FKBP, tacrolimús, calmodulina y calcineurinas A y B, provoca la inhibición de la actividad fosfatasa de la calcineurina. Al igual que ocurre para la ciclosporina, se inhibe el mecanismo de acción de los factores de transcripción que precisan la desfosforilación para el transporte al núcleo de la célula, lo que lleva al

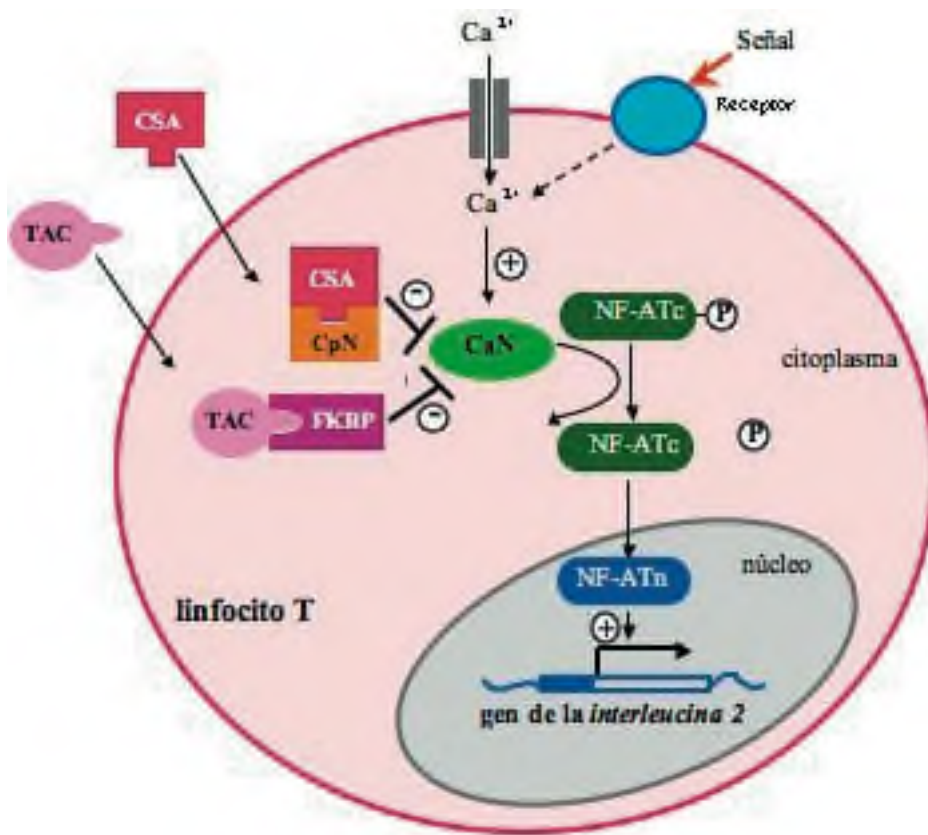


Figura 1. Mecanismo de acción de la ciclosporina y el tacrolímus. (Figura extraída y modificada de *Expert Reviews in Molecular Medicine*, 2000, Cambridge University Press)

bloqueo de la proliferación y el funcionamiento de los linfocitos T. En definitiva, el tacrolímus actuaría bloqueando el paso de la fase G_0 a G_1 del ciclo celular [McKeon F. *Cell* 66:823-826 (1991)] (véase la figura 1).

El **sirolímus** (SRL) es una lactona macrocíclica (masa molecular: 913,6 Da) producida por fermentación de ciertas cepas de *Streptomyces hygroscopicus* y descubierto en

1975, mientras que el **everolímus** (ERL) (masa molecular 957,2 Da) se obtiene por modificación química mediante la incorporación estable de la cadena 2-hidroxietil en la posición 40 de la estructura del SRL. El mecanismo molecular de actuación de estos dos fármacos inmunosupresores se basa en la unión con gran afinidad a la misma inmunofilina a la que se une el TAC: la inmunofilina FKBP. El complejo

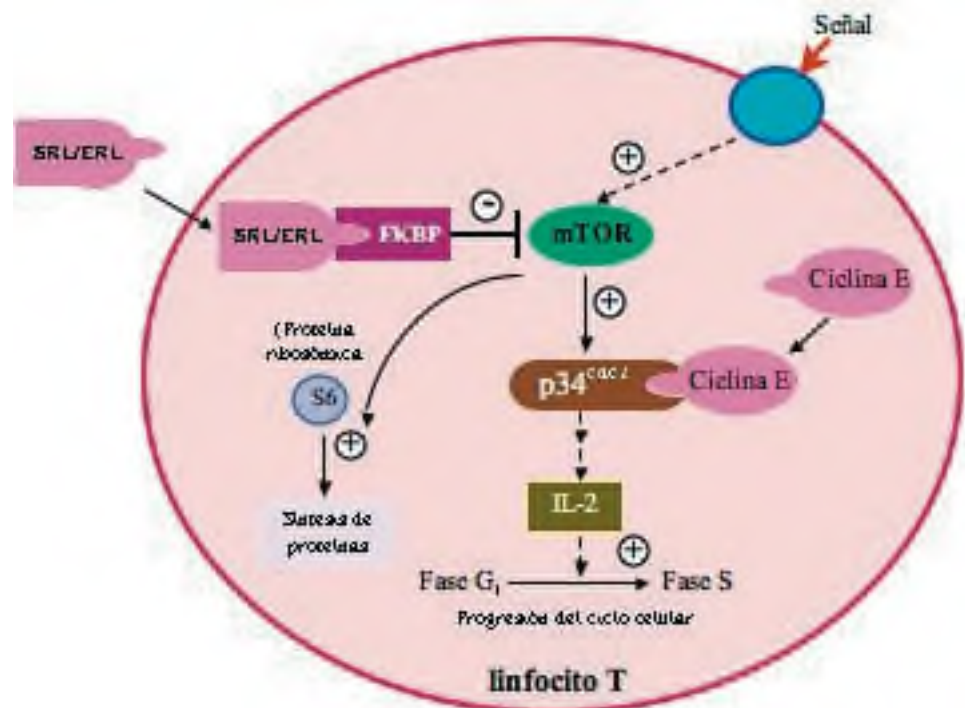


Figura 2. Mecanismo de acción del sirolímus y del everolímus. (Figura extraída y modificada de *Expert Reviews in Molecular Medicine* 2000 Cambridge University Press).

resultante interacciona en los linfocitos T con la proteína mTOR (diana de la rapamicina en los mamíferos), la cual regula la fosforilación de ciertas proteínas. Esta inhibición de la proteína mTOR tiene como resultado final la inhibición de la *IL-2*, induciéndose de este modo la supresión de la proliferación de los linfocitos-T mediante el bloqueo de la progresión de la fase G_1 a la fase S del ciclo celular [Shaw L. M. y cols. *Clin Ther* 22:B1-13 (2000)] (véase la figura 2).

En resumen, al contrario que el SRL o el ERL, que actúan bloqueando la progresión de la fase G_1 a la fase S del ciclo celular, los inhibidores de la calcineurina CSA y TAC evitan la activación de los linfocitos-T mediante la inhibición de la transición de la fase G_0 a G_1 .

En la última década, se han estudiado intensivamente estos inhibidores de señales de proliferación con propiedades antiproliferativas e inmunosupresoras potentes para determinar su eficacia a la hora de tratar el rechazo tras un trasplante de hígado, riñón, pulmón, corazón, etc., y se siguen realizando estudios clínicos para otras indicaciones. Las terapias inmunosupresoras más modernas a menudo suelen combinar los beneficios de varios inmunosupresores para crear un mecanismo de sinergia. Es el caso de las

terapias de combinación de SRL o ERL con CSA o TAC, en las que los diferentes mecanismos de acción atribuidos a estos agentes y descritos anteriormente aportan la adecuada justificación de la sinergia farmacodinámica.

Pero no todo son ventajas en el tratamiento con este tipo de inmunosupresión. Las terapias posológicas con estos fármacos pueden traer consigo, sin entrar en detalles individuales, unos efectos secundarios nada deseables sobre la inmunidad, con aumento del desarrollo de infecciones o neoplasias, y no inmunitario, como la nefrotoxicidad o aumento de los factores de riesgo cardiovascular: hipertensión, hiperlipidemia, diabetes mellitus, anemia, etc [Nefrología, vol 26, suplemento 2 (2006)]. Estos efectos secundarios suelen reducirse mediante tratamientos de combinación, aprovechando las ventajas de unos frente a otros. La combinación de estos fármacos inmunosupresores, por lo general, suele dar lugar a índices bajos de rechazo agudo, índices excelentes de supervivencia del paciente y del injerto, incidencia baja de infecciones por CMV y mejoras en los perfiles lipídicos y del funcionamiento del riñón [Shaw L. M. y cols. *Clin Ther* 22:B1-13 (2000)].

BREVE HISTORIA DE LA ECOLOGÍA (IV)

José M^a Blanco Martín

Profesor titular de Ecología. Departamento de Ecología y Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.

Una historia natural reconvertida

Incluso antes de que Tansley definiera el ecosistema, una de las ramas más poderosas de la ecología ya había brotado y, mientras yo hablaba de flujos, disipaciones y complejidades inextricables, se ha convertido en la dueña de la mayor parte de la copa ecológica. Se trata de la ecología evolutiva, un fascinante compendio de estrategias e interacciones, de reduccionismo naturalista y exquisito tratamiento matemático. Los trabajos de Lotka y Volterra iniciaron una veintena de años la conocida como «la edad de oro de la teoría ecológica»¹. Aunque sus construcciones se elaboraron sobre asunciones naturalmente idealizadas, tuvieron un éxito sin precedentes y fueron aceptadas por muchos ecólogos². La ecología se movía aún huérfana de conceptos, pero creció considerablemente a base de una acumulación de datos empíricos sin precedentes que, sin embargo, no confirmaron nunca la impronta mecanicista de estos felices años.

Posiblemente, la existencia de una sólida base de datos reales movió a la siguiente generación de ecólogos a generar sus teorías con (al menos) un pie en tierra. MacArthur³ fue uno de los artífices de un nuevo enfoque: la búsqueda de patrones en la naturaleza. Igual que los pioneros de la teoría ecológica, se sigue apoyando en la concepción de una naturaleza tallada por la competencia y la selección natural. A diferencia de éstos, no se restringe a la búsqueda

matemática de un modelo para explicar un patrón, sino que propone hipótesis alternativas —con sus respectivos mecanismos ecológicos— susceptibles de ser sometidas al contraste con la realidad⁴. La brillantez del trabajo de MacArthur dejó un poso en la ecología de comunidades, en forma de escuela de pensamiento, hilo que fue continuado por May, físico de formación, que sustituyó a MacArthur en la cátedra de zoología en Princeton, aunque desde una perspectiva mucho más teórica y preocupada por los patrones formales.

Durante esta época, la ecología de poblaciones avanzó a grandes pasos, e integró sucesivamente la utilización de la genética matemática gracias a los trabajos de Lewontin y el nuevo enfoque evolutivo de la ecología iniciado por Lack⁵ a finales de los sesenta. La aparición de las primeras computadoras provocó un estallido de creatividad en los ecólogos teóricos⁶ y con ella las primeras críticas a la forma de hacer ciencia basada en modelos de simulación⁷.

Caos, catástrofes y fractales

A finales de los sesenta, la mayor parte de los ecólogos habían desistido en la búsqueda de una estructura sencilla en la organización de la naturaleza y se decantaban por perseguir, por lo menos, patrones dentro de la evidente variabilidad y explicar éstos mediante mecanismos ecológicos refutables, siguiendo la línea de estilo marcada por MacArthur. El aumento de la capacidad de

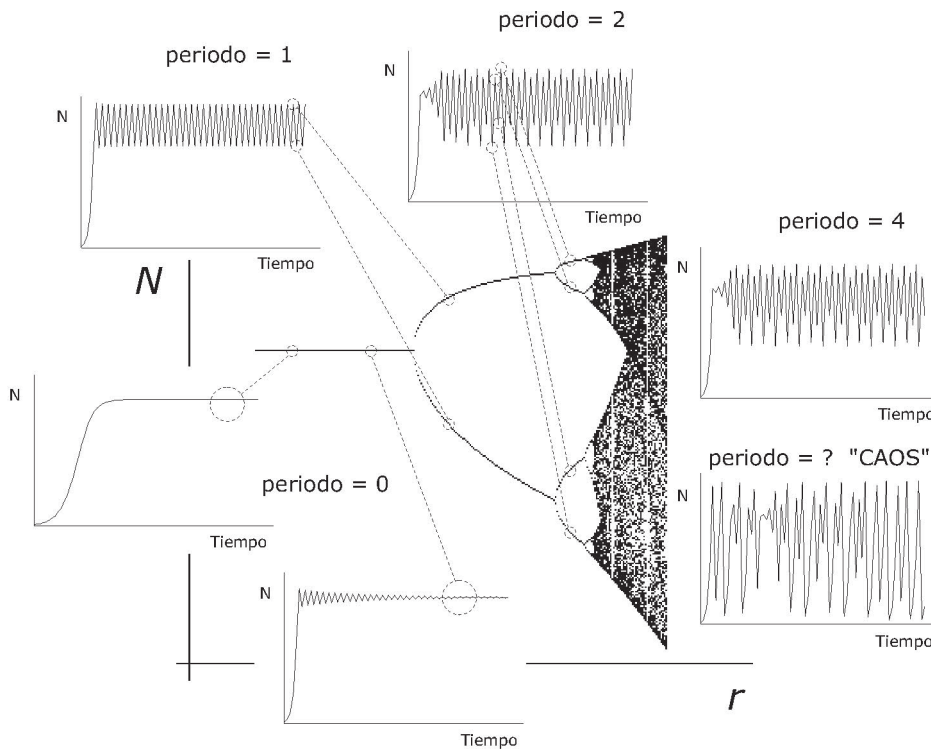


Figura 1. Transición al caos de una población de comportamiento logístico. Conforme aumenta r , el equilibrio de la población pasa a una oscilación estacionaria cuyo periodo aumenta paulatinamente hasta entrar en un régimen aparentemente aleatorio o caótico, aunque aún no se ha podido demostrar que la serie se transforme, alguna vez, en aperiódica (como la sucesión de dígitos del número π , por ejemplo).

cálculo permitió aumentar varios órdenes de magnitud la complejidad de los modelos, pero sin que aumentase proporcionalmente la utilidad de los mismos, pronosticando un negro futuro para el ecólogo exclusivamente modelador. La dinámica de poblaciones era particularmente esquiva a ser predicha por los modelos y esto era generalmente reconocido por la existencia de factores externos a la población que nunca se llegarían a comprender completamente ni a controlar exhaustivamente, sino, como mucho, analizar estadísticamente.

Ante tan desolador panorama, May experimentó con su calculadora y la ecuación logística, realimentada con sus propios resultados, y obtuvo un comportamiento sorprendente: a partir de ciertos valores de r , la teórica población pasaba de un estado de equilibrio a uno periódicamente estable y, más adelante, a uno aparentemente estocástico.

Efectivamente, a partir de un modelo sencillo surge una dinámica compleja que se asemeja a la oscilaciones que muestran las poblaciones naturales e, incluso, al desarrollo de algunos fenómenos episódicos como las epidemias. La excitación de algunos teóricos aumentó aún más al establecer un paralelismo con el flujo de energía y la aparición de estructuras ordenadas⁸.

La transición entre una situación de equilibrio (periodo uno) a una oscilación estacionaria (periodo dos) se produce de forma abrupta: en cuanto r supera cierto valor, se produce la bifurcación. Idéntica ruptura ocurre al pasar del periodo dos al cuatro, etc. Este comportamiento esquizoide aparece por muchos sitios en la biología⁹ y en otras ciencias y pronto se le buscó un término. Thom eligió el de 'catástrofe' para referirse a estos fenómenos y elaboró una teoría matemática para manejarlos. Llegó a

establecer varios tipos de catástrofes para los que eligió nombres igualmente aparentes. Por otra parte, la forma en que se bifurca el comportamiento de la población es autosimilar¹⁰, dicho de otro modo, fractal¹¹. Esto ya acabó por exacerbar definitivamente la imaginación de los teóricos de multitud de disciplinas y, en los años ochenta, florecieron por doquier comportamientos caóticos, catástrofes y todo tipo de engendros fractales. A pesar de que en raras ocasiones se encontraron aplicaciones medianamente útiles, más allá del puro delirio lúdico¹², estas teorías se esparcieron impulsadas por la aparente universalidad de su aplicación y «transdisciplinariedad». Sorprendentemente, la ecología, una ciencia de naturaleza permeable y siempre dispuesta a absorber tendencias de otras ciencias, no fue especialmente sensible a esta moda fractocaótica, tal vez porque ya estaba embazada en otro tipo de problemas, mucho más elementales e importantes.

Notas

¹ Según F. Scudo y J. R. Ziegler (1978). *The golden age of theoretical ecology: 1923–1940*. Springer Verlag. New York). La época de entreguerras, también considerada la «edad de oro de la ciencia ficción», coincide con el apogeo de la mecánica industrial antes del advenimiento de la electrónica. *Tiempos modernos* de Charles Chaplin (1936) y *Metropolis* de Fritz Lang (1926) son los extremos tragicómicos de la escenificación de una sociedad eufóricamente recién salida de una catástrofe mundial y consciente de su potencial técnico. Las ciencias de menos ficción, como la ecología, también debieron contagiarse y pensar, porqué no, en una naturaleza donde las especies actuaran como engranajes de una máquina compleja pero compuesta por simples relaciones, expectante de ser escudriñada.

² Georgii Gause fue uno de ellos. Escribió su libro *The struggle*

for existence (1934. Williams and Wilkins. New York) con sólo veinticuatro años. Esta obra se hizo muy famosa entre los ecólogos, especialmente entre aquellos que se dedicaron al análisis de la dinámica y competencia entre poblaciones, según recoge A.M. Ghilarov (2001. *The changing place of theory in 20th century ecology*. Oikos, 92).

- ³ Robert H. MacArthur fue otro de los geniales discípulos de Hutchinson aunque se desligaría tempranamente de él, tal vez por su carácter «ahistórico» (su reticencia a explicar cada caso particular mediante una recapitulación de las situaciones particulares que a él condujeron, según cuenta S.E. Kingsland en *Modeling nature: episodes in the history of population ecology*. Chicago University Press. Chicago).
- ⁴ Como la asunción de reparto aleatorio de nicho, implícita en su modelo sobre la abundancia relativa de especies similares en coexistencia, o la magnífica sencillez de los mecanismos subyacentes en la teoría de biogeografía insular, que se puede considerar como un adelanto de la teoría de metapoblaciones.
- ⁵ David Lack, un ornitólogo con raíces profundas en el naturalismo, fue uno de los más graves contrincantes de MacArthur y su escuela. En esta época, la genética de poblaciones aportó un brazo de fuerte teoría para tirar de la ecología. Incluso hubo fuego cruzado entre ambas disciplinas cuando Francisco J. Ayala sacó de su retiro a Gause al demostrar mediante un experimento que dos especies competidoras podían coexistir.
- ⁶ Sólo comparable a la explosión cámbrica originada cuando los organismos descubrieron la respiración aerobia, la profusión de modelos inundó la ecología hasta tal punto que el propio May comenta ya en 1973 que «...algunos de estos modelos se beneficiarían en extremo de la instalación de un incinerador en serie.» (en *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton University Press. Princeton).
- ⁷ De todas ellas, tal vez la más graciosa sea la de Slobodkin, defensor a ultranza del sentido biológico, que se refería en 1974 a una retahíla de teóricos recién llegados a la ecología desde otras disciplinas y a su contribución en forma de «tonterías ecológicas con certeza matemática».
- ⁸ Un aumento de equivaldría a un aumento de la intensidad del flujo de energía a través de la población, lo cual conduciría a la transición desde un estado de equilibrio K a una situación estacionaria en la que se producen patrones similares a los del capítulo anterior.
- ⁹ La propia esquizofrenia psiquiátrica, las arritmias cardíacas, el comportamiento de ciertos sistemas enzimáticos, la transmisión de señales en sinapsis neuronales y la diferenciación embrionaria son ejemplos de este comportamiento en biología. J. Gleick en *Caos* (1988. Seix Barral. Barcelona).
- ¹⁰ Por ejemplo, en la figura 1, la horquilla formada por la bifurcación desde una de las ramas de periodo 2 a las de periodo 4 es una miniatura a escala de la horquilla principal. Igual que las pulgas de las pulgas, o los holones de los holones, este tipo de analogías dispara la eferescencia mental.
- ¹¹ Este término fue inventado a finales de los sesenta por Benoit B. Mandelbrot, un matemático de la IBM de origen ruso, que encontró el conjunto de Cantor –el fractal más sencillo– estudiando la propagación de errores por las líneas telefónicas. En un alarde por seguir con las analogías, se podría establecer por aquí un nexo con la teoría de la información elaborada por Shannon, con lo cual se podría incorporar la diversidad ecológica al asunto, por si no fuese ya lo bastante psicodélico.
- ¹² Muchas revistas de divulgación científica pillaron el filón y hubo una época en la que raro era que no apareciera algún artículo sobre estos temas en *Investigación y Ciencia*, en *Mundo Científico* e, incluso, en revistas tan científicamente frívolas como *Muy Interesante*. Y para colmo, hasta se escribieron *bestsellers* sobre el asunto, como el de Gleick que he citado un poco antes. Todo esto felizmente coincidió con mi época de estudiante universitario, abierto a cualquier forma de infección teórica, y tal vez por ello le haya dedicado a estas ideas más párrafos de las que verdaderamente se merezcan.