

SUCESOS EXCEPCIONALES DE LA EVOLUCIÓN

Texto de la conferencia impartida dentro del ciclo de conferencias sobre evolución organizado por la asociación de estudiantes GEB, censurado por su abundancia de defectos formales.

Máximo Sandín

Una verdad científica no triunfa a base de convencer a sus oponentes y hacerles ver la luz, sino más bien lo contrario, porque sus oponentes eventualmente van muriendo y crece una nueva generación que está familiarizada con ella. Max Planck.

A mis estudiantes

Y a todos los estudiantes

Una estimulante confusión

Resulta paradójico que el que se dice que va a ser "el Siglo de la Biología", comience con esta disciplina sumida en una gran confusión. Desde luego, esta interpretación puede parecer infundada si hacemos caso a los que presentan los grandes logros científicos que se han obtenido como los que nos permitirán acabar con el hambre y con las enfermedades "que azotan a la Humanidad". Que pueden, entre otras muchas cosas, prolongar nuestras vidas y ayudarnos a detener la destrucción del medio ambiente. Porque la impresión que se transmite es que estos avances nos han permitido (o nos van a permitir en breve plazo) tener todos estos problemas "controlados".

Sin embargo, cuando se observan los logros reales, se puede llegar a la conclusión de que estos objetivos no sólo distan mucho de ser conseguidos, sino que en muchos casos parece haberse obtenido el efecto contrario. Los cultivos transgénicos se han mostrado como un grave peligro para los ecosistemas. Los experimentos de "terapia génica" y los xenotransplantes han sido detenidos ante la constatación de que (entre otros peligros) conducían a la muerte de los pacientes. Las supuestas clonaciones han resultado un fiasco que se pone de manifiesto en la escasa viabilidad de los (insisto: supuestos) clones. La ausencia de resultados eficaces en la investigación sobre los tratamientos del cáncer y el SIDA, que parece consistir en dar "palos de ciego" a la búsqueda de sustancias capaces de interferir en alguno de sus procesos, es evidente...

Cabe preguntarse si no existirá un factor común responsable de estos fracasos. Porque parece absurdo que se sigan produciendo cuando es evidente que disponemos de una enorme y creciente cantidad de información sobre los procesos biológicos. Pero Edgar Morin, sociólogo y filósofo interdisciplinario, nos ofrece un diagnóstico de esta situación que quizás sea conveniente tener en cuenta: *Hemos alentado a nuestros mejores cerebros a concentrarse, no en la comprensión del todo, sino en el análisis de fragmentos cada vez más pequeños. Desde esta situación, y encandilados por las nuevas tecnologías, que nos permiten disponer de gran cantidad de datos, se ha generado una crisis por exceso de información pero sin organización desde paradigmas de contextualización de elaboración conceptual, que permitan una comprensión significativa de los problemas. Nos encontramos como el personaje del cuento de Borges, Funes el memorioso. Funes, un peón de campo, sufre un accidente cuyo efecto*

es dotarlo de una capacidad de percepción y de memoria prodigiosas. Funes podía ver cada punto, cada matiz, cada nervadura, cada pequeño detalle de cada árbol. Pero lo que no podía ver era el árbol. Lo que había perdido, según Borges, era su capacidad de pensar, es decir, de organizar los datos en base a estructuras significativas. Es decir, cabe responder que ese factor común puede estar en la existencia de un auténtico “vacío” en la concepción (la interpretación) de muchos fenómenos biológicos de reciente descubrimiento y, por tanto, en la interpretación de los datos de que disponemos dentro de un contexto general. Un problema que tiene su origen en la falta de consistencia de la base teórica de la Biología, es decir, en la explicación de los fenómenos de la vida. De cómo y por qué han surgido los distintos tipos de organización animal y vegetal, de cómo se relacionan los organismos entre sí y con el entorno, o lo que es lo mismo: "La" teoría de la evolución.

La concepción reduccionista, lineal, aleatoria y, sobre todo, competitiva de las relaciones entre los seres vivos e incluso entre sus mas simples componentes, que caracteriza las explicaciones darwinistas de la Naturaleza, ha quedado desbaratada por un arrollador aluvión de datos que contradicen radicalmente esta visión. La información genética se está mostrando como resultado de un proceso mucho más complejo que la "codificación" de una proteína por "un gen", sino que es la consecuencia de la interacción entre todos los componentes del genoma (ADN, ARN y proteínas, nucleares y extranucleares) y está modulada por el ambiente. El cambio de organización morfológica se ha podido observar experimentalmente como un fenómeno simultáneo y coordinado que conduce a remodelaciones globales (es decir, no graduales ni "al azar"). Los fundamentales fenómenos de cooperación, en los que todos los elementos de un sistema biológico son imprescindibles para su funcionamiento, se han podido constatar desde el nivel molecular hasta el ecosistémico.... (Ver Sandín, 2002). Sin embargo, en los libros de texto, en los artículos científicos, en las aulas de la Universidad, se sigue hablando de alelos y frecuencias génicas, de mutaciones al azar como motor del cambio evolutivo, de hipótesis sobre la transición gradual (y también al azar) del hábitat marino al terrestre, de la competencia como modeladora de los ecosistemas...

Si recurrimos a los más prestigiosos y reconocidos teóricos de la evolución para intentar disponer de un criterio que nos permita dilucidar si estos nuevos conocimientos cuestionan totalmente o sólo en parte la teoría convencional nos encontramos, no con argumentos, sino con sentencias que tienen todo el aspecto de dogmas intocables: para Richard Dawkins, por ejemplo, *Darwin nos dijo ya básicamente todo lo que sabemos y necesitamos saber sobre la vida.* (Horgan, 1998). Es más, según Gunter Stent de la Universidad de Berkeley, *La biología evolutiva, en particular, había concluido con la publicación por parte de Darwin de “El origen de las especies”, un libro que, según Steve Jones (2003): Cuando lo lees te das cuenta de lo admirable que es la obra de Darwin. Lo terminas y dices: ya está, es verdad, todo es como lo cuenta Darwin.*

Pero la sensación de confusión que producen estas evidentes contradicciones se acentúa cuando acudimos a textos de influyentes científicos o divulgadores cuyos títulos parecen sugerir una visión crítica o heterodoxa de la teoría evolutiva “clásica” (un aparente intento de renovación) y lo que nos encontramos es una desalentadora inconsistencia, una ausencia de postura clara y una nueva variedad de contradicciones. Así. Lynn Margulis, en su libro “Una revolución en la evolución” (2002) escribe: *Las poblaciones “sin restricciones”, en terminología de Darwin, crecen más allá de sus límites. Las fuerzas ambientales cotidianas, como falta de agua, superpoblación y*

hambre, impiden la expansión indefinida de la que son capaces las poblaciones. Eso es la selección natural. Y a continuación: El lenguaje de la evolución a veces parece ofuscar más que iluminar /.../ Rechazo los términos financieros (coste-beneficio, gasto, desventaja) y los símbolos matemáticos simples (+ para la simbiosis y – para parasitismo) para reemplazarlos con descripciones más adecuadas. Nunca se ha mostrado la capacidad de la actual teoría neodarwinista para explicar los orígenes de nuevos caracteres hereditarios de la vida y nuevas especies. (Pág. 33). Sin embargo, más adelante, cuando habla de la teoría endosimbionte, afirma: La primera fusión celular, precursora de la fecundación podría haber sido consecuencia del canibalismo: un microorganismo se comió a otro sin digerirlo. (Pág. 158). A la luz de sus anteriores argumentos, resulta algo “oscuro” el carácter iluminador del término “canibalismo” para calificar la fusión de “un” microorganismo con otro diferente. Del resto de sus explicaciones cabe deducir que “ese” único microorganismo eucariota tendría una gran ventaja sobre los demás, ya que según la continuación de la historia: Al establecerse el sexo meiótico prosperó. La exhibición de contradicciones se complementa con el hecho de que, aunque las críticas y descalificaciones del neodarwinismo son una constante a lo largo del texto, Margulis se declara, una y otra vez, darwinista sin que podamos tener una idea clara de a qué darwinismo se refiere.

Otro ejemplo de inconsistencia conceptual y de conclusiones desconcertantes lo representa el libro, de sugerente título, “Deconstruyendo a Darwin” (2002) de Javier Sampedro. Una “deconstrucción” tan ligera que, más bien, parece un remozamiento. Los datos que aporta son una recopilación muy actualizada de información, especialmente sobre genética molecular y del desarrollo, así como referencias a distintos puntos de vista de científicos darwinistas sobre los procesos evolutivos. Son algunas de sus propias interpretaciones las que vamos a intentar poner en claro: *Mi fe en el darwinismo se ha disipado por las más grises, planas y aburridas razones científicas, exactamente igual que mi fe en que toda partícula infecciosa debe contener su propio ADN se disipó cuando Stanley Prusiner demostró la existencia de los priones /.../ Pese a las arraigadas convicciones darwinistas de mi juventud, he llegado a persuadirme, a base de palos propinados por la evidencia de que (al menos algunas de) las principales innovaciones biológicas de la historia de la Tierra tienen un mecanismo causal no darwinista, no explicable por la lenta acumulación de pequeñas mejoras adaptativas. (Pág.137). Una de ellas es el origen de la célula eucariota: La célula eucariota se formó por simbiosis, es decir, por la suma de tres (o más) módulos genéticos completos y previamente funcionales: tres genomas bacterianos, de hecho. Esto no quiere decir que la selección natural no exista, ni tampoco que no tuviera algún papel en aquel suceso concreto. (Pág. 138). ¿Cuál es, pues, la conclusión clara que se puede obtener entre los paréntesis y las matizaciones? Quizás la única afirmación rotunda y concreta que se puede encontrar en el texto: sus palabras finales. Para mí constituye una grandísima paradoja que buena parte del mundo científico aceptara la teoría de Darwin para todo **excepto** para la evolución de la sacrosanta mente humana, que de algún modo debía quedar a salvo de la barbarie mecanicista de la selección natural. Porque si hay algún dispositivo biológico que apesta a adaptación darwiniana por todos los poros, ése es precisamente la mente humana /.../ Nada en la consciencia humana tiene sentido si no es a la luz de la adaptación darwiniana por selección natural. Pero las indefiniciones y las contradicciones tienen una justificación final: Me complace que este libro haya resultado al final tan poco dogmático. Y ahora perdónenme, que he quedado para tocar la guitarra.*

A veces da la impresión de que está surgiendo una especie de “moda” de declararse heterodoxo, pero dentro de unos límites, es decir, una especie de “no, pero sí” que a lo que verdaderamente contribuye es al aumento de la confusión y a obstaculizar el verdadero cambio de interpretación. Y un (último) exponente de esta tendencia brilla con luz propia: El libro “Fósiles, genes y teorías. Diccionario heterodoxo de la evolución” (2003) de Jordi Agustí. La relación entre lo que se encuentra al abrir sus páginas y lo que parece indicar el título sólo es comparable a la que se encontraría en el libro “Camino” con las tapas del “Decamerón”. Una enumeración de los tópicos más “clásicos” de la evolución (algunos, incluso rancios), mezclada por orden alfabético con reseñas de científicos evolucionistas, cuyo aspecto “heterodoxo” parece ser el enmarañamiento de la exposición (Una especie de “Rayuela” de la evolución). Así, la “heterodoxa” definición de la selección natural (*El descubrimiento casi simultáneo por parte de Darwin y Wallace del concepto de selección natural como mecanismo capaz de explicar la actual diversidad de la biosfera constituye uno de los grandes logros intelectuales del pensamiento humano. Como pusieron de relieve estos autores, la evolución operaba a través de pequeñas modificaciones prácticamente imperceptibles, las cuales se iban acumulando lenta y gradualmente por efecto de la selección natural de aquellos individuos más aptos, que lograban sobrevivir y así transmitir sus características a la descendencia.*) se encuentra situada entre “Selección de especies” y “Simpson, George Gaylord”. La “Macroevolución” entre “Lyisenko, Trofim” y “Mayr, Ernst”, la “Eficacia biológica” entre “Dryopithecus” y “Eldredge, Niles”... Unos mareantes “itinerarios” en las páginas finales permiten seguir la lectura por temas, como en los libros ortodoxos. La mejor valoración de su aportación, nos la ofrece Juan Luis Arsuaga en el prefacio: *Sólo me queda por hacer un comentario final. Jordi Agustí ha procurado ser tan objetivo en el análisis de las distintas ideas y escuelas que compiten en el campo de la teoría evolutiva, en permanente ebullición, que nos quedamos sin saber qué piensa él. Nos debe otro libro.*

Lo que resulta sorprendente es que los planteamientos más contradictorios (desde los más clásicos hasta los más “revolucionarios”) y las *distintas ideas y escuelas que compiten en el campo de la teoría evolutiva* no parecen encontrar problemas en coexistir bajo el amplio y difuso manto del darwinismo, y que la indefinición (o la confusión) se califique de “objetividad” o de ausencia de “dogmatismo”.

Esta situación de auténtica crisis, tal vez produzca una sensación de desconcierto y un efecto poco estimulante para los jóvenes biólogos (y para los biólogos en ciernes) pero el resultado puede ser todo lo contrario: muy estimulante. Porque quizás éste sea el indicio de que, efectivamente, estemos comenzando “el Siglo de la Biología” pero no en el sentido de sus “crecientes aplicaciones” sino, tal vez, en el sentido inverso: en el de una comprensión cada vez mas profunda de los fenómenos biológicos y, como consecuencia, de la toma de conciencia de los peligros de interferir en ellos sin comprenderlos realmente y, por lo tanto, sin poder controlarlos. Porque lo que parece claro es que esta situación no puede prolongarse mucho tiempo, y son cada día más las voces muy cualificadas que plantean la necesidad de renovar las bases conceptuales de la Biología, lo que abre un enorme abanico de posibilidades para que los nuevos científicos, libres de la carga de inercia dogmática que soporta nuestra disciplina, tengan la oportunidad de aportar nuevas ideas que conduzcan a la elaboración de un nuevo modelo teórico más congruente con la realidad de los fenómenos naturales. El prestigioso pionero de la genética molecular, Sidney Brenner, con motivo de la secuenciación (parcial) del Genoma humano, realizó unas declaraciones en este sentido

que pueden resultar esclarecedoras: *La Biología pronto será una disciplina teórica, y su reto será reconstruir el pasado*. Por si no queda claro a qué se refiere, este otro comentario puede ser más concreto: *Los jóvenes científicos más brillantes se dedicarán a reconstruir la historia de la vida*.

La trampa del lenguaje

Pero quizás sea conveniente señalar la existencia de ciertos obstáculos en este camino que pueden llegar a convertir esta situación de crisis en crónica, porque hacen muy difícil la identificación de los errores. Los conceptos y la terminología darwinistas, con su carga consiguiente de interpretación de la realidad, están tan profundamente arraigados en el vocabulario biológico (incluso en el lenguaje coloquial) que han pasado de ser las hipótesis puramente especulativas que eran en su origen a elementos constitutivos del lenguaje científico, y son utilizados sistemáticamente para describir (interpretar) todo tipo de proceso natural, independientemente de que se considere o no el contexto evolutivo. Así, se utiliza la "competencia entre las histonas y los factores de transcripción" para referirse a la expresión génica, el "barajamiento" (es decir, el azar) para describir reordenamientos cromosómicos, la "competencia entre las células" para explicar el coordinado proceso embrionario. Se denomina "presión de selección" a las presiones ambientales, se utiliza el término "radiación adaptativa" para definir indistintamente la "explosión del Cámbrico" o la variabilidad en los grosores de los picos de los pinzones... Este fenómeno es, curiosamente, tanto más acentuado cuanto más alejados parecen encontrarse los enfoques científicos y los objetivos del estudio del contexto evolutivo. Es muy común el reconocimiento, por parte de investigadores que realizan estudios muy avanzados en distintos campos de la Biología molecular y de la Genética, de su total falta de formación (y en muchos casos, de interés) sobre la evolución. Pero lo más sorprendente es que existen científicos, que utilizan abundantemente esta terminología evolutiva, que parecen compartir la visión popular de que la evolución es sólo "un tema muy interesante", es decir, desligado del presente. Este desinterés por los procesos evolutivos resulta tan absurdo para un biólogo como sería para un químico aprender a producir compuestos y a utilizar los términos "sulfato", "reducción", "metilación"... sin tener el menor conocimiento de la tabla periódica de los elementos.

Y no parece ser éste el único problema (en sí mismo, suficientemente difícil de superar) que plantea el intento de poner un cierto orden en el caos teórico en que está sumida la Biología. Para muchos científicos parece que "no pasa nada". Porque existe una incomprensible obcecación en negarse a admitir que la creciente acumulación de información que desmiente las interpretaciones tradicionales conduce a plantearse la necesidad de un cambio de perspectiva. Una actitud totalmente contraria al espíritu científico, que tiene entre sus principios no dar nunca ningún conocimiento o teoría por definitivos y someterlos permanentemente a un análisis crítico, porque es un intento de mantener la concepción darwinista de la Naturaleza (que ha pasado a convertirse en creencia) contra todas las evidencias (tanto históricas como científicas) y de introducir los nuevos datos, por contradictorios que sean, en el modelo "clásico", aunque para ello se tenga que recurrir a la retórica más elaborada, pero menos coherente que se pueda concebir. Esta actitud está nítidamente representada en un ensayo de Antonio Calvo Roy (2002), cuyas conclusiones dan título al presente escrito: Se trata de una dura crítica al libro "La tautología darwinista y otros ensayos de Biología" de Fernando Vallejo, seguida de un elogio altamente "constructivo" del, ya mencionado,

"Deconstruyendo a Darwin" de Javier Sampedro, que finaliza así: *Con generosidad y con rigor, el periodista aborda la evolución del evolucionismo y llega hasta nuestros días para ofrecer una síntesis posible de la historia de la vida en la Tierra: Muy pocos momentos únicos de grandes saltos no darwinistas, crisis de especiaciones con cierta frecuencia, como las que propone Gould en su equilibrio puntuado, y selección natural en la mayor parte del tiempo de la vida. Nada de adaptación, sino mutaciones acertadas en una historia de constantes saltos en el vacío (jirafas de un solo golpe, camellos justo en el desierto) es, en cambio, la propuesta de Vallejo. En todo caso, dos demostraciones más de la buena salud de Darwin.* Un "diagnóstico" que se puede compartir a condición de que se admita que una perfecta salud es compatible con un "trastorno psicológico disociativo", porque convertir los hechos comprobados en excepciones y las especulaciones o creencias jamás verificadas en la norma, puede ser considerado como la construcción de una especie de realidad virtual. Porque sólo esas "pocas excepciones" son suficientes para demostrar la invalidez del modelo teórico. Pero además, si los "pocos momentos" de grandes saltos "no darwinistas" y las frecuentes "crisis de especiaciones" son precisamente los sucesos en los que se producen los cambios evolutivos (los "hechos fundamentales" de Crick), y "la mayor parte del tiempo", durante la cual lo que se observa es la "estasis" evolutiva, es cuando está actuando la selección natural, ¿cuál es exactamente su papel en la evolución?

Pero, antes de intentar responder a esta pregunta, quizás sea conveniente comenzar por preguntarnos de qué estamos hablando exactamente cuando nos referimos a "la evolución". Porque **si no se define con un mínimo de precisión el fenómeno a estudiar, corremos el riesgo de no saber qué es lo que se está buscando, e incluso de no comprender qué es lo que se ha encontrado.**

Si prescindimos de definiciones (o creencias) clásicas, y nos limitamos a describir lo que se observa en el registro fósil y en los organismos vivos, lo que encontramos a lo largo del primero, es la aparición, de una forma discontinua y repentina, de distintos tipos de organización que, a gran escala, también representan distintos niveles de complejidad (si bien lo que podemos considerar el nivel "más bajo", representado por las bacterias, es, en sí mismo, de una gran complejidad). Parece razonable admitir que un organismo eucariota unicelular (aparecidos hace unos 1400 millones de años) es más complejo que una bacteria (presentes en el registro fósil desde hace alrededor de 3600 millones de años), y que un organismo multicelular (cuya entrada en escena se data en torno a los 675 millones de años) es más complejo que uno unicelular, porque también hemos podido comprobar empíricamente que unos constituyen, sucesivamente, los componentes de los otros.

A partir de la aparición de los organismos multicelulares, lo que nos muestra el registro fósil, cada día más informativo, son grandes cambios de organización morfológica en fauna y flora, expresados en bruscas explosiones de diversidad y coincidentes, en su mayoría, con disturbios geológicos que dan inicio a los grandes períodos que han recibido sus denominaciones, fundamentalmente, por sus faunas características. (De hecho, las representaciones actuales de las filogenias animales y vegetales han renunciado a las tradicionales en forma de árbol, e incluso a las líneas discontinuas para representar las inexistentes formas intermedias. Puede comprobarse, entre otros, en <http://www.ucmp.berkeley.edu/phyla/metazoafr.html> de la Universidad de Berkeley). Las "formas de transición" entre un tipo y otro de organización que, según la concepción tradicional deberían existir "en un número inconcebiblemente grande"

(por lógica, incluso aunque el registro fuera extremadamente incompleto, deberían ser mucho más numerosas que las supuestas “formas finales”) siguen ausentes del registro fósil por más que su hallazgo haya sido el objetivo fundamental de los paleontólogos durante más de 150 años. Un objetivo que siempre ha acabado por ser sustituido por el de explicar “porqué no se encuentran”.

Es decir, **se trataría de buscar algún fenómeno que permita explicar lo que observamos, y no de intentar explicar porqué no podemos ver lo que esperamos.** Y, dado que lo que observamos resulta muy diferente a lo que cabría esperar según la concepción tradicional de la evolución, es de suponer que el fenómeno buscado también lo sea.

Para ello, abandonemos por el momento el registro fósil e intentemos dilucidar cómo se han podido producir estos cambios en los seres vivos a la luz de los nuevos conocimientos. Si las características morfológicas de un organismo se producen durante la morfogénesis, parece obvio que un cambio de morfología ha de tener lugar mediante una modificación en el proceso morfogenético. Y sabemos que éste es un fenómeno extremadamente jerarquizado e interconectado en el que unos pasos necesitan de otros previos y que los procesos embrionarios están interrelacionados de tal forma que una alteración de su curso produce un cambio “en cascada” que conduce a grandes modificaciones en el resultado final. Modificaciones que serán tanto mayores cuanto más temprana sea la fase del desarrollo en que se produzcan, por lo que un cambio en la organización general no puede producirse mediante la acumulación de pequeños cambios en variaciones superficiales “prácticamente imperceptibles”.

Por tanto, para intentar comprender cómo se ha producido la evolución lo que habrá que buscar son procesos que permitan explicar, a la vez, lo que se observa en el registro fósil y lo que se observa en los seres vivos, es decir, **fenómenos comprobables, verificables**, que tengan relación con la formación de organismos complejos a partir de otros más simples y datos o experimentos que permitan comprender cómo se pueden producir los cambios morfológicos y estructurales durante la embriogénesis.

Esto último resulta tan evidente que (¡por fin!) ha surgido un nuevo campo de investigación sobre las implicaciones del desarrollo embrionario en la evolución: la *Evo-Devo Biology*. Los datos que aportan estas investigaciones son verdaderamente impresionantes, sin embargo la, al parecer obligada, interpretación dentro de los (amplios) márgenes de la teoría ortodoxa o, al menos, de su vocabulario (los “barajamientos” de grupos de genes, la denominación de “mutaciones” a los reordenamientos o duplicaciones, la “competencia” entre las células, la “selección familiar” para explicar el origen de los organismos multicelulares...) dificulta enormemente la comprensión del significado de estos fenómenos.

Pero ni siquiera esto implica que se haya concedido al proceso embrionario su auténtico papel en la evolución (es sólo “otra” especialidad). La confusa distinción entre “microevolución” (es decir: variabilidad) y “macroevolución” (es decir: evolución), cuya supuesta continuidad “con el tiempo” se ha dado por cierta sin la existencia de la menor prueba (más bien, existen pruebas de su imposibilidad), permite otro “apartado” en las revistas y textos científicos en el que, bajo el epígrafe “Evolución” se nos habla de altruismo y egoísmo, de selección de grupo, de la competencia entre los animales o entre las plantas para “propagar sus genes”... a pesar de que estos procesos, en el caso

de que realmente existan y no sean una deformación antropocéntrica de los fenómenos naturales, no tengan la menor relación con los complejos procesos genéticos y embriológicos implicados en los cambios evolutivos. Dentro de esta situación resulta muy difícil intentar sacar a la luz los problemas de la teoría ortodoxa, ya que todo es evolución (adaptación es evolución, especiación es evolución, incluso emigración es evolución...), y la simple “demostración” de que en la Naturaleza existe algo que denominamos “competencia” es suficiente para validar la teoría oficial.

Ante este obstáculo, que dificulta cualquier intento de debate sobre la evolución porque resulta muy difícil llegar a un acuerdo, ni siquiera sobre el punto de partida, es decir, de qué se está hablando, puede ser razonable, para finalizar este largo preámbulo, recurrir a uno de los más grandes filósofos de la Ciencia, Paul Feyerabend, por si nos puede iluminar sobre el problema (y las consecuencias) de la trampa del lenguaje en que está sumida la Biología: *Llegados a este punto, podemos querer comparar, en nuestra imaginación y de manera abstracta, los resultados de la enseñanza de lenguajes diferentes que incorporan diferentes ideologías. Podemos querer cambiar conscientemente algunas de estas ideologías y adaptarlas a puntos de vista más “modernos”. Es muy difícil decir cómo cambiaría esto nuestra situación, salvo que hagamos el supuesto adicional de que la cualidad y la estructura de aquellas sensaciones que entran en el cuerpo de la ciencia, son independientes de su expresión lingüística. Dudo mucho acerca de la validez incluso aproximada de este supuesto, que puede refutarse mediante ejemplos simples. **Y estoy seguro de que nos estamos privando a nosotros mismos de nuevos y sorprendentes descubrimientos en tanto que permanecemos dentro de los límites definidos por él.*** (El subrayado es mío).

Con permiso y contra los consejos, me permito insistir...

Una objeción muy frecuente a mis intentos de poner de manifiesto los componentes culturales y sociales de la teoría darwinista es que “no es una crítica científica, sino ideológica”, lo cual resulta una obviedad (en lenguaje científico, una perogrullada), porque lo que se está analizando es precisamente una ideología. Este intento de descalificación resulta sorprendente, viniendo de creyentes en una doctrina supuestamente científica cuyos conceptos centrales, sus argumentos y su terminología son, como ha sido señalado por pensadores de la talla de Bertrand Russell, G. Bernard Shaw o Arthur Koestler, una proyección sobre la Naturaleza de los principios económicos y sociales de lo que ahora se conoce como “economía de mercado”, pero que sigue siendo lo mismo que fue desde el principio, es decir, un juego de palabras para justificar “científicamente” la explotación. (Pero parece que los prejuicios son sólo los de los otros: los prejuicios propios son “la verdad objetiva”). Quizás sea conveniente insistir en algo que también han puesto de manifiesto distintos filósofos de la Ciencia, así como brillantes científicos, pero que no parece necesario documentar porque resulta del más elemental sentido común: nadie, ningún ser humano, está libre, en la formación de su pensamiento, de las influencias recibidas de su entorno cultural y social, de su formación y de sus experiencias personales que, en definitiva, le dotan de una determinada concepción (interpretación) de la realidad, es decir, de una ideología. (En este contexto, los que se autoproclaman carentes de ideología, lo que manifiestan en realidad es su conformidad con la ideología dominante). Ningún científico (a no ser que, como Funes el memorioso, padezca de algún problema que limite la funcionalidad de su cerebro) puede pretender que sus interpretaciones estén libres de estas influencias, y sería bueno tomar conciencia de este hecho, porque si se carece de la capacidad para

reconocer un fenómeno tan evidente, difícilmente se estará capacitado para percibir otros menos obvios.

No me cansaré de insistir sobre la importancia de este fenómeno que, si subyace en todas las teorías científicas, como han puesto de manifiesto, entre otros, Max Planck o Albert Einstein para una disciplina tan aparentemente desligada del contexto social como la Física, qué no ocurrirá en el caso de la que pretende explicar las relaciones entre todos los seres vivos (especialmente los humanos), su origen e, incluso, su comportamiento. Por eso, a pesar de que estas críticas se utilizan para descalificar ("de un plumazo") la totalidad del contenido científico de los textos en que aparecen y, a pesar de que he sido apercibido por amigos y colegas de buena fe (sí, existen) de que este aspecto puede ser considerado como "el punto flaco" de mis argumentos científicos, me resisto a renunciar a dejar constancia de ello, porque estoy convencido de que si no se tiene en cuenta este hecho difícilmente se podrán identificar los problemas de interpretación de la teoría evolutiva.

Por eso mismo, no puedo dejar de admitir que mis argumentos y su terminología (integración, cooperación, coexistencia, igualdad en la "aptitud", necesidad de todos los seres vivos...) reflejan, inevitablemente, una postura ideológica opuesta a la de "la competencia", "el más apto", "el costo-beneficio", "la explotación de recursos" ... y, desde luego, poco conforme con la dominante en el Mundo. Pero, en cualquier caso, y asumiendo que todos los términos usados para describir la realidad desde distintas perspectivas *incorporan distintas ideologías*, se trataría de comprobar qué prejuicios se ajustan más adecuadamente a los fenómenos naturales.

La conclusión-confesión a que quiero llegar con esta disquisición es que, aunque en lo escrito hasta ahora y en lo que sigue a continuación he eludido y eludiré (hasta nuevo aviso) este aspecto del problema teórico (para que no "degrade" el análisis científico), quiero insistir en que considero esencial tenerlo en cuenta, y que pretender ignorarlo puede ser un error irreparable, por lo que, una vez más, quiero dejar constancia de ello.

(Hacia) un nuevo modelo teórico

La tarea de interrelacionar la ingente cantidad de información sobre los fenómenos biológicos existente en la actualidad mediante un modelo teórico que les dote de sentido y coherencia, es una labor formidable que requeriría los esfuerzos conjuntos de especialistas de todos los campos de estudio de la Biología y, seguramente, de otras disciplinas como Matemáticas, Química, Física y, posiblemente, (tal vez, especialmente) de otros ámbitos de la búsqueda del conocimiento, como la Filosofía. Pero la deriva de la investigación hacia la Biología aplicada, la creciente (e inevitable) especialización, el (evitable) carácter competitivo de la investigación y el clima general antes expuesto, no conforman una situación propicia para esta labor cooperativa (con perdón). Esto puede ser la justificación (así lo espero) del atrevimiento de intentar plantear, a título individual, las bases de un modelo alternativo (más bien, opuesto) al convencional, formulado por primera vez en 1995 y concretado en 1997 con la denominación de "**Integración de sistemas complejos**".

Puede parecer pretencioso o, incluso, candoroso el intento de plantear las bases (o el bosquejo) de "un nuevo modelo teórico", nada menos que para una ciencia con tal

cantidad de campos de estudio y tan gran cúmulo de conocimientos como es la Biología, pero he recibido recientemente la justificación (o al menos, la exculpación) mediante el hallazgo de una propuesta de Erwin Schroedinger para hacer frente al problema de la dispersión y descontextualización de los conocimientos científicos: *Yo no veo otra escapatoria frente a este dilema (si queremos que nuestro verdadero objetivo no se pierda para siempre) que la de proponer que algunos de nosotros se aventuren a emprender una tarea sintetizadora de hechos y teorías, aunque a veces tengan de ellos un conocimiento incompleto e indirecto, y aún a riesgo de engañarnos a nosotros mismos.*

Bajo esta protección moral y en la convicción de que, en el caso de resultar una interpretación errónea no sería perjudicial ya que no se puede obligar a nadie a aceptarla, me voy a permitir, una vez más, exponer a la consideración de los lectores, esta vez de un modo más explícito, sus (posibles) bases conceptuales, su (posible) significado y sus (posibles) implicaciones en la interpretación de los fenómenos biológicos. Este nuevo intento surge de la sospecha de que, a juzgar por cómo ha sido recibida esta propuesta en el entorno más próximo, con actitudes que van desde el estupor hasta la indignación, pasando por la (al parecer, mayoritaria) negación de su existencia, quizás no haya sido planteada anteriormente con suficiente claridad como (base de) modelo teórico, aunque no se pueden descartar otros motivos para su "inexistencia".

Previamente, quiero dejar constancia de dos consideraciones que pueden mitigar la sensación de falta de prudencia (o modestia) científica que puede producir en el lector el atrevimiento de plantear "una nueva propuesta teórica". En primer lugar, (y por si esto puede contribuir a que sea tenida en cuenta) que no existe por mi parte la menor pretensión de originalidad en la formulación de los "mecanismos" y procesos evolutivos. Todos han sido propuestos por distintos autores (algunos muy antiguos), rechazados en su momento y desechados en su mayoría. Lamarck, Cuvier, Goldsmith, Child, Merezhkovsky, Gould y Eldredge, Steele, Hoyle (Ver Sandín 1995, etc.) han planteado, en diferentes contextos y, en algunos casos, con diferentes significados, cada uno de los componentes fundamentales de esta propuesta. Simplemente, se ha tratado de interrelacionarlos en un contexto general a la luz de nuevos datos que les dan coherencia y, desde mi punto de vista, un significado diferente al atribuido por estos autores en sus aportaciones individuales.

En segundo lugar, soy consciente de que se trata de un punto de partida. Cuando lo planteo como "modelo" pretendo indicar que no se trata de una teoría (como, sorprendentemente, de autodenomina el darwinismo), porque una teoría científica ha de disponer de algún tipo de reglas precisas que permitan relacionar, comprender (y, por tanto, predecir) **todos** los fenómenos que pretende explicar. Desde luego, la enorme amplitud del campo de estudio y la gran cantidad de información (sorprendente) que se está obteniendo sobre la enorme complejidad de los más ínfimos procesos biológicos supera las limitaciones, no ya de una persona sino, posiblemente, de varias generaciones, lo que abre un enorme campo de posibilidades para nuevas aportaciones y, sobre todo, nuevas interpretaciones, que permitan la elaboración de una verdadera teoría científica para la Biología.

Por eso, si se me permite, animo a mis colegas (en el más amplio sentido, lo que incluye desde los estudiantes de primer curso, y sólo excluye a los que "ya se lo saben",

los cuales, lógicamente, no tienen nada que aportar) a seguir los consejos de Brenner y Schroedinger: a dudar, a criticar, a reflexionar, a proponer y a confundirse, porque seguramente es una actitud (y una actividad) más científica que la de "comulgar con ruedas de molino" o practicar la rutina y el dogmatismo de una supuesta teoría sin base real.

La “integración de sistemas complejos”

El concepto de “integración de sistemas complejos” parte de la existencia de dos hechos constatados empíricamente (dos “sucesos excepcionales”); el origen de la célula eucariota, como resultado de la agregación de bacterias, y la capacidad de los virus de insertarse en los genomas como un “paquete completo de información”, junto con la idea de que la información genética es un fenómeno de gran complejidad que implica la interacción simultánea de ADN, ARN y proteínas de una forma muy precisa, es decir, funciona como lo que Michael Behe (1999) ha denominado un “sistema irreductiblemente complejo”. Y esto último se refleja en que el más “elemental” sistema vivo (autorreproducible) sólo puede existir mediante la actividad simultánea de estos tres tipos de moléculas, a su vez de una extraordinaria complejidad, en condiciones de aislamiento del medio, es decir, protegidas por una membrana.

La aparición y ensamblamiento de todos estos componentes de una forma independiente, gradual y al azar es una especulación difícil de apoyar e imposible de demostrar que ya ha sido discutida anteriormente (Sandín, 2002), pero de lo que sí tenemos pruebas reales es de la aparición de los primeros sistemas vivos en la Tierra. La repentina presencia de las bacterias en unas condiciones que hacían imposible la vida tal como la conocemos resulta tan desconcertante para la concepción tradicional que ya se está planteando “oficialmente” la posibilidad de que su origen sea exterior a la Tierra (Ver Ball, 2001). Esta posibilidad, junto con el hecho de que las bacterias fueron las que crearon las condiciones atmosféricas necesarias para la vida que conocemos, les dota de un carácter digno de una atención y una consideración muy especial. Pero no sólo por eso. Su demostrada participación en el origen de las células de que están compuestos todos los seres vivos acentúa su carácter especial, y es el primer “salto evolutivo” producido por la integración de varios sistemas complejos en otro de mayor complejidad.

La extremada conservación de los procesos genéticos y celulares básicos de origen bacteriano en los seres vivos actuales (Gupta, 2001; Margulis, 2002) es una de las más fuertes refutaciones de la hipótesis del azar en los cambios evolutivos, pero además nos han aportado informaciones muy sugerentes sobre el origen de la vida en la Tierra: William Ford Doolittle (2000), ha estudiado el ARN ribosómico de eubacterias y arqueobacterias (o arqueas) y ha llegado a la conclusión de que no se puede hablar de un origen común en la forma tradicional de un árbol con una raíz, sino de la existencia de “una comunidad ancestral” de células primitivas. Aunque la prudencia (o los preconcepciones) parecen obligar a enunciar estas conclusiones tan significativas de una forma un tanto ambigua, parece claro lo que quiere decir: que los distintos tipos de bacterias que aparecieron en la Tierra no pudieron surgir a partir de un antecesor común, sino que tuvieron que ser diferentes desde el principio.

Esta, aparentemente extraña, posibilidad viene apoyada por una "reinterpretación" del estudio sobre el "Origen de los ecosistemas" de Ricard Guerrero, uno de los más prestigiosos expertos españoles en ecología y genética microbiana y estudioso del origen de la vida, con un argumento que parece de gran peso, aunque esté condicionado por la visión convencional de la evolución de la vida "a partir de una primera célula": *Las mutaciones que originaron cambios en el metabolismo de las primeras células causaron el establecimiento de las primeras cadenas tróficas, en las que los productos del metabolismo de unos organismos eran la fuente de nutrientes para otros, permitiendo que se produjese la ecopoyesis. /.../ Cuando la vida se originó en la Tierra, si no se hubiese producido pronto un reciclado de la materia, los seres vivos, con un metabolismo idéntico, habrían agotado todos los recursos y la vida se habría extinguido en unos 300 millones de años.* La reinterpretación consiste en cambiar la frase: *Las mutaciones que originaron cambios en el metabolismo de las primeras células*, que es una suposición, por los argumentos, basados en observaciones, de Doolittle.

Las más recientes estimaciones sobre la cantidad y la diversidad bacteriana existente arrojan cifras mareantes: unos dos millones de "especies" (ésta es una denominación discutible, como veremos más adelante) en los océanos y ¡más de cuatro millones! en una tonelada de tierra de un jardín (Curtis et al., 2002). Sólo en las aguas marinas, se ha calculado su número total en más de 3×10^{28} . El número existente en los suelos (y subsuelo) debe de ser prácticamente imposible de concebir. No parece necesario insistir en su papel fundamental para el mantenimiento de la vida: degradación de sustancias tóxicas, fijación de Nitrógeno en plantas, regeneración de suelos y aguas, participación imprescindible en los procesos digestivos (entre otros) de los animales... Su capacidad de "intercambiar información genética", potencialmente entre todos los tipos existentes, hace poco consistente sus denominaciones "específicas". En palabras de Lynn Margulis (2002): *No se puede hablar de especies bacterianas, aunque tampoco de una "única especie"*.

Todo esto (y algunas otras condiciones) convierte en absurda la consideración de las bacterias como "microorganismos patógenos" (en algunos trabajos científicos se puede leer la calificación de las bacterias como "nuestros peores competidores"). Insisto en que si realmente esa fuera su condición fundamental, tendríamos pocas posibilidades de "vencerlas". Cada día está más claro que las bacterias son un componente imprescindible de los fenómenos de la vida, y que su actividad patógena, extremadamente minoritaria en relación a su número total, se ha podido comprobar que está relacionada con la transferencia "horizontal" de genes como respuesta a agresiones ambientales.

En definitiva, si nos intentamos desprender de los tópicos "obligatorios" en la concepción de los fenómenos biológicos y reflexionamos sobre el significado de estos hechos de tanta trascendencia en el origen de la vida y en su funcionamiento actual, no se puede por menos que pensar que las bacterias son "algo especial". Su aparición en la Tierra con todos los procesos metabólicos y genéticos celulares básicos, su actividad en la creación de las condiciones adecuadas para la vida, su sistemática agregación sucesiva (resulta absurdo pensar que ocurrió "una sola vez" o "en un solo individuo" y, sobre todo, como resultado de un "canibalismo") para formar las células eucariotas con sus orgánulos, su actividad reguladora en organismos y ecosistemas... Parece poco menos que una superstición el seguir manteniendo que todos estos fenómenos son

resultado de “adaptaciones” surgidas por “mutaciones al azar” y dirigidas por la selección natural. En otras palabras, se puede llegar a la conclusión de que las bacterias **tienen esas capacidades** porque son los componentes básicos de la vida.

Pero no parecen ser los únicos. Las investigaciones (fundamentales) de Radhey Gupta (2000) y William Ford Doolittle (2000) arrojan luz (y, sobre todo, datos) sobre el siguiente “salto” en la evolución: el origen de los organismos multicelulares. El primero ha podido identificar, mediante la comparación de una gran cantidad de genomas procariotas y eucariotas secuenciados, el origen de grupos concretos de genes de eucariotas: los relacionados con la transmisión de información genética provienen de arqueobacterias; los implicados en el metabolismo celular de eubacterias. Es decir, se trata de los genes que controlan las funciones celulares básicas. Para el resto de los genes de los organismos eucariotas, como pueden ser los que controlan las funciones reguladoras y de desarrollo, y que según Doolittle *se ignora de donde pudieron haber venido* (obsérvese la terminología empleada), encuentra necesaria *la existencia de un cuarto dominio de organismos, extinguido en la actualidad, que transfirió horizontalmente al núcleo de las células eucariotas los genes responsables de estos caracteres*. La síntesis de estas consideraciones (basadas en datos reales) de dos de los más prestigiosos expertos mundiales en el origen de los eucariotas es, por una parte, la extrema conservación de los procesos biológicos básicos (es decir, que son poco susceptibles a las “mutaciones al azar”), por otra, que esta extrema conservación y especificidad de estos procesos hace muy poco probable que los genes responsables del desarrollo en los organismos multicelulares (también tan específicos) hayan podido surgir como consecuencia de mutaciones al azar en genes responsables de estas funciones básicas. Por eso Doolittle habla de la necesidad “de un cuarto dominio” que transfiriera esos genes. Actualmente, sabemos que existe en la Naturaleza algo que no es exactamente un cuarto dominio de seres vivos, que no se ha extinguido, pero que tiene la capacidad de “transferencia horizontal de genes”: Los virus.

El estudio profundo y sistemático de los genomas y las cápsidas de los virus (fagos) de las bacterias y arqueas ha llevado a Zillig y Arnold (1999) a la conclusión de un *origen polifilético* para ellos (no parece necesario traducir de nuevo estos términos). Según estos expertos, *Dado que necesitan una célula para multiplicarse, los investigadores creyeron durante mucho tiempo que los virus tenían como origen genes celulares*. Esta afirmación no parece ser muy realista, porque (en la situación de desorganización teórica de la Biología) “todavía” se puede leer en serios artículos científicos que los virus son trozos de genomas que han “escapado de las células” y que sus cápsidas proceden de la adquisición “de un gen celular (ζ) *env*”. Una interpretación basada en la doctrina del *ADN egoísta*, a todas luces absurda, desmentida por las impresionantes características de las cápsidas virales y su *motor molecular* (ver Sandín, 2002), por su posesión de polimerasas muy especiales y porque implicaría que este extraño suceso (ζ aleatorio?) habría debido de ocurrir tantos millones de veces como posibles tipos de virus existen en la Naturaleza. Porque ésta es otra información que desbarata la vieja concepción de los virus y su papel en los fenómenos naturales. Según los resultados de los estudios sobre los virus en aguas marinas (Fuhrman, 1999), los virus son las “criaturas” más diversas y numerosas de la Tierra. Sólo en las aguas marinas son de 5 a 25 veces más abundantes que las bacterias (cabe suponer que la población de los suelos será, como mínimo, proporcional). Su papel ecológico se puede considerar como la base de los ecosistemas marinos y se especifica concisamente en el resumen del trabajo de Fuhrman en la revista Nature: “Marine viruses and their

biogeochemical and ecological effects”, e incluye el control de: *ciclos de nutrientes, respiración del sistema, distribución de partículas por tamaño y tasas de precipitación, biodiversidad de bacterias y algas y distribución de especies, control de la expansión de las algas, formación de sulfuro de dimetilo* (fundamental, al parecer, para la nucleación de las nubes) y *transferencia genética*. Algunas de estas funciones también se están comprobando en ecosistemas terrestres.

Pero, al igual que las bacterias, su presencia en la Naturaleza no está sólo relacionada con su (fundamental) papel ecológico y de transferencia genética horizontal, en la que los plásmidos, también de un evidente origen viral (Sandín, 95), juegan un papel primordial en la transferencia de “genes bacterianos”. La creciente proporción de secuencias de origen viral en los genomas animales y vegetales ha llegado a su culminación con los datos y, en parte, la consiguiente “reinterpretación” de las conclusiones del informe sobre la secuenciación (extremadamente parcial, porque sólo se trata de los genes “que codifican proteínas”) del genoma humano (The Genome Sequencing Consortium, 2001). La relación de secuencias de origen bacteriano, de secuencias reconocibles como derivadas de virus, de *elementos móviles*; transposones y retrotransposones (derivados de virus y retrovirus) y de *retrovirus endógenos*, añadida a las secuencias repetidas (producidas, inevitablemente, por el proceso mediante el que los retrotransposones se mueven por el genoma, produciendo copias de sí mismos), y sumadas a las secuencias altamente repetidas como los elementos denominados *Alu*, repetidos miles de veces y considerados inicialmente ADN “basura” (es decir ADN “no codificante”) pero que recientemente han mostrado que, **como era previsible** (Sandín, 2001; 2002) *no son ADN basura inútil, sino más bien importantes componentes integrales de los genomas eucariotas* (Makalowski, 2003) y, dado que estos últimos constituyen más del 95% del genoma humano, todo esto lleva a la inevitable conclusión (ver Sandín, 2002) de que **los genomas animales y vegetales están constituidos por una suma de genomas bacterianos y virales**.

El reconocimiento de estos hechos no es una cuestión de falta de **evidencias**, porque son datos que están ahí. Es una cuestión de **interpretación**, es decir, de preconcepciones (o, si se me permite, de prejuicios). Por una parte, sobre su condición: “microorganismos patógenos” (como consecuencia de su descubrimiento a causa de su actividad de causantes de enfermedades); “competidores” nuestros (como consecuencia de la concepción, ya convertida en tradicional, de las relaciones entre los seres vivos); que “sólo buscan reproducirse” (“posiblemente”, como consecuencia de las arraigadas obsesiones culturales, inevitables de mencionar, puesto que hablamos de interpretaciones, sobre el egoísmo, el individualismo, la competencia... implícitas en la formulación del darwinismo, y que se manifiestan de un modo muy patente en la “teoría” del *Gen egoísta*). Por otra parte, y como consecuencia de lo anterior, sobre la explicación de su presencia en los genomas: “parásitos”, “ADN egoísta”, “basura”, “virus polizones”...

Desde hace mucho tiempo, y ahora cada vez más, estamos acostumbrados a oír y a leer que el ADN ha sufrido duplicaciones, transposiciones, inversiones, inserciones, deleciones (como veremos más adelante, todas ellas de gran importancia en las “remodelaciones” de los genomas). Su difusa explicación o, más bien, su “no explicación” ha sido siempre (Ayala, 1999) “otro tipo de mutación”. Hoy sabemos que son producidas por *elementos móviles*, y que se activan como respuesta a estímulos ambientales, como se ha podido comprobar experimentalmente.

En cuanto a la relación de los *elementos móviles* con los virus, no quisiera resultar reiterativo (en este caso, además, por una cuestión de aburrimiento propio) sobre las alternativas que se suelen plantear como si el que fuera una u otra la correcta no tuviera la menor importancia: que los primeros (*transposones* y *retrotransposones*) provengan de virus y retrovirus por pérdida de los genes codificadores de la cápsida o, como hemos comentado, que los virus provengan de unos *elementos móviles*, surgidos milagrosamente en los genomas gracias a su condición de “ADN egoísta”, y que hayan adquirido las sorprendentes cápsidas de “genes celulares” (¿). Aunque ésta última parece la interpretación mayoritaria, por adecuarse a la concepción “ortodoxa” de la evolución, no parece necesario insistir en la mayor consistencia lógica de la primera, y mucho más si tenemos en cuenta los datos antes expuestos.

Una vez asumida esta alternativa, que parece la más coherente con el conjunto de la información que hemos visto, se pueden afrontar otros fenómenos, cuyas “explicaciones” por parte de la teoría convencional sólo se pueden calificar de “creencias en milagros”, con una base conceptual y empírica más consistente. Por ejemplo, uno de los “sucesos excepcionales” de mayor trascendencia en la evolución de la vida animal: la “Explosión del Cámbrico”. Los genes *Hox*, implicados en el control del desarrollo embrionario de tejidos y órganos, son, como todos sabemos, **secuencias repetidas en tándem**. También sabemos que los responsables de las repeticiones en el ADN son los *retrotransposones*. Por pura lógica elemental, si estas secuencias repetidas contienen un significado biológico (**una información**), ésta debe derivar de la secuencia original que las inició. Pues bien, tenemos algunos datos que nos pueden aportar informaciones muy significativas sobre su origen y su actividad. Aunque también suene repetitivo (lo cual es explicable, dado el tema de que se trata), he de referirme, una vez más, al magnífico trabajo “Los genes del Cámbrico” de Antonio García Bellido. La forma en que los complejos de genes/proteínas, que García Bellido ha denominado *sintagmas*, controlan el desarrollo embrionario (en este caso, animal), resulta radicalmente incompatible con la vieja idea de una evolución gradual basada en mutaciones “al azar”. Existen *sintagmas* que controlan el desarrollo embrionario de, por ejemplo, ojos, patas, alas... independientemente del tipo de ojo, pata o ala, es decir, del *Phylum* al que correspondan: *Los apéndices de vertebrados y artrópodos no son estrictamente órganos homólogos pero vemos que en su morfogénesis hacen uso de genes y sintagmas conservados*. Es decir, otra vez más (Sandín, 2002), e incidiendo en lo antes expuesto, **existe una información con un significado biológico** de forma que los *sintagmas* que dirigen la producción de, por ejemplo, las extremidades, las construyen independientemente, incluso, de la capa embrionaria de que procedan el esqueleto interno o el externo de vertebrados o invertebrados. Por tanto, ni siquiera se trata de una relación directa (lineal) desde el punto de vista de su “construcción”. Tampoco me cansaré de insistir en que este descubrimiento (este hecho constatado) es uno de los de mayor trascendencia y más profundo significado de los realizados recientemente en Biología. Porque, además: *En un número creciente de casos, sintagmas casi completos están conservados en evolución*.

Pero hay algunos otros datos y algunas otras consideraciones derivadas de ellos que García Bellido plantea prudentemente en forma de preguntas, y que quizás nosotros, que no tenemos necesidad de tomar precauciones, podamos arriesgarnos a responder:

P.- *¿Sobre qué formas ha operado la selección para dar lugar a la explosión evolutiva observable?*

R.- Evidentemente, **sobre ninguna**, porque la “selección” sólo puede “seleccionar” entre lo que ya existe, y lo que existía (y de lo que, inevitablemente, derivan estas nuevas formas) antes de la aparición de patas, ojos, antenas, caparazones, paletas natatorias... eran unas microscópicas o unas extrañas formas blandas de animales de apariencia vegetativa.

P.- *Si en los apéndices de tetrápodos y los de artrópodos se usan genes y aún sintagmas homólogos, ¿Cuál era su expresión morfológica en los organismos precámbricos que no tenían apéndices visibles?*

R.- Aunque se puede inventar cualquier explicación, lo cierto es que resulta difícil de justificar la existencia, en los organismos precámbricos sin apéndices visibles, de la “expresión morfológica” de los sintagmas que contenían la información de lo que iban a ser **nuestras** extremidades.

P.- *¿Han precedido los sintagmas específicos a las formas a que dan lugar?*

R.- Hay que decir que sesudos científicos “creyentes” han llegado a la afirmación absurda de que es posible que surgieran, (por selección natural y al azar), primero, los organismos multicelulares y, posteriormente, los procesos y mecanismos que controlan y dirigen su formación y disposición, pero la respuesta es inevitablemente **sí**, porque la pregunta equivale a la siguiente: ¿Han precedido las herramientas y los fabricantes al automóvil?

En definitiva, de los datos expuestos, relacionados entre sí, y de un análisis afrontado sin las constricciones de una creencia previa sobre “cómo ha tenido que ser”, resulta más que probable (para mí evidente, pero puede ser resultado de una obcecación producida por 10 años de “dedicación exclusiva” al problema), que esta “aparición súbita” de los programas embrionarios responsables de la construcción de los organismos que, obviamente, no pueden aparecer aleatoriamente, gradualmente y menos “por partes”, tiene que ser el resultado de algún fenómeno real, existente (no de una creencia o especulación sin base material). Y éste es la existencia, ya comprobada, de una **información latente** en los sistemas genéticos de los virus. El “cuarto dominio” que aportó a los organismos eucariotas los genes/proteínas no heredados de las bacterias.

En cuanto al origen de estos dos componentes fundamentales de la vida, resulta probablemente la cuestión más espinosa de plantear en un contexto científico dominado por una mentalidad que, al parecer, encuentra preferible solventar los problemas difíciles con una supuesta “explicación” inventada, sin ningún fenómeno real que la sustente (*probablemente, surgió un “replicador”, etc.*) a asumir que existen fenómenos muy difíciles de explicar por el momento. La aparición por partes y al azar de los complejísimos componentes de la vida, no sólo es absurda matemáticamente sino imposible biológicamente. Los sistemas “irreductiblemente complejos” no pueden aparecer por partes, porque sólo existen cuando interactúan todos sus componentes. Es decir: o son o no son. Esta condición hace que, por extraño que parezca, y aparecieran donde aparecieran, ha de haber sido “de repente”.

Un argumento verdaderamente simple (por calificarlo de un modo compasivo) para descalificar la hipótesis, cada día más tenida en consideración, de que las bacterias

(y los grandes olvidados, los virus) colonizaran la Tierra desde el espacio exterior, es que “sólo cambia el problema de lugar” (de Duve), porque es radicalmente opuesto el significado de que la vida sea un fenómeno azaroso, de una probabilidad mínima (tanto que inexistente) y que se haya producido sólo en la Tierra, a que sea inherente al Universo, y se propague a través de él. La incógnita, que surge de esta posibilidad, de “cuando se formó la vida por primera vez” es un problema de difícil solución por el momento, aunque quizás no inabordable si contamos con paciencia y la ayuda de otras disciplinas científicas. Un recurso que suele resultar tranquilizador para la “mentalidad científica” porque le resta al problema el componente misterioso, es plantear la posibilidad de que la vida sea, simplemente, “un estado más de la materia”, lo cual es una obviedad, ya que la vida está hecha de materia, y que es “un paso más en la autoorganización de los sistemas complejos”. Pero, lo cierto, es que no sólo el origen de la vida es un misterio: la vida en sí es un misterio. Resulta sorprendente la naturalidad (o la ligereza) con que se suele hablar de las propiedades y actividades de las proteínas (una “simples” moléculas) que “controlan” el desarrollo embrionario o la replicación del ADN, que “revisan” y “reparan” los errores, que “transportan” las moléculas adecuadas al sitio adecuado y en el tiempo adecuado, “eliminan” o “renaturalizan” proteínas defectuosas o cómo “caminan” (literalmente) por la célula... por no hablar de su coordinación y sincronización, por miles, en los más sencillos procesos celulares. Es decir, (y pido disculpas por la “herejía”), que no sólo la complejidad de los fenómenos de la vida es un misterio, sino que parece un misterio inteligente, y precisamente por eso, es posible que algún día se pueda llegar a comprender.

Aquí, puede ser conveniente un inciso más para aclarar que el término “misterioso” no es sinónimo de “mágico” o “esotérico”. Los misterios, y no las obviedades, son el objeto de estudio de la Ciencia. No quisiera abusar de las citas de grandes científicos porque puede dar la sensación de una pretenciosa exhibición de erudición (no es este el caso, porque tengo que decir que la mayoría de éstas se pueden encontrar en Internet), pero en esta ocasión, y dada la mala fama que el término parece tener entre los científicos que dan explicaciones muy sencillas a fenómenos muy complejos, puede ser conveniente recurrir, de nuevo, al apoyo de Albert Einstein, cuyas ideas se pueden calificar de todo menos de simples: *La sensación más bella que se puede experimentar es la de lo misterioso... es la fuente del arte y de la ciencia*. Es decir, (e insisto), el que sea un fenómeno misterioso no quiere decir que sea inabordable científicamente, pero sí que no puede ser afrontado con explicaciones simplistas.

En definitiva y para concretar, la **integración de sistemas complejos** implicaría que la complejidad de los fenómenos de la vida deriva de una gran complejidad inicial de sus unidades (sistemas) constituyentes (es decir, no de “una molécula con capacidad de autorreplicación”, etc.) y que las propiedades de los sistemas que conforman la vida (célula, órgano, organismo, ecosistema) son una consecuencia de las propiedades de sus componentes (por otra parte, con procesos extremadamente conservados). Por ello, tanto la capacidad de “ajuste” de los organismos al ambiente (que conduce a “adaptaciones” de una complejidad sorprendente y de una eficacia significativamente coherente con la función a que están destinadas) como las remodelaciones e innovaciones genéticas, morfológicas, fisiológicas y ecológicas implicadas en el proceso evolutivo, son derivadas de las capacidades y de la información contenidas en estas unidades básicas: bacterias y virus.

Esto se refleja en unas relaciones entre los seres vivos y su entorno caracterizadas por un intercambio continuo de información establecida en una red que conecta el ambiente inorgánico con el orgánico, desde el nivel celular hasta el ecosistémico, y en la que no “sobra” nada (no hay “basura”). Los fenómenos fundamentales de la vida no serían azarosos (las “mutaciones” son desorganizaciones de procesos extremadamente coordinados), sino el resultado de la interacción entre estos complejos sistemas de información entre sí y con el entorno. En este contexto, los "cambios evolutivos" son el resultado de reorganizaciones en esta red de información y, en su caso, de integraciones de nuevos sistemas complejos con nueva información, como consecuencia de la ruptura del equilibrio, que se produce por medio de disturbios ambientales que afectan a los ecosistemas en su totalidad. Es decir, la evolución no es un proceso de adaptación gradual ni al azar. Es el resultado de las propiedades de los seres vivos que derivan de la información contenida en sus componentes. El vuelo (aparecido cinco veces en distintos Phyla) no es una "adaptación al aire", porque no tiene sentido que una organización animal perfectamente adaptada a la vida en el suelo (o en los árboles) consiga "pequeños cambios" por "mutaciones al azar" que le harían pasar por innumerables estados intermedios (o no, si son al azar) aberrantes y difícilmente viables que, para colmo, según la visión gradualista tendrían que tener alguna ventaja sobre sus predecesores. El cambio entre una organización y otra no puede pasar por pequeñas modificaciones superficiales, como el cambio entre la "organización" de una bicicleta y una motocicleta (por poner un ejemplo simple) no se produce por modificaciones graduales de sus piezas, sino por la adición de un sistema motor. La adaptación no es evolución, es un ajuste perfecto y sutil al ambiente, posterior al cambio (y dejo al lector la extrapolación del ejemplo de las bicicletas o las motocicletas), como una propiedad de los seres vivos, y consecuencia de su capacidad de intercambio de información.

Llegados aquí, me veo en la obligación de manifestar la (¿suicida?) conclusión (o convicción) de que la evolución **no es evolución**. La frase "Evolución por integración de sistemas complejos" encierra una flagrante contradicción. Si el cambio de organización se produce de una forma brusca (es decir, no rápida, sino repentina) por adición de un nuevo "paquete de información" o por una reorganización de las interacciones entre los existentes, el término "evolución", cuyo significado es "Acción de pasar gradualmente las cosas de un estado a otro", no tiene sentido en un proceso de bruscas remodelaciones que serían mejor descritas con el término **Transformación** (Sandín, 2002). Pero, como hemos visto anteriormente, los biólogos somos especialmente prisioneros de un lenguaje tramposo, que hemos de utilizar si queremos ser comprendidos, y la sustitución de la palabra "evolución" por "transformación" en cualquier escrito lo convertiría en objeto de eliminación sin la molestia previa de leerlo (por no hablar de los calificativos dedicados al inconsciente autor). Por ello, cuando, a partir de aquí, hablemos de evolución hemos de tener en cuenta que nos estamos refiriendo a los cambios de organización, es decir, no a adaptaciones ni a variabilidad ni a especiaciones, (desde el Carbonífero se han producido, por ejemplo, miles de especiaciones de libélulas, pero siguen siendo libélulas) que son fenómenos existentes pero no relacionados con estos cambios.

En conclusión, se trata de un modelo radicalmente opuesto al basado en el individuo, el azar y la competencia, porque, tanto los procesos implicados como su significado son claramente una antítesis de aquel. Desde luego, resulta más difícil de imaginar, de visualizar (incluido para quien esto escribe) un extraño fenómeno de

cambio brusco y simultáneo en todo un ecosistema que la visión "popular" de "la selección igual que la de los ganaderos". Pero es a donde nos llevan los datos comprobables si los limpiamos de preconceptos. Renunciar a tenerlo en consideración porque choca con arraigadas creencias y desborda nuestra capacidad de imaginación (como lo hace la Física, por ejemplo), podría resultar una actitud muy poco científica y muy perjudicial, porque en el caso de que tenga alguna validez, sería renunciar a comprender algo más lo que tenemos ante nuestros ojos.

En cualquier caso, la validez de esta propuesta, sólo podrá valorarse de una forma: En función de su congruencia con los datos y de su capacidad explicativa de los fenómenos observados.

Cuando las excepciones son la regla

Cuando se tiene el hábito (en éste caso la obsesión) de informarse sobre las investigaciones relacionadas con la "evolución" desde distintos campos de estudio, nos encontramos con una particularidad que puede pasar desapercibida si se tiene por costumbre o por obligación el centrarse en uno concreto (es la única explicación racional posible que encuentro para esta situación): Cada vez con más frecuencia, en las conclusiones de distintos trabajos de gran calidad los expertos acaban considerando que "su" caso es excepcional en la evolución. Desde el origen de la célula eucariota pasando por la repentina aparición de las tortugas o de los murciélagos, el brusco cambio de fauna en el límite K-T, hasta el origen del sistema inmunitario de los mamíferos o de los mismos mamíferos y, especialmente, en los hallazgos de actividades genéticas de retrovirus endógenos y elementos móviles (ver Sandín 1995, etc.), los distintos especialistas, a pesar de que las interpretaciones y argumentos empleados siguen la más estricta ortodoxia, acaban por admitir que "su" caso no se ajusta a lo que cabría esperar en la evolución, pero dan por supuesto que "el resto", que cae fuera de su especialidad, sí funciona según la visión tradicional. Un ejemplo llamativo es el de la "explicación" de los hechos posteriores a la "explosión del Cámbrico": García Bellido, entre las interesantes preguntas que hemos tratado de responder, hace una afirmación que resulta obvia: *La expansiva diversificación morfológica en la fauna en la base del Cámbrico ha ocurrido en animales viviendo en condiciones bióticas muy homogéneas, lo que indica que los determinantes externos han jugado un papel mínimo en esa disparidad.* Supongo que después de lo visto no será necesario traducir el significado de que **los determinantes externos** han jugado un "papel mínimo", pues bien, a partir de ahí, todo va "mejor": *Así se inició una competición morfológica y de comportamiento entre organismos, elaboraciones que han continuado y diversificado desde entonces.* Ante esta desalentadora y aparentemente, obligatoria introducción de la competencia, aunque sea "después" de los "sucesos excepcionales" y aunque no tenga la menor relación con los fenómenos que se han estudiado, sólo se puede responder como en el conocido chiste en el que avisan de que se están pegando las lentejas: "Déjalas que se maten".

Contrasentidos de este tipo son muy abundantes en trabajos que documentan unos hechos (unos datos) de extremado interés y totalmente contradictorios con la visión tradicional pero que, al parecer, a modo de "salvoconducto", han de presentar en algún lugar del texto los términos "competencia" o "selección" al menos una vez. Por ejemplo, si se comprueba la respuesta genética de un organismo a presiones ambientales a éstas se las denomina "presión de selección". Si se observa la extrema conservación de un proceso celular se justifica por la actuación de una "selección depuradora" o de la

“convergencia”, etc. Pero si se observan los datos obtenidos y se prescinde del vocabulario “oficial”, nos encontramos con que la suma de sucesos excepcionales y datos “reinterpretados” junto con la multitud de informaciones muy significativas presentadas sin ninguna referencia al contexto evolutivo constituye, no ya un número muy superior al de los que, supuestamente, se ajustan a la teoría ortodoxa, sino que son los únicos datos reales (es decir, no hipótesis o interpretaciones) que tenemos sobre los procesos “evolutivos”.

La cantidad de investigaciones que aportan informaciones de estas características se está convirtiendo en ingente y desborda, tanto las dimensiones aceptables (?) en un artículo, como la capacidad de análisis y síntesis de quien esto escribe, entre otras cosas, porque la “jerga” especializada de determinados campos de estudio dificulta, en ocasiones, la asimilación completa del texto (aunque entre esas “otras cosas” también puede mencionarse una formación “arcaica” carente de algunas terminologías y de conceptos recientes, procedentes de distintos campos, que ahora son familiares a los jóvenes biólogos). Por estos motivos, puede resultar más eficaz exponer unas breves reseñas de algunas de estas publicaciones dejando al criterio del joven lector (en el más amplio sentido) la interpretación dentro del contexto del que venimos hablando. Quiero aclarar que no se trata de un “trabajo de curso” impuesto a los alumnos (también es opcional) aunque, como dice un sabio y, sin embargo, amigo mío: *¿Qué científico que estudia la vida no es un alumno?* (Prada, 2003).

Para no resultar reiterativo (otra acusación, también reiterativa, que resulta sorprendente por venir de personas que comparten y transmiten interpretaciones que llevan repitiéndose 150 años) voy a prescindir de investigaciones extraordinariamente significativas que ya han sido expuestas en otros escritos (ver, especialmente, el artículo: “Hacia una nueva Biología”) y a limitarme a trabajos muy recientes, cuyos resultados son dignos de una profunda atención y, en su caso, reinterpretación.

Con el fin de intentar exponerlos con algún orden, comenzaremos con los trabajos paleontológicos, que presentan dos vertientes: por una parte los que documentan “sucesos excepcionales” y por otra los que explican porqué no se encuentran “formas de transición”. En el primer aspecto, el artículo: “*A Trigger for the Cambrian Explosion?*” de Richard A. Kerr en *Science* (2003) comienza así: *Sedimentos en Oman aportan evidencia de que una extinción (ocurrida) hace 542 millones de años sienta las bases para una proliferación de salvajes y maravillosas formas de vida.*

Antes del comienzo de período Cámbrico hace 542 millones de años, la vida era microscópica, vegetativa o tan rara que hoy parece de otro mundo. Entonces, en un momento geológico, una explosión evolutiva sembró el registro fósil con restos reconocibles de cada forma básica de animal que conocemos hoy. /.../ El sedimentólogo John Grotzinger del Instituto de Tecnología de Massachussets y sus colegas han reportado la más reciente evidencia de un disparador para la explosión Cámbrica: una extinción hace 542.0 millones de años, posiblemente a causa o cuando el mar profundo expulsó aguas nocivas.

En el artículo: “*Impact Ejecta Layer from the Mid-Devonian: Possible Connection to Global Mass Extinctions*” de Brooks B. Ellwood y colegas en *Science* (2003), el texto del resumen es el siguiente: *Hemos encontrado evidencia de el impacto de un bólido en la Tierra en el Devónico medio (hace unos 380 millones de años) que*

incluye altas concentraciones de cuarzo golpeado, anomalías en Ni, Cr, As, V y Co; una gran anomalía en concentración negativa de isótopo de Carbono y microesférulas y microcristas en Jebel Mech Irdane en el desierto del Antiatlas cerca de Rizan, Marruecos. Este impacto es importante porque es coincidente con una gran extinción global (Kacák/Otomari), lo que sugiere una posible relación causa-efecto entre el impacto y la extinción. El resultado represente la extinción de tanto como el 40% de todos los géneros marinos vivientes.

En “*East of Eden at the Paleocene/Eocene Boundary*” (Science, 2003), Chris Beard confiesa: *Los geólogos dividen la larga saga de la historia de la Tierra en capítulos conocidos como eras, períodos y épocas. Antes incluso de que Darwin publicase “El origen de las especies”, esos intervalos eran reconocidos sobre la base de los conjuntos fósiles distintivos que los caracterizaban. Entender cómo y por qué esos antiguos ecosistemas reemplazaron uno al otro permanece como una cuestión central para las ciencias de la tierra y de la vida.*

En la página 2062 de esta número, Bowen et al. Presentan datos que documentan el más dramático cambio biótico de los últimos 65 millones de años (la Era Cenozoica), popularmente conocida como la Edad de los Mamíferos. Esta radical remodelación de la biota de la Tierra coincidió con un breve pero intenso episodio de calentamiento global en la frontera Paleoceno/Eoceno, hace sobre 55 millones de años.

Artículos de éste tipo, que a veces y para sorpresa de los propios autores, documentan “remodelaciones radicales de la biota” relacionados con disturbios ambientales a escala global, son cada día más frecuentes, pero se complementan con la segunda vertiente: los destinados a plantear “explicaciones” para estos fenómenos: Por ejemplo, Andrew B. Smith, en el artículo “*Making the Best of a Patchy Fossil Record*”(Science, 2003), escribe: *Durante las dos décadas pasadas, la mayoría de los paleontólogos han asumido que el registro fósil, aunque incompleto, provee una representación razonablemente adecuada de los niveles de biodiversidad pasados. En su perspectiva, Smith explica que esta asunción puede no ser correcta. Subraya el informe de Crampton et al. que muestra que la diversidad de moluscos en Nueva Zelanda en los pasados 60 millones de años está correlacionada con el área de la superficie de roca expuesta. Esta desviación de la muestra debe ser considerada en estudios de biodiversidad pasada.*

Aunque existen más trabajos en ambos sentidos (algunos de ellos perdidos entre una montaña de separatas, impresiones y fotocopias, que sólo aparecerán cuando no los esté buscando), dejo a la libre voluntad del lector la interpretación de la importancia relativa de los datos aportados por estas dos vertientes de la investigación.

En lo que se refiere a los estudios que pueden aportar luz sobre los fenómenos mencionados, es decir las investigaciones sobre biología del desarrollo, la información es tan abundante (y está a disposición de quien la solicite, naturalmente, en el caso de que la encuentre en ese momento), que me veo obligado a seleccionar algunas especialmente sugerentes: En “*Developmental biology: Modular feedback*” (Science, 2002) Niehrs y Meinhardt plantean: *Para entender la señalización celular durante el desarrollo necesitamos conocer cómo redes de señalización de conjunto –no sólo sus componentes individuales- son regulados. /.../ Parecidos a “operones” bacterianos, los grupos de sinexpresión en animales son módulos genéticos en los que la función y*

expresión de diferentes genes están estrechamente correlacionados. Los grupos de sinexpresión funcionan en muchos procesos diferentes, desde la señalización celular y el ciclo de división celular hasta la secreción de proteínas. De hecho, la expresión coordinada de genes que actúan en el mismo proceso celular es un fenómeno muy extendido en animales, como se ha revelado por los clusters de expresión observados en experimentos de “microarrays” que detectan la expresión de muchos genes simultáneamente.

La integridad y coordinación del proceso de construcción de un organismo parece cada día más manifiesta: *El reloj animal está formado por una variedad de mecanismos de conteo que siguen unas reglas temporales variadas a diferentes frecuencias y, a menudo, se desarrollan en paralelo sin ninguna interacción aparente entre una y otra. El objetivo del reloj del desarrollo no es simplemente marcar el tiempo, sino integrar y unificar la miríada de señales temporales recibidas del conjunto del organismo.* (Denis Duboule. “Time for Chronomics?”. *Science*, 2003).

En cuanto a las implicaciones evolutivas de esta integridad y coordinación, se pueden encontrar en los datos (y, en su caso, la “traducción” de su terminología) de artículos como: “*Hox protein mutation (en el texto se refiere a **activación-desactivación**) and macroevolution of the insect body plan*” (Ronshaugen et al., 2002), “*Loss and recovery of wings in stick insects*” (Whiting et al., 2003), o “*Serial deletions and duplications suggest a mechanism for the collinearity of Hoxd genes in limbs*” (Kmita et al., 2002).

La complejidad de los fenómenos biológicos está mostrando unas características radicalmente opuestas a las asunciones en que se basa la visión convencional, como subrayan los autores del siguiente artículo, en el que merece la pena detenerse: “*Life’s Complexity Pyramid*” (Oltvai y Barabási, 2003). *Las células y los microorganismos tienen una impresionante capacidad para ajustar su maquinaria intracelular en respuesta a cambios en su entorno, disponibilidad de alimento y estado de desarrollo. Añadido a esto, (tienen) una sorprendente habilidad para corregir errores – combatiendo los efectos de fallos como mutaciones o plegamientos erróneos de proteínas- y hemos llegado a una cuestión fundamental en la biología celular contemporánea: nuestra necesidad de comprender la asombrosa complejidad, versatilidad y robustez de los sistemas vivientes. Aunque la biología molecular ha ofrecido muchos éxitos espectaculares, está claro que el inventario detallado de genes, proteínas y metabolitos no es suficiente para entender la complejidad celular. /.../ De acuerdo con el dogma básico de la biología molecular, El ADN es el depositario último de la complejidad biológica. De hecho, está generalmente aceptado que el almacenamiento de la información, el procesamiento de la información y la ejecución de varios programas celulares reside en distintos niveles de organización: el genoma, transcriptoma, proteoma y metaboloma de la célula. No obstante la distinción entre esos niveles organizacionales ha caído bajo el fuego. Por ejemplo, mientras la información a largo plazo está almacenada casi exclusivamente en el genoma, el proteoma es crucial para el almacenamiento de la información a corto plazo y la información controlada por factores de transcripción está fuertemente influida por el estado del metaboloma. Esta integración de diferentes niveles organizacionales nos fuerza crecientemente a ver las funciones celulares como distribuidas entre grupos de componentes heterogéneos, todos los cuales interactúan dentro de una gran red.*

Pero los dogmas (básicos o secundarios) que están “cayendo bajo el fuego” son mucho más abundantes de lo que cada especialista puede suponer. Veamos unos resultados sorprendentes: En el artículo publicado en *PNAS* de informativo título, “*Developmental regulation of intestinal angiogenesis by indigenous microbes via Paneth cells*” (Stappenbeck et al., 2002) los autores comparan el desarrollo postnatal de la microvascularización del intestino en ratones con y sin *Bacteroides thetaiotaomicron*, un prominente habitante de digestivo normal de ratón/hombre. /.../ Estos hallazgos revelan un mecanismo previamente inapreciado del desarrollo postnatal animal en el que **microbios que colonizan la superficie mucosa tienen asignada la responsabilidad para regular la elaboración de la microvascularización subyacente mediante señalización a través de sensores bacterianos de células epiteliales.** (El subrayado es mío).

Una información de extraordinario interés es la que se refiere a cómo se han constituido los distintos genomas (en su más amplio sentido) a lo largo de la historia de la vida: *La piedra angular de la teoría de la evolución de Charles Darwin es la herencia vertical de los rasgos de padres a hijos a través de sucesivas generaciones. No obstante, los biólogos moleculares evolucionistas han mostrado que una extensiva transferencia horizontal (también conocida como lateral) puede ocurrir entre especies de relación lejana. /.../ Lo que está en juego es un conocimiento fundamental de cómo evolucionó la vida y un profundo conocimiento del funcionamiento de todos los genomas, incluido el humano.* (Brown, 2003: “Ancient horizontal gene transfer”). Un conocimiento que se amplía de forma imparable: “Presentamos un análisis sistemático y objetivo de las secuencias del genoma humano para identificar regiones cromosómicas parálogas (paralogones) formadas durante la evolución de los cordados y para estimar las edades de los genes duplicados. Hemos encontrado que el genoma humano contiene muchos más paralogones que los que cabría esperar al azar. /.../ Nuestros resultados apoyan la propuesta de que muchas de las familias de genes en vertebrados se formaron o se expandieron por duplicaciones a larga escala en cordados tempranos. (McLiysaght et al., 2002: “Extensive genomic duplication during early chordate evolution”).

Además, la información genética no está sólo en los genes que codifican proteínas: “... en organismos que cubren desde plantas al hombre hay cientos de pequeños RNAs (18-25 nucleótidos) que son activamente transcritos y altamente conservados entre especies relacionadas./.../ El año pasado, dos grupos publicaron los espectaculares hallazgos de que muchas de las aparentes dianas de los microRNAs eran factores de transcripción implicados en el control de procesos de desarrollo. (Benfey, 2003: “Molecular biology: MicroRNA is here to stay). Véase también: “No Junk After all” (Makalovsky, 2003) y “Essential role of the mitochondrial apoptosis-inducing factor in programmed cell death” (Joza et al., 2001). En cuanto a la relación de la información con el ambiente, tiene distintos procesos: “La estructura de la cromatina es dinámica y ejerce un profundo control sobre la expresión de los genes y otros procesos celulares fundamentales. Los cambios en su estructura pueden ser heredados por las siguientes generaciones independientemente de la secuencia del ADN” (Felsenfeld y Groudine, 2003: “Controlling the double helix”). Otros aspectos de esta información se pueden obtener (en algunos casos, tras una “depuración” del leguaje) en artículos como: “Stress-Induced Mutagenesis in Bacteria” (Bjedov et al., 2003), o “Characteristic genome rearrangements in experimental evolution of *Saccharomyces cerevisiae*” Dunham et al., 2002).

Pero la “caída bajo el fuego” de “piedras angulares” de la teoría convencional está llegando a los conceptos más básicos y, aparentemente indiscutibles: Incluso bajo la asunción, como hemos visto, errónea, de que la información genética está sólo en “*las regiones de ADN que codifican proteínas*” el número de “genes” de un organismo se resiste a revelarse: “*Tengo que decir que no conocemos el verdadero número de genes de ningún organismo, y ciertamente, tampoco para humanos*” dice el experto en bioinformática Phil Green de la Universidad de Washington. En el artículo “*Geneticists play the numbers game in vain*” (*Nature*, 2003), se llega a la siguiente conclusión: “*Puede que no haya nunca un número final*”, predice Jean Weissenbach, director de centro de secuenciación Génoscope en Evry, Francia. Incluso algo tan basal para los conceptos y las fórmulas matemáticas de la evolución neodarwinista como es la existencia de “genes dominantes y recesivos” está siendo puesto en cuestión por estudios como “*Dosage sensitivity and the evolution of gene families in yeast*” (Rapp et al., 2003) que llegan a la conclusión de que: *Esto apoya la hipótesis de que la dominancia es un subproducto de la fisiología y el metabolismo más que el resultado de la selección para enmascarar los efectos deletéreos de las mutaciones.*

La cantidad de informaciones (de datos) que contradicen la concepción tradicional de los procesos evolutivos y de los fenómenos biológicos más básicos es abrumadora y se podría continuar indefinidamente (no huyáis, que os perseguiré) según progresan las técnicas y metodologías de estudio. Pero, para finalizar esta relación superficial pueden ser muy informativos dos trabajos que, por su carácter de revisión, aportan un análisis global que llevan necesariamente a conclusiones globales extraordinariamente significativas sobre las que quizás merezca la pena reflexionar. En la revista *TREE*, dedicada exclusivamente a los estudios sobre evolución, Robert L. Carroll, de la Universidad McGill en Canadá, publicó, en el año 2000, un artículo titulado: “*Hacia una nueva síntesis evolutiva*” en cuyo resumen plantea: *Los nuevos conceptos e informaciones de la biología molecular de desarrollo, sistemática, geología y del registro fósil de todos los grupos de organismos necesitan ser integrados en una síntesis evolutiva **expandida**.* (El subrayado es mío). Sin embargo, en el texto expone argumentos e informaciones que hacen dudar sobre si lo que se necesita realmente es una “expansión”. *Las más impactantes características de la evolución a gran escala son las extremadamente rápidas divergencias de los linajes, próximas al tiempo de su origen, seguidas de largos períodos en los que los planes corporales básicos y formas de vida se mantienen. Lo que no se encuentra son las muchas formas intermedias hipotetizadas por Darwin y las divergencias continuas de los principales linajes en el morfoespacio entre los distintos tipos adaptativos. /.../ La extremada velocidad de los cambios anatómicos y radiaciones adaptativas durante este breve período requiere explicaciones que van más allá de las propuestas para la evolución de las especies en los biota modernos.* En cuanto a la “Explosión del Cámbrico”: *Esta explosiva evolución de phyla con diversos planes corporales no es, ciertamente, explicable por extrapolación de los procesos y tasas de evolución observados en especies modernas, sino que requiere una sucesión de eventos únicos.* En estos eventos están, obviamente, implicados los genes Hox: *Más recientemente, los conocimientos sobre biología molecular han revelado cómo los genes controlan el desarrollo y cómo modificaciones en esos genes pueden resultar en cambios evolutivos de todas las magnitudes./.../ Sin embargo, hasta ahora hay relativamente poca integración de la nueva evidencia, tanto de genética molecular como de paleontología, en las publicaciones de genética de poblaciones. Esto es especialmente conspicuo en el área de genética cuantitativa, que sigue tratando los rasgos poligénicos de una manera estadística, como si fueran el*

resultado de efectos aditivos de un gran número de genes esencialmente equivalentes. En definitiva: ... para la mayor parte de la duración de la mayoría de de las especies hay relativamente poco cambio neto, incluso durante cientos de miles de años. Los relativamente raros eventos envueltos en el origen de los principales nuevos taxones o en la divergencia morfológica significativa al nivel de especies requieren mucho más que la normal consistencia de la selección direccional.

Pero una explicación a estos “eventos relativamente raros” puede estar en el magnífico artículo, exhaustivamente documentado y valientemente interpretado, publicado en *ANNUAL REVIEW OF GENETICS* (2003) por Wolf-Ekkehard Lönnig y Heinz Saedler del Instituto Max Planck. Su título, “*Chromosome rearrangements and transposable elements*” no da una idea de las interesantes cuestiones que plantea, de las que nos dan más información en el resumen: *Recientes investigaciones a gran escala han confirmado y ampliado el número de casos antiguos de elección de sitio diana (“puntos calientes” para integración de elementos transponibles), lo que implica reordenamientos cromosómicos preestablecidos más que accidentales para la recombinación no homóloga del ADN huésped. Se discute la posibilidad de una generación de biodiversidad y nuevas especies **parcialmente predeterminada**. (El subrayado es mío). La visión de bastantes expertos en el estudio de transposones sobre el, más bien abrupto, origen de nuevas especies no ha sido sintetizado dentro de la escuela paleontológica de la teoría macroevolutiva del equilibrio puntuado, a través de sus características consistentes con el registro fósil.*

Resulta difícil seleccionar algunas frases significativas, porque toda la revisión es una densa y documentada (tiene 152 referencias bibliográficas) exposición de crecientes demostraciones experimentales de las actividades de los elementos móviles y sus posibles implicaciones evolutivas, por lo que parece razonable limitarse a algunas que pueden responder las preguntas del trabajo antes citado: *Nuevos resultados sobre selección de sitio diana por transposones, es decir, sitios calientes para integración de elementos transponibles (1, 2, 11, 19, 22, 36, 42, 74, 86, 106, 112, 125, 149) (Un inciso: ¡No será por falta de datos!) combinados con la teoría del campo cromosómico, sugieren que hay un apropiado grado de canalización del curso futuro de la diversificación cromosómica, correspondiente a algo como una limitación (“constraint”) y predestinación concerniente a la biodiversidad./.../ De acuerdo con McClintock, Syvanem (137) ha señalado: “Yo creo que los transposones tienen el potencial para inducir cambios altamente complejos en un evento simple”. /.../ Particularmente a propósito aquí vienen las siguientes palabras de “un hombre tan vigoroso e influyente” (52) como el paleontólogo alemán Otto H. Schindewolf (116): “Según la teoría de Darwin, la evolución tiene lugar exclusivamente por la vía de pequeña y continua formación y modificación de especies. /.../ Nuestra experiencia, obtenida de la observación del material fósil, contradice directamente esta interpretación. Nosotros encontramos que la estructura organizadora de una Familia o un Orden no surge como el resultado de modificaciones continuas en una larga cadena de especies, sino mas bien por medio de una repentina y discontinua remodelación del complejo tipo de Familia a Familia, de Orden a Orden, de Clase a Clase. Los caracteres que cuentan para las distinciones entre especies son completamente diferentes de los que distinguen un tipo de otro”.*

El final del artículo merece una seria reflexión en el contexto de lo que hemos visto hasta ahora: *La evaluación exacta de las posibilidades y límites de las*

contribuciones mediadas por elementos transponibles al origen de las especies y especialmente de las categorías sistemáticas superiores está sólo en su estado temprano. Todavía se necesita una investigación exhaustiva en estas y otras cuestiones relacionadas. /.../ No obstante, ante el hecho de los numerosos problemas científicos todavía no resueltos en el contexto del origen de las especies y categorías sistemáticas superiores, debemos, probablemente, estar bien preparados para continuar dando la bienvenida a la plétora de diferentes y divergentes ideas e hipótesis sobre el origen de la vida en todas sus formas así como permanecer mentalmente abiertos a los resultados reales de las investigaciones, dondequiera que nos lleven.

Consideraciones finales

Es comprensible que resulte difícil de creer que tantos científicos brillantes durante tanto tiempo (150 años) hayan estado siguiendo un camino equivocado, aunque es cierto que no ha sido un caso único en la historia de la Ciencia, pero los datos, cada día más precisos, tanto del registro fósil como de los procesos biológicos están poniendo de manifiesto que la visión darwinista de la Naturaleza no es sólo una visión sesgada o incompleta, sino una deformación totalmente errónea de los fenómenos naturales basada en un hecho tan poco natural (es más, tan opuesto a lo natural) como es la selección de los ganaderos en animales domésticos (Darwin, 1859) y elaborada en una época en la que los conocimientos científicos sobre los fenómenos biológicos eran extremadamente limitados, incluso entre los científicos profesionales. Tampoco hay que olvidar que, como el mismo Darwin explica en “Sobre el origen de las especies, etc.” sus conceptos centrales “lucha por la vida” y “supervivencia del más adecuado” son una interpretación de las relaciones entre los seres vivos basada en los principios económicos y sociales de Malthus y Spencer. Pero lo que, a veces, llega a parecer desalentador es tomar conciencia de lo difícil que va a ser salir de este camino. No va a resultar sencillo desenredar la maraña de conceptos confusos o vacíos de contenido, de términos cargados de significado antropocéntrico y de asunciones, al parecer, irrenunciables, porque, como ya se ha dicho, han pasado a formar parte del vocabulario de la Biología. Este fenómeno llega a tal extremo que, incluso en trabajos como los que hemos citado, que no sólo aportan datos que arrumban con el modelo tradicional, sino que los presentan con un espíritu contradictorio con éste, se “cuelan” en sus argumentos los tópicos más radicalmente darwinistas. Un caso ilustrativo puede ser el último artículo citado, en el que Lönning y Saedler escriben la siguiente cita: *“Lo que estoy tratando de transmitir es que debido a la ausencia de conocimiento de mecanismos moleculares, la selección es empleada como una especie de remedio general por el biólogo. Cada vez que un fenómeno aparece en biología y se ignora, obviamente, su mecanismo, es invocada la selección y el problema queda resuelto. Sin embargo, más adelante concluyen: ...la elección de sitio diana también ha sido encontrada en regiones heterocromáticas y otras regiones con bajo contenido de genes o sin genes (1, 11, 103, 147) y esa clase de selectividad puede ser parte de la estrategia de supervivencia de elementos transponibles egoístas. Pueden proliferar con perjuicio mínimo para sus hospedadores y, por tanto, para ellos mismos.*

A este problema, extraordinariamente abundante en las publicaciones más recientes (y más contradictorias con la visión tradicional), se le añade el de la introducción de nuevos términos de carácter supuestamente científico, pero con un

enorme componente social, para conseguir introducir los nuevos datos en el viejo paradigma. Por ejemplo: el término "coopción" significa algo así como "aprovecharse de las capacidades o actividades de otros en beneficio propio" (no parece necesario enumerar las múltiples actividades humanas en que esto se produce de forma habitual y "legal"). Pues bien, en el artículo "*Gene Co-Option in Physiological and Morphological Evolution*", True y Carroll (2002) nos informan de que: *La coopción ocurre cuando la selección natural encuentra nuevos usos para rasgos existentes, incluyendo genes, órganos y otras estructuras corporales. /.../ Nosotros integramos esta información con recientes modelos de evolución de familias de genes para aportar un marco para entender el origen de evolución cooptiva y el mecanismo mediante el que la selección natural promueve novedades evolutivas inventando nuevos usos para el juego de herramientas genético.*

El concepto de selección natural parece haberse convertido, tras 150 años de uso, de una pura especulación (*Cuando vemos que han ocurrido indudablemente variaciones útiles para el hombre, no podemos creer improbable que ocurran en el curso de muchas generaciones sucesivas, otras variaciones útiles de algún modo a cada ser en la batalla grande y compleja por la vida.* "Origen de las especies", página 94.) en un dogma irrenunciable empleado *a modo de remedio general por el biólogo* hasta el punto de que, de ser un puro proceso mecánico y aleatorio, ha pasado a disponer del poder "mágico" de "inventar nuevos usos" de "promover novedades evolutivas" y de "explicar" *por qué los pájaros tienen alas y los peces agallas, y por qué el ojo está específicamente diseñado para ver y la mano para coger* * (Ayala,1999). Esta evidente condición de **creencia** hace pensar que, tal vez, el problema no sea de índole estrictamente científica.

* Para no tener que ampliar el debate sobre los problemas lingüísticos de la Ciencia, *agarrar* en Latinoamérica.

Algo más que un problema científico

Desde el punto de vista estrictamente teórico ya ha sido puesto de manifiesto por distintos autores, tanto científicos como filósofos o historiadores de la Ciencia, que la capacidad de mantenimiento del darwinismo contra todas las evidencias es debida a que su formulación es tan ambigua que todo cabe dentro de él. Si asumimos que los cambios son "al azar" no necesitan explicación. Si algo, por complejo que sea, existe, es porque "ha sido seleccionado" y si la selección es "la supervivencia de los que son capaces de sobrevivir", no hay nada más que entender. De hecho, esto último no es una malintencionada interpretación. Es la conclusión a que llegan los más fervientes guardianes de la ortodoxia. En el libro: "El fin de la Ciencia", John Horgan, redactor de la revista *Scientific American* expone la tesis de que el éxito del darwinismo ha sido tal que pronto no tendremos nada que investigar, y se apoya en los argumentos del, ya mencionado, Gunter Stent que afirmaba que *la biología evolutiva había concluido con la publicación del "Origen de las especies": Stent reconocía que, en principio, los biólogos podían seguir explorando fenómenos específicos y aplicando sus conocimientos sin límite de tiempo. Pero, según la teoría darwiniana, la ciencia no surge de nuestro deseo de conocer la verdad como tal, sino de nuestra compulsión a controlar nuestro entorno con fines a aumentar las probabilidades de propagación de nuestros genes.* (Esta concepción se podría, en este caso, malinterpretar, en el sentido de que lo que los grandes sabios son en realidad es unos rijosos, lo que no es cierto en

muchos casos). Cuando un determinado campo de la ciencia empieza a producir rendimientos prácticos cada vez menores, lo más probable es que los científicos se sientan menos motivados para seguir sus investigaciones y que la sociedad se muestre menos dispuesta a costearlas. De cualquier forma, interpretaciones como ésta y otras de un cariz semejante emitidas por los más prestigiosos teóricos del darwinismo (Richard Dawkins, Michael Ruse, Steve Jones, etc.), nos hacen pensar que las causas de ésta situación pueden tener unas raíces más profundas que las de una simple obcecación en una hipótesis científica errónea. Científicos como Brian Goodwin, filósofos de la Ciencia como Robert M. Young o pensadores como George Bernard Shaw o Bertrand Russell han puesto de manifiesto, desde dentro del ámbito cultural anglosajón, el gran componente etnocéntrico de la visión darwinista de la realidad (ver Sandín, 2000; 2002). Esto se refleja nítidamente en muchos de los conceptos y términos empleados para interpretar las relaciones entre los seres vivos. Términos como *the fittest*, *selfish* o *co-option* tienen un significado y una valoración muy diferente para distintas culturas. Los valores y principios basados en la competencia, el individuo, el sentido eminentemente utilitarista de la Ciencia... están tan profundamente arraigados en el mundo anglosajón (claramente hegemónico en este campo) que, inconscientemente y, al parecer, inevitablemente, forman parte de toda una concepción de la realidad de la difícilmente pueden escapar las interpretaciones “objetivas” de científicos (por muy asépticos que pretendan ser) de este entorno cultural. Y aquí, quizás sea pertinente una referencia a la especie de “integrismo” darwinista que se da en nuestro país, por el cual, científicos que, en su mayoría (¿), no se han molestado en leer “El origen de las especies”, se muestran extraordinariamente ofendidos ante cualquier intento de cuestionamiento del darwinismo. Este mimetismo, que podríamos denominar “efecto Texas”, y que llega, a veces, a extremos como afirmar que el que no es darwinista no es biólogo o que todo lo descubierto antes de Darwin puede considerarse irrelevante (e incluso a otros verdaderamente ridículos que no merece la pena mencionar), conduce a que mientras en su país de origen se está comenzando a cuestionar su capacidad explicativa, la Biología de nuestro país parece encaminarse a ser el último bastión de la vieja ortodoxia.

Otro obstáculo nada despreciable en este mismo contexto es el de los mitos sobre las “grandes figuras de nuestra civilización”. No parece muy probable que, teniendo en cuenta la actual (y parece que indefinida) situación de “nuestra civilización”, se llegue a admitir que el hombre “autor de una de las más grandes proezas de la mente humana” haya sido, en realidad, responsable (entre otras cosas) de un obstáculo en el progreso del conocimiento.

Pero quizás el refuerzo más poderoso del darwinismo (porque seguramente es inconsciente) es la proyección de la concepción de “la cruda realidad”, es decir de cómo son las cosas “sin sentimentalismos o idealismos”, o lo que es lo mismo, cómo es el sistema económico y social que se ha impuesto en el Mundo. Un sistema basado en la “libre competencia” en el que no hay sitio para los “perdedores” y en el que la omnipotente “mano invisible del mercado” es el equivalente de la poderosa y ciega selección natural.

Por último, y en este mismo contexto, no puedo dejar de mencionar la posibilidad de que “tal vez” los fuertes intereses económicos que están detrás de las empresas dedicadas a erradicar (previo pago) “las enfermedades que azotan a la Humanidad”, tengan algún papel en este problema. La explicación, apoyada por prestigiosos

especialistas, de que las peligrosas e incontrolables manipulaciones genéticas que realizan “no son más que una aceleración de los procesos (aleatorios) que han tenido lugar en la Naturaleza” necesita de una reafirmación (y popularización) de los conceptos darvinistas.

Pero el problema de índole “no estrictamente científica” va más allá de una interpretación deformada de la realidad. Las aplicaciones prácticas de toda esta concepción basada en creencias, ya descartadas, como que la información genética está sólo en el núcleo celular, que los caracteres (de cualquier tipo) están directamente determinados por “los genes” independientemente de factores ambientales y de su relación con el resto del genoma, que los cambios genéticos se producen “al azar”, que los virus endógenos y los elementos móviles son esencialmente “parásitos” o “basura”, etc., pueden convertir (de hecho ya está ocurriendo) las manipulaciones de muchos de estos procesos biológicos en un verdadero peligro de consecuencias imprevisibles.

En anteriores trabajos (Sandín, 95, 97, etc.) ya he expuesto, reiteradamente, (en éste caso lo admito) algunos de estos posibles peligros así como una reinterpretación del origen de problemas como los planteados por el SIDA o el cáncer, pero, dado el especial carácter de este escrito y los lectores a los que va, fundamentalmente, dirigido, creo preferible dejar al lector la valoración de su congruencia con el modelo planteado aquí, así como el análisis de su posible relación con los problemas originados por estas prácticas, un análisis que tal vez pueda dar respuesta a algunas preguntas:

1.- ¿Son las “clonaciones”, basadas en la transferencia de un núcleo celular a un citoplasma ajeno, reales?

2.- ¿Existen garantías de que la introducción de una secuencia génica procedente de un determinado organismo en el genoma de un organismo diferente produzca en éste el mismo efecto que en el primero?

3.- Si tenemos en cuenta la relación “evolutiva” de los virus (y sus derivados, los elementos móviles) con las secuencias relacionadas con el control del desarrollo embrionario ¿no podrían ser los llamados “oncogenes” secuencias de origen viral implicadas en la proliferación celular y activadas en un momento inadecuado por agresiones ambientales?

4.- En este mismo contexto, ¿serían las partículas virales emitidas por tumores las verdaderas causantes de las metástasis y no células “malignizadas”?

5.- ¿Son los virus “asociados” a enfermedades autoinmunes como la artritis causa (como se dice) o consecuencia de estas enfermedades?

6.- ¿No será mayor el riesgo de los xenotransplantes si se consigue superar el “rechazo hiperagudo” que lleva a la rápida muerte de los pacientes, de forma que se haga posible que los virus endógenos animales y humanos puedan activarse e incluso, hibridarse, produciendo algún tipo de virus incontrolable?

7.- ¿No será un proceso de éste tipo, es decir, la introducción en el sistema circulatorio humano de vacunas elaboradas con sangre entera de macaco y chimpancé, y la hibridación de sus virus endógenos el origen de los virus (por cierto, híbridos) del

SIDA, y no el hábito (milenario) de los africanos de comer mono, como nos quieren convencer los expertos?

8.- ¿No serán los linfocitos el lugar donde se expresan los retrovirus endógenos responsables de la inmunodepresión (como en el caso de las mujeres embarazadas) y no el supuesto “refugio” de los virus ante el tratamiento del SIDA?

9.- ¿No serán los tratamientos con antirretrovirales las causas de las muertes de los “seropositivos” por afectar órganos donde se expresan normalmente distintos retrovirus endógenos?

10.- ¿Son todos los “seropositivos” enfermos de SIDA?

11.- ¿No pueden ser las muertes por leucemia o los supuestos “contagios” de SIDA de los pacientes sometidos a “terapia génica” resultado de la malignización o hibridación de virus endógenos como consecuencia de los vectores virales utilizados?

12.- ¿Son los virus “emergentes” peligrosos microorganismos “agazapados esperando su oportunidad para encontrar organismos donde expandirse” o son virus malignizados por algún tipo de agresión ambiental entre las que se pueden encontrar “experimentos científicos”?

13.- ¿Son las “fugas” de los genes modificados de las plantas transgénicas resultado sólo de la polinización cruzada o puede ser consecuencia de la transferencia horizontal (produciendo una “contaminación biológica” permanente) a causa de los vectores utilizados?

14.- ¿Será posible, como se afirma, prolongar la vida humana encontrando “los genes de la longevidad” o “limpiando los genomas de basura”?

15.- Y finalmente, ¿Son realmente necesarias estas prácticas de manipulación genética cuando los expertos más cualificados afirman que estamos muy lejos de conocer (y mucho menos controlar) los procesos implicados?

En definitiva, si guardianes de la ortodoxia como los citados están convencidos de que “ya no queda prácticamente nada por investigar” deberían actuar en consecuencia o, al menos, no impedir que se planteen otras alternativas a su “credo”, porque lo que parece claro, a juzgar por los nuevos datos que hemos visto, es que no sólo queda mucho por comprender, sino que los nuevos científicos tienen por delante el enorme trabajo de rehacer la Biología desde su base, y ese no es un trabajo para científicos cargados de “verdades indiscutibles”.

No comparto literalmente la cita de Max Planck que encabeza este escrito, porque no estoy seguro de que existan (al menos en Biología) verdades científicas absolutas, pero sí su significado. Sería muy poco estimulante que el camino de los nuevos científicos se limitase a seguir una senda marcada, pero no es este el caso. Tenéis mucho por hacer y mucho por aportar, así que, enhorabuena y adelante.

BIBLIOGRAFÍA

AGUSTÍ, J. (2003). Fósiles, genes y teorías. Diccionario heterodoxo de la evolución. Tusquets Editores. Barcelona.

AYALA, F. J. (1999). La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética. Temas de hoy. Madrid.

BEARD, C. (2002). East of Eden at the Paleocene/Eocene Boundary. *Science* 295 N° 5562: 2028-2029.

BEHE, M. J. (1999). La caja negra de Darwin. El reto de la bioquímica a la evolución. Editorial Andrés Bello. Barcelona.

BENFEY, P. N. (2003). Molecular biology: MicroRNA is here to stay. *Nature* 425: 244-245.

BJEDOV, I. et al. (2003). Stress-Induced Mutagenesis in Bacteria. *Science*. 300: 1404-1409.

BROWN, J. R. (2003). Ancient horizontal gene transfer. *Nat. Rev. Genet.* 4(2): 121-132.

CARROLL, R. L. (2000). Towards a new evolutionary synthesis. *TREE*, Vol. 15, N° 1:27-32.

CRAMPTON, J. S. et al. (2003). Estimating the Rock Volume Bias in Paleodiversity Studies. *Science* 301 N° 5631 : 358.360.

DARWIN, Ch. R. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. Versión española: *El origen de las especies*. Akal. 1998. (Se ruega encarecidamente su lectura. Presto el libro).

DAWKINS, R. (1993). *El gen egoísta*. Biblioteca científica Salvat.

DOOLITTLE, W. F. (2000). Nuevo árbol de la vida. *Investigación y Ciencia*. Abril. 26-32.

DUBOULE, D. (2003). Time for Chronomics? *Science* 301: 336-338.

DUNHAM, M. J. et al. (2002). Characteristic genome rearrangements in experimental evolution of *Saccharomyces cerevisiae*. *PNAS Online*, 99 (25): 16144

ELLWOOD, B. B. (2003). Impact Ejecta Layer from the Mid-Devonian: Possible Connection to Global Mass Extinctions. *Science Online* 300 (5626): 1734.

FEYERABEND, P. K. (1989). *Contra el método*. Ariel. Barcelona.

FUHRMAN, J. A. (1999). Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects. *Nature*, 399: 415-417.

GARCÍA BELLIDO, A. (1999). Los genes del Cámbrico. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp). Vol. 93, N° 4: 511-528.

GU, X. et al. (2002). Age distribution of human gene families shows significant roles of both large and small-scale duplications in vertebrate evolution. Nature Genetics Vol. 32 N° 2: 205-209.

GUPTA, R. S. (2000). The natural evolutionary relationships among prokaryotes. Crit. Rev. Microbiol. 26: 111-131.

JOZA, N. et al. (2001). Essential role of the mitochondrial apoptosis-inducing factor in programmed cell death. Nature 410, 549-554.

KERR, R. (2002). A Trigger for the Cambrian Explosion?. Science 298, 5598: 1547

KMITA, M. Et al. (2002). Serial deletions and duplications suggest a mechanism for the collinearity of *Hoxd* genes in limbs. Nature 420: 145-150.

LÖNNIG, W. H. y SAEDLER, H. (2003). Chromosome Rearrangements and Transposable Elements. Annual Review of Genetics, 36(1): 389.

MAKALOWSKY, W. (2003). Not Junk Alter All. Science Vol 300: 1246-1247.

MARGULIS, L. (2002). Una revolució en la evolució. Col·lecció Honoris Causa. Universitat de València.

MATTICK, J. S. y GAGEN, M. J. (2001). The Evolution of Controlled Multitasked Gene Networks: The Role of Introns and Other Noncoding RNAs IN THE Development of Complex Organisms. Molecular Biology and Evolution 18: 1611-1630.

McLYSAGHT, A. et al. (2002). Extensive genomic duplication during early chordate evolution. Nature Genetics Vol. 31 N° 2: 200-204.

MORIN, E. (2002). Articuler les savoirs. Ministère de l'Éducation Nationale, de la Recherche et de la Technologie de France.

NIEHRS, C. and MEINHARDT, H. (2002). Developmental biology: Modular feedback. Nature 417: 35-36.

OLTVAI, Z. N. y BARABÁSI, A. L. (2002). Life's Complexity Pyramid. SCIENCE, 298, 5594: 763-764.

PEARSON, H. (2003). Geneticists play the number game in vain. Nature 423, 576.

RAPP, B. et al. (2003). Dosage sensitivity and the evolution of gene families in yeast. Nature 424: 194-197.

RONSHAUGEN, M. et al. (2002). Hox protein mutation and macroevolution of the insect body plan. Nature AOP.

SANDÍN, M. (1995). Lamarck y los mensajeros. La función de los virus en la evolución. Editorial Istmo. Madrid.

SANDÍN, M. (1997). Teoría sintética: Crisis y revolución. *Arbor*, CLVIII, 623-624: 269-303.

SANDÍN, M. (1998). La función de los virus en la evolución. *Bol. R. Soc. Hist. Nat. (Actas)*. 95: 17-22.

SANDÍN, M. (2000). Sobre una redundancia: El darwinismo social. *Asclepio*. Vol. LII, 2: 27-50

SANDÍN, M. (2001). Las “sorpresas” del genoma. *Bol. R. Soc. Hist. Nat. (Sec. Biol.)*, 96 (3-4), 345-352.

SANDÍN, M. (2002 a). Hacia una nueva Biología. *Arbor*, CLXXII, 677: 167-218.

SANDÍN, M. (2002 b). Una nueva biología para una nueva sociedad. *Política y Sociedad (UCM)*. Vol. 39, Nº 3: 537-573.

SAMPEDRO, J. (2002). Deconstruyendo a Darwin. Los enigmas de la evolución a la luz de la nueva genética. *Drakontos*. Barcelona.

STAPPENBECK, T. et al. (2002). Developmental regulation of intestinal angiogenesis by indigenous microbes via Paneth cells. *PNAS*, Vol. 99 Nº 24: 15451-15455.

THE GENOME SEQUENCING CONSORTIUM. (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. *Nature*, 409: 860-921.

TRUE, J. R. y CARROLL, S. B. (2002). Gene Co-Option in Physiological and Morphological Evolution. *ANNU. Rev. Cell. Dev. Biol.*, 18: 53-80.

WHITFIELD, J. (2002). More bugs in garden than ocean. *Nature science update*. (sep. 15)

WHITING, M.F. et al. (2003). Loss and recovery of wings in stick insects. *Nature* 421:264-267.