

## UNA PRINCESA MEDIEVAL Y OTRAS CUESTIONES DE BIOLOGÍA

Emilio Cervantes  
*IRNASA-CSIC*

**ABSTRACT:** *Departing from the history of Princess Christin, that came in 1250 from Norway to Spain to marry the king Alphonse X, an original view is depicted of knowledge in general, as well as for some aspects of biology that are related with history. The first chapters contain reflections about time and try to show the importance that has, for biology, the way of understanding and interpreting it. Follow two chapters about knowledge: What is it and how it is acquired. The next chapters are about diiverse aspectps of biology: Its history, the relative importance of observation and experimentation, and its relationships with linguistics, psychology and pedagogy. The last chapter, entitled: «Biology and Philosophy. Perspectives» has been written with the aim to search the approach between both disciplines that becomes today, needed.*

**KEY WORDS:** *Biology, History, interdisciplinarity, knowledge, Philosophy, species, time.*

## A MIDDLE AGE PRINCESS AND OTHER QUESTIONS RELATED TO BIOLOGY

**RESUMEN:** Partiendo de la historia de la princesa Cristina, que vino hacia 1250 de Noruega a España para casarse con el rey Alfonso X se plantea una visión original del conocimiento en general y, en particular, de aspectos de la biología que tienen mucho en común con la historia. Los primeros capítulos contienen reflexiones acerca del tiempo y la importancia que tiene, en biología, el modo de verlo e interpretarlo. Siguen unos capítulos acerca del conocimiento, qué es y cómo es adquirido. A continuación capítulos sobre diversos aspectos de la biología: su historia, la importancia relativa de la observación y de la experimentación, sus relaciones con la lingüística, la psicología y la pedagogía. El capítulo final, titulado: «Biología y Filosofía. Perspectivas» se ha escrito con la intención de buscar un acercamiento entre ambas disciplinas que es hoy en día necesario.

**PALABRAS CLAVE:** Biología, conocimiento, especie, Filosofía, Historia, interdisciplinariedad, tiempo.

*Tan ineptas me parecieron esas ideas, tan pomposa y vasta su exposición, que las relacioné inmediatamente con la literatura; le dije que por qué no las escribía. Previsiblemente respondió que ya lo había hechos: esos conceptos y otros no menos novedosos, figuraban en el Canto Augural, Canto Prologal o simplemente Canto-Prólogo de un poema en el que trabajaba hacía muchos años, sin réclame, sin bullanga ensordecedora, siempre apoyado en esos dos báculos que se llaman el trabajo y la soledad.*

Borges. *El Aleph*.

### PRESENTACIÓN

Cuenta la historia que una princesa llamada Cristina, que era hija del rey Haakon Haakonson de Noruega, vino hacia 1250 a España para casarse con el rey Alfonso X "El Sabio", quien, hasta entonces, no había tenido descendencia del matrimonio con su esposa Violante. Por un giro de la fortuna, feliz para Violante pero lamentable para Cristina, a su llegada a Castilla, la princesa encontró a Violante embarazada y no pudo entonces casarse con Alfonso. Aconsejada por éste, se casó en su lugar con su hermano, el infante Felipe. Al igual que su hermano Alfonso, Felipe era hijo del matrimonio de Fernando III "El Santo" con la emperatriz de Suavia, pero, a diferencia de su hermano, había vivido en la

infancia bajo la tutela de su abuela doña Berenguela, quien le orientó hacia la carrera religiosa. A los doce años, Felipe había sido canónigo de Toledo y a los dieciséis, abad en la colegiata de Valladolid. Con diecisiete años, fue a París a oír, en compañía de Santo Tomás de Aquino, las lecciones de San Alberto Magno. En 1248, Felipe fue nombrado abad de Covarrubias. Su carrera eclesiástica fue truncada por su matrimonio con Cristina en Valladolid el 31 de marzo de 1258. Su matrimonio duró poco, porque a los cuatro años, Cristina murió en Sevilla. Fue enterrada en Covarrubias. Hoy, casi setecientos cincuenta años después, una escultura en bronce situada a la entrada de la Colegiata de Covarrubias recuerda a la princesa Cristina y su paso por esta ciudad (Figura 1).

Figura 1. Covarrubias. Alrededores de La Colegiata con el monumento dedicado a la Princesa Cristina.



Si comenzamos un texto que trata acerca de Biología contando esta historia, es por algo. Puede que haya una o varias razones pero parecería imposible que no hubiese un motivo para comenzar así el relato, porque si así fuese, el editor lo habría rechazado por ser, al menos en su principio, algo sin sentido. Pienso que hay múltiples razones para incluir esta historia al principio del libro e inmediatamente explicaré algunas de ellas; otras aparecerán como evidentes a medida que se avanza en su lectura. Otra serie de razones, desconocidas por mí, podrán ser descubiertas por algún lector afortunado que las verá con más claridad que yo mismo al leer las páginas que siguen. Finalmente, podría existir, tal vez sí o tal vez no, otro grupo de razones que permaneciesen ocultas en la noche de los tiempos y nunca nadie llegaría a conocer,...

Un aspecto muy general de la vida es que todas las cosas se pueden explicar de diferentes maneras, pueden tener distintos motivos. Entre todos los conjuntos de motivos, razones o causas para escribir la historia del comienzo de este libro los hay conocidos y desconocidos. Si yo pregunto al lector cuáles prefiere conocer de entre ellos, tal vez responderá que los desconocidos pueden ser los más interesantes. Conocer algo que nadie sabe es más interesante que conocer algo que todo el mundo sabe. Desafortunadamente, yo no puedo explicar motivos que desconozco, pero puedo imaginar, al menos, que existen. El ser humano tiene una fuerte atracción por lo desconocido.

A veces lo llamamos "el misterio". El misterio es algo que, siendo desconocido, tiene además un interés particular que reconocemos pero que somos incapaces de definir.

Aprendemos cada vez nuevas cosas con lo cual hacemos crecer el conjunto de cosas conocidas. No obstante, sabemos que lo que llegamos a conocer es limitado y que hay cosas que nunca sabremos. El conocimiento es una de las capacidades humanas y la naturaleza humana es parte de la naturaleza; por lo tanto, parece razonable que el conocimiento no pueda ser capaz de dar una explicación total de la naturaleza. Pero, por otra parte, el conocimiento es el resultado de la evolución natural y, por tanto, puede contener claves o elementos que den una información muy valiosa acerca de la esencia de la naturaleza y su evolución. Parece haber una contradicción interna, un misterio, en la base del conocimiento. El misterio siempre ha fascinado al ser humano y una buena parte de sus esfuerzos se ha dirigido a reducir los límites de lo desconocido, a limitar el misterio. La respuesta de la naturaleza a este esfuerzo humano a menudo parece clara: Cuanto más intentamos acotar el misterio, más nos damos cuenta de lo grande que es la cantidad de cosas misteriosas y desconocidas en la naturaleza que permanecen sin ser descubiertas. Ni tan siquiera sabemos si lo desconocido aumenta o disminuye cuando nuestro conocimiento aumenta y muchas veces la sensación que sigue a nuestro esfuerzo es la de ignorancia y desnudez. Lo que sabemos nos parece peque-

ño y sin importancia mientras que lo que desconocemos incluye muchas cosas, probablemente de la mayor relevancia. Históricamente, una mayor sabiduría implica un mayor reconocimiento de la ignorancia y, por ello, no es sorprendente que el gran filósofo griego Sócrates, uno de los hombres reconocidos como más sabios en la Historia declarase: "Sólo sé que no sé nada". La sabiduría que le llevó a proclamar esta frase hizo también que su nombre permaneciese a lo largo de la historia.

Los personajes y los acontecimientos históricos son el objeto de estudio de la Historia, mientras que los seres vivos lo son de la Biología. El conocimiento es el objeto de la Filosofía, que es la más antigua de las tres disciplinas mencionadas y, de alguna manera, la más amplia. Pero sus objetos parecen comportarse de manera similar: Los nombres de algunas personas permanecen en la Historia, otros no. Algunas estructuras vitales permanecen, otras no. Algún conocimiento permanece, otros no... La cuestión es: ¿Por qué? ¿Existen en la naturaleza reglas que gobiernen estos procesos? En el principio todo el conocimiento tiene un origen común: La curiosidad humana y la capacidad de hacer preguntas. Al principio, la naturaleza era el objeto de la Filosofía y la Filosofía intentaba contestar preguntas generales.

El premio Nobel Sydney Brenner dijo una vez que la Biología pronto será una disciplina teórica y su reto será reconstruir el pasado. Estoy de acuerdo con esta opinión y la encuentro muy interesante; pero, de ser cierta, la Biología difiere en poco de la Historia y ambas dependen de la Filosofía. Ambas disciplinas, Historia y Biología, estudian el efecto del tiempo en los seres vivos. Ahora hemos identificado ya una de las razones para comenzar este libro con una cita histórica. El relato incluido al principio de estas páginas es parte de nuestro conocimiento. Si lo analizamos, veremos que está escrito con elementos (personas, gente como nosotros) que vivieron en el pasado. Vivieron una vez y murieron dejando tras de sí sus nombres y sus relaciones con otros elementos de la Historia. Su relato les ha sobrevivido y ha aguantado el transcurso del tiempo. Esto es lo mismo que ha ocurrido con los paisajes según nos dice la Geología y con los seres vivos según indica la Biología. El tiempo actúa sobre las cosas, las modifica, dejando en consecuencia restos: huellas, ruinas, fósiles, documentos. Con todos estos restos de la labor del tiempo construimos relatos, historias que nos sirven para reconstruir el pasado

y predecir el futuro. La dinámica de todos estos objetos se puede describir de manera parecida en diversas disciplinas del conocimiento. Al final de nuestras descripciones, queda un resultado similar: Un relato. Los buenos relatos adquieren forma en la mente de una persona y se dirigen hacia otras personas con la intención de despertar sus emociones, las mismas emociones que se activaron en el momento de escribirlos, independientemente de que sus protagonistas fuesen personas, plantas o paisajes. El tiempo es el principal concepto en Historia y también en Biología y Geología. Si tan sólo pudiésemos entender lo que es el tiempo,...

En el primer capítulo tratamos más en detalle acerca de este tema. A mi entender, un libro acerca de Biología necesita comenzar dando unas ideas acerca de lo que pueda ser el tiempo. Además de ser importante en Historia, en Biología y en Geología, el tiempo lo es también en otras disciplinas como en Lingüística. También en otras como Química y Física. No tanto en algunas disciplinas de las Matemáticas, por ejemplo en Geometría. El tiempo parece ser tan importante que escapa cualquier definición precisa. Es uno de esos conceptos que cuando los intentamos definir con exactitud, paradójicamente, en lugar de una buena definición, lo que encontramos son los límites del lenguaje. Muchos libros de Física comienzan asumiendo que el tiempo tiene una existencia propia y definiendo períodos de tiempo en relación con la duración de determinados acontecimientos astronómicos, geológicos o biológicos. Otros libros empiezan por definir de manera compleja el escenario espaciotemporal, el escenario en el que todos los objetos se mueven y evolucionan. Dentro de este escenario, el espacio es una magnitud tridimensional, mientras que el tiempo es uni-dimensional. Los objetos se mueven en el espacio, mientras que el tiempo se mueve él mismo sin posible parada o vuelta atrás. Las nociones de espacio y de tiempo tienen que ver con la experiencia personal, con la percepción humana de la realidad y, por lo tanto, después de todo, el tiempo puede ser una impresión subjetiva, lo cual podría explicar por qué se resiste a una buena definición. El tiempo no es nada. Tan sólo podemos imaginar lo que es el tiempo para nosotros en unas circunstancias determinadas y no realmente lo que es el tiempo en sí mismo que ni es ni significa nada. Llevando la frase de Ortega a su propio límite natural, no es cierto tan sólo que yo sea yo y mi circunstancia, sino que yo soy mi circunstancia y, por lo tanto mi circunstancia (el tiempo

es mi principal circunstancia) soy yo. El tiempo, el principal agente del cambio en Biología, soy yo y fuera de mí no hay nada. En el primer capítulo tratamos algo más sobre la importancia del tiempo con algunos ejemplos. En el segundo capítulo intentaremos escapar de la influencia del tiempo. Aunque yo sea el tiempo, ¿puedo aspirar a tener percepciones atemporales y escapar así de mí mismo? Dicho de otro modo, discutiremos la posibilidad de que existan algunas cosas insensibles al paso del tiempo. Después de todo, sería curioso encontrar que algunos aspectos de los seres vivos son insensibles al tiempo, pero algunos ejemplos de la historia de la Biología pueden apuntar en esta dirección y sostener la hipótesis de que el tiempo, puede no ser el ser todopoderoso y omnipresente que muchas veces aparece en los relatos de la Biología.

Los capítulos tres y cuatro tratan acerca de aspectos muy generales en relación con el conocimiento. ¿Qué es el conocimiento? En el capítulo tercero definimos el conocimiento y analizamos la evolución de algunas de sus disciplinas en función de sus objetivos. ¿Cómo se adquiere el conocimiento con el tiempo? En el capítulo cuarto se discuten distintos métodos de adquisición del conocimiento. A partir de este punto entramos en aspectos más específicos relacionados con la Biología. El capítulo cinco analiza la historia de la Biología como un paradigma del Método Científico. La Biología es una de las disciplinas científicas que, teniendo su origen en la pura observación de la naturaleza, ha avanzado más significativamente en las décadas recientes debido a la aplicación del Método Científico en un desarrollo sin precedentes históricos. La cuestión aquí es si éste avance representa un avance real en el conocimiento, es decir en nuestra manera de entender el mundo o si es un avance especializado que permitirá muchas aplicaciones prácticas pero no va a cambiar mucho nuestros puntos de vista acerca del mundo y nuestra comprensión de la naturaleza. Tal vez el progreso real de la Biología corresponde más a su historia reciente como veremos en el capítulo cinco, mientras que, en la actualidad, la tendencia es hacia desarrollar un detallado análisis de los procesos mostrando detalles de la complejidad inherente en los seres vivos, pero sin un cambio cualitativo real en el conocimiento comparable al ocurrido en el pasado reciente (capítulo 6). Muchas de las preguntas que surgirán a lo largo del texto son muy generales y nos aproximarán hacia los terrenos de la Filosofía. ¿Por qué es importante tener puntos de vista generales, alejados de

las especialidades tradicionales?, porque, desde mi punto de vista, la especialización es hoy el principal factor que limita el progreso del conocimiento. Hoy, la interdisciplinariedad es absolutamente necesaria para el progreso del conocimiento.

Muchos libros de texto en diferentes disciplinas comienzan definiendo conceptos, pero todavía muchos conceptos escapan a una buena definición. Por ejemplo: ¿Quién conoce una buena definición del tiempo?, ¿a quién corresponde hacerla?, ¿a un físico?, ¿a un psicólogo?, ¿a un historiador?, ¿a un astrónomo? La Lingüística es una disciplina cuyos objetos, los lenguajes, evolucionan como los seres vivos, como los seres humanos o como los paisajes, por acción del tiempo. Muchos científicos no-lingüistas y filósofos se han dado cuenta de la importancia del lenguaje. Henry James dijo una vez: "Toda la vida se limita a la cuestión de nuestro lenguaje, el medio por el que nos comunicamos". El capítulo siete trata de la relación entre Biología y Lingüística. En él se demuestra la identidad de la Biología con la Lingüística. El conocimiento humano es absolutamente dependiente de la constitución biológica y psicológica del hombre, lo mismo que del entorno social. Está sometido a cambios en ideas y en conceptos. Puede que la actividad científica actual, debido a su naturaleza altamente especializada y a la limitada participación pública, no favorezca el desarrollo de la inquietud intelectual más adecuada para el progreso del conocimiento. Es una opinión muy difundida que la educación no pasa por su mejor momento. En los capítulos 8 y 9 comentamos sucintamente algunos aspectos de las relaciones de la Biología con la Psicología y con la Pedagogía, respectivamente. La discusión abierta y la divulgación del conocimiento científico son aspectos esenciales a los que los científicos deben dar prioridad en estos momentos. En el capítulo 10 titulado: "Biología y Filosofía. Perspectivas", resumo los puntos de vista y presento lo que pueden ser las rutas de evolución común de ambas disciplinas en el futuro.

En su libro *El ser y el tiempo*, Martín Heidegger (1889-1976) dijo que la división de las disciplinas académicas es puramente arbitraria. La especialización actual en Biología es una consecuencia extremada de esta arbitrariedad. En las páginas que siguen defiendo la tesis de que la Biología, como la Ciencia en general, necesita hoy para generar un avance en el conocimiento, de observadores desde puntos de vista especializados, sí; pero también de otros menos

especializados, no basados tanto en la tecnología como en la pura observación y reflexión. Los especialistas estarán necesariamente vinculados a grandes grupos equipados con los aparatos necesarios en las nuevas tecnologías como genómica y proteómica y trabajarán en temas de gran aplicación práctica, a menudo más próximos a la tecnología que a la ciencia, pero la integración del conocimiento generado necesitará de las opiniones de científicos con amplios puntos de vista y opiniones holísticas, globalizantes y próximas a la Filosofía.

Defender esta tesis es hoy difícil por varios motivos. Primero, debido a la importancia de los resultados obtenidos en Biología durante las décadas pasadas, como consecuencia de la especialización y de la aplicación del Método Científico, podría parecer que éste no sólo es el mejor modo sino el único camino a seguir en Biología. La especialización y "tecnificación" han conducido al desarrollo de grandes grupos en laboratorios bien equipados y hoy parece que esta tendencia es general en una buena parte de las disciplinas de la Biología. Pero la Historia enseña que la evolución de muchos procesos tiene un comportamiento periódico con movimientos oscilatorios. Desde mi punto de vista, explicando en las páginas que siguen, la aplicación continuada del Método Científico, junto con una progresiva especialización sin considerar puntos de vista y opiniones alternativas, podría llevar en Biología a una situación de aislamiento con importantes desarrollos en muchos aspectos tecnológicos y aplicados, pero que podría resultar en una peligrosa esterilidad en lo que se refiere a la generación de nuevos conocimiento y puntos de vista originales y novedosos.

En segundo lugar, es difícil defender hoy una Biología teórica, no especializada, porque como consecuencia del reciente desarrollo histórico, la Biología ha tomado una posición de responsabilidad entre las disciplinas biomédicas y en agricultura. La situación, basada en una tecnología avanzada y en el compromiso de colaboración con la industria farmacéutica, biomédica y agrícola, parece determinar el futuro de todas estas disciplinas. Pero es importante distinguir aquí entre Ciencia y tecnología, dos conceptos que cada vez están más mezclados en el mundo

de hoy, pero cuya distinción tiene un fundamento histórico. La primera se basa en la formulación de preguntas y la elaboración de sus respuestas. A diferencia con la actual tendencia en los centros académicos y de investigación, el primer requerimiento para la Ciencia no consiste en una tecnología sofisticada o en una generosa financiación, sino en la preparación intelectual necesaria para la búsqueda de un lenguaje apropiado.

Alfonso X "El Sabio", el hombre con quien la princesa Cristina se iba a casar cuando dejó Noruega, era el hijo de Fernando III "El Santo", que conquistó Sevilla para la corona de Castilla. Alfonso X tenía un interés muy amplio en todos los aspectos del conocimiento y de la cultura. Él fundó la escuela de traductores de Toledo, en la cual personas de diferentes culturas, musulmanes, judíos y católicos cooperaron en el mantenimiento y divulgación del conocimiento de la época. Él fue responsable de la edición de libros conteniendo el conocimiento de su tiempo, algunos de los cuales nos han llegado hasta hoy. Este libro se dedica a la memoria de Cristina, que no pudo casarse con Alfonso X y tuvo que resignarse y casarse con su hermano Felipe, en un corto matrimonio que duró tan sólo cuatro años acabando con la muerte de la princesa. La Biología de hoy necesita abrir las puertas e integrar el conocimiento obtenido en el laboratorio con el que se obtiene de diferentes perspectivas, puntos de vista y trayectorias. Necesita la interacción con otras disciplinas y puntos de vista. La Biología necesita hoy una escuela de traductores tal y como la que Alfonso X concibió en el Toledo medieval.

Este texto se dirige a personas con una mentalidad abierta e interdisciplinaria y, por ello tiene una intención semejante a la que le puedo suponer al rey Sabio y por eso está dedicado a la princesa Cristina.

La tesis aquí presentada, basada en el análisis de la Historia de la Biología y sus principales disciplinas intenta mostrar que la Biología de hoy está próxima a la Filosofía y muy necesitada de mentes generalistas preocupadas por el desarrollo de un lenguaje apropiado y por el deseo de comunicar el conocimiento.

*La solución al enigma del tiempo y el espacio reside fuera del tiempo y del espacio.*

Ludwig Wittgenstein. *Tractatus logico philosophicus* VI, 4612

## 1. ACERCA DEL TIEMPO Y LA CAVERNA DE PLATÓN

De acuerdo con Platón, nuestra existencia como seres vivos está limitada por una percepción parcial de la realidad. Todo ocurre como si estuviésemos encerrados en una caverna y pudiésemos percibir sólo nuestras sombras proyectadas en la pared por efecto de la luz externa. De forma errónea, atribuimos la categoría de realidad a lo que en realidad son sólo sombras. Nuestra percepción es limitada, incompleta, fragmentaria, a menudo cargada con aspectos sin importancia y carente del contenido esencial que nos gustaría encontrar en ella.

Tozudamente insistimos en dar a los productos de la percepción el nombre de realidad, confundiendo así nuestra pequeña realidad con la Realidad con mayúscula, que la sobrepasa y la contiene, pero de la cual sólo percibimos aspectos parciales. Tomamos la parte por el todo, pero,... ¿Podríamos aspirar a tener otras percepciones más completas de la realidad? En principio, ésta no parece ser una tarea fácil, pero no estamos solos en ella. A lo largo de la Historia, otros han preguntado las mismas preguntas antes que nosotros.

Aproximadamente dos mil cuatrocientos años después de Platón, Ludwig Wittgenstein propuso algo interesante en una cita memorable. Para Wittgenstein, la única solución al problema del tiempo y el espacio se encuentra fuera del tiempo y del espacio. Podríamos decir, volviendo a recordar a Platón y retomando su mito de la caverna, que el problema ha cambiado de objeto. "La caverna" de Platón se ha convertido más recientemente en "el tiempo" de Wittgenstein. El tiempo es ahora la caverna dentro de la cual, como dijo Platón, estamos atrapados. Nuestra percepción es un producto de la evolución de los sentidos en el tiempo y es, por lo tanto, deudora del tiempo. La cuestión es: ¿Estamos destinados a permanecer atrapados en el tiempo sin solución posible? Pero esta pregunta es ambiciosa. Si al menos pudiésemos tener alguna evidencia a favor de alguna existencia a-temporal,... Una vía en la búsqueda de una respuesta a este planteamiento fue trazada hace muchos años.

Platón vivió entre los años 428 y 348 antes de nuestra era. En uno de sus textos, menciona a uno de los filósofos presocráticos, Parménides. Parménides de Elea, nacido en esta ciudad en el año 515 antes de Cristo, es una de las figuras de la Filosofía arcaica en Grecia que también nos ha dejado una lección magistral. En su breve poema titulado "Acerca de la Naturaleza", Parménides distingue entre el ser y el no-ser y propone que lo que es, es; existe de una manera única, absoluta e inmutable, que contiene todo y que es independiente del tiempo. Dicho de otra manera, el tiempo no tiene en la realidad del Ser (la auténtica y única realidad, no la realidad aparente de nuestra percepción) la importancia que le damos basándonos en nuestra realidad aparente.

Nuestra percepción tiene su origen en el tiempo, es un producto del tiempo; pero es posible que el tiempo y todo lo que en él acontece, sean también el producto de otra realidad mayor que los contiene, domina y, de alguna manera, permanece oculta a nuestros ojos. El tiempo con todos sus contenidos podría ser sólo una consecuencia de nuestra percepción subjetiva, de la captura por nuestros sentidos de aspectos parciales de la realidad. Desde nuestro lugar en el tiempo podemos tener acceso a otros fragmentos diferentes de la realidad, no sólo los que conocemos como contemporáneos en el llamado presente. Sabemos que el presente está lleno de huellas del pasado, pero de la misma manera, podría ser posible encontrar en el presente los restos de una realidad a-temporal, previa al tiempo o independiente de él. Por ejemplo, algunos conceptos de las Matemáticas son independientes del tiempo. El círculo es el círculo independientemente del tiempo. Su área y la longitud de la circunferencia que lo contiene pueden determinarse por fórmulas que son también independientes del tiempo. Las fórmulas contienen constantes tales como  $\pi$ , que, como su nombre indica son constantes, es decir, independientes del tiempo.

Algo parecido se puede aplicar en Filosofía. Las ideas que concibió Parménides, también fueron concebidas por Platón décadas después y más de dos mil años después

por Wittgenstein y ahora, por nosotros. Está claro que participamos, aunque sea modestamente, de una realidad que puede mostrar aspectos independientes del tiempo. El lenguaje y la memoria son algunas de las herramientas que pueden llevarnos más cerca de esa realidad que es superior al tiempo y mostrarnos vistas del paisaje fuera de la caverna.

Para algunos críticos de arte, la sensación estética tiene un componente ancestral y éste podría, de alguna manera, liberarnos de la obligada temporalidad a la que la percepción habitual nos somete. Sigfried Giedion en su libro titulado "El presente eterno: Los principios del arte", habla de la abstracción y la define en dos sentidos diferentes. En su sentido clásico, abstracción se relaciona con el término griego *afairesis* que significa recoger lo general, lo inevitable, lo esencial. En el sentido latino, a partir de la palabra *abstrahere*, abstracción significa aislar un elemento componente de otros en un individuo. El primer significado, capturar lo general a partir de los individuos que participan de ello, era importante en la Edad Media. La idea precede al ser. Los universalía, las ideas, existían en el intelecto eterno (*intellectus aeternus*) de Dios. Juan de Salisbury, obispo de Chartres en el siglo XII, vio en la abstracción el modo de descubrir los universalía en las cosas. El segundo significado de abstracción se relaciona con el detalle extraído de su contexto. Éste se asocia con el concepto cartesiano de la Ciencia y muestra la influencia actual de la Ciencia sobre las concepciones espirituales y estéticas de la realidad. Es posible, dice Giedion, que la importancia relativa de este sentido de la palabra abstracción esté tocando a su fin. A partir de ahora adquiere renovada importancia la acepción clásica del término. Algunos de los métodos y resultados de la Biología pueden interpretarse como haciendo abstracción en el sentido clásico, intentando definir y capturar propiedades esenciales de los seres vivos, de las especies o de categorías taxonómicas superiores. Por ejemplo, en Biología, durante muchos años, los grupos de investigación dispersaron sus esfuerzos en el trabajo con especies y géneros muy variados. La diversidad que existe en los seres vivos hizo multiplicarse no sólo las disciplinas sino dentro de cada disciplina también las especialidades. Pero hace unas décadas se ha reconocido la importancia de adoptar sistemas modelo, es decir especies de referencia en las cuales se concentre el trabajo y a las cuales se puedan referir los aspectos desarrollados en particular en cualesquiera otras especies relacionadas. Se eligió así Ara-

bidopsis como modelo de trabajos con plantas o el ratón como modelo de mamíferos, el gusano *Caenorhabditis* y la mosca *Drosophila* como modelos de eucariotas complejos pluricelulares. La levadura *Saccharomyces* como modelo de eucariotas, la bacteria *Escherichia coli* como modelo de organismos sencillos. El trabajo con sistemas modelo se ha convertido en una de las características de la Biología moderna y revela, como veremos en detalle después, muchos aspectos compartidos por diferentes grupos de organismos, especies y géneros. El trabajo con sistemas modelo fuerza al especialista hacia la generalización. Los biólogos que trabajan con determinadas especies necesitan, ahora, tener puntos de vista generales sobre la relación de su especie favorita con las demás. Los biólogos que estudian una ruta o un proceso metabólico, necesitan integrarlo en un sistema biológico más amplio, el sistema modelo.

En "El Discurso del Método" (1637), Descartes sentó las bases de la Ciencia moderna. Para ello excluyó de su razonamiento muchas de las humanidades, la retórica, la poesía y la narrativa en su búsqueda de la verdad en la naturaleza. Pero hoy sabemos que la aproximación cartesiana clásica ha fallado en la definición y explicación de conceptos importantes en Biología, tales como por ejemplo el concepto de especie y también para dar una descripción detallada de los procesos evolutivos y del desarrollo en organismos superiores. En microorganismos, se ha demostrado la abundancia de transferencia génica horizontal, es decir que unidades de información genética se transfieren entre especies con relativa frecuencia por la acción de elementos genéticos móviles (virus, plásmidos, transposones,...). Esto hace que el concepto de especie bacteriana dependa de la asunción de criterios comunes, es decir, de un consenso entre los investigadores. Se admite, por consenso, que dos especies bacterianas son distintas si sus porcentajes de similitud en su ADN total o en la secuencia de ADN que codifica para las proteínas de importantes estructuras celulares (por ejemplo de los ribosomas), son inferiores a un valor determinado. En organismos superiores, plantas y animales, el concepto de especie tiene, por el contrario, una base biológica sólida, basada en la existencia o no de barreras para la reproducción; pero, sin embargo, los mecanismos moleculares subyacentes no están definidos. Los resultados y conclusiones de la Biología Evolutiva actual son incapaces de describir precisamente en qué consiste la formación de especies nuevas. Ocurre como si la aproximación cartesiana al problema careciese de recursos para

describir aspectos esenciales en relación con la identidad de las especies y su evolución. Hoy podemos estar frente a una situación en la que es necesario pensar de nuevo y re-plantear las propiedades esenciales de los seres vivos. En primer lugar si existen o no semejantes propiedades en los seres vivos en general, es decir si en su origen ha podido haber algo comparable a las ideas o universalidad, y en segundo lugar, en caso de que existan unas propiedades esenciales, para los seres vivos en general, o para algunos de sus grupos, animales o plantas, en qué consisten. No basta con explicar que las plantas son fotosintéticas y los animales, no; o que las plantas son estáticas y los animales dinámicos, y por tanto ambos grupos son diferentes. Los mecanismos de reproducción sexual son tremendamente parecidos y hacen sospechar que plantas y animales no son tan distintos como tradicionalmente se ha interpretado. Entendemos muy bien por qué una planta es un organismo fotosintético y por qué es estático, pero no entendemos por qué tiene unos mecanismos de reproducción tan parecidos a los de los animales. En este sentido puede ser muy interesante buscar opiniones y puntos de vista variados sobre los seres vivos. Por ejemplo, el psicólogo y humanista Carl Gustav Jung, en su autobiografía, menciona acerca de las plantas:

*"Las plantas también me interesaron, pero no en un sentido científico. Me sentí atraído hacia ellas por una razón que no puedo entender, y con el fuerte sentimiento de que no podían ser arrancadas y secadas. Eran seres vivos con un significado que duraba mientras crecían y florecían; un oculto y secreto significado, uno de los pensamientos divinos. Debían mirarse con admiración y contemplarse con asombro filosófico. Lo que el biólogo tenía que decir acerca de ellas era interesante, pero no era lo esencial. Tampoco yo podría explicar qué era lo esencial."*

Como indica Jung, la Ciencia actual por sí misma no puede proporcionar una visión completa de la naturaleza, porque desde sus orígenes ha excluido otros puntos de vista; pero la Biología debe ahora reconocer que el conocimiento que ha generado tiene sus raíces en modos de ver el mundo anteriores, de los cuales es deudora. La Biología moderna procede de la visión del mundo primitiva y después de la visión clásica y medieval, de las cuales es heredera, y en las cuales existe una serie de conceptos e ideas esenciales como son: El individuo, la especie, las plantas y los animales. La existencia de estos conceptos precede a la Biología

y ellos determinan su evolución. Pero ahora las cuestiones se multiplican: ¿Tienen sentido estos conceptos a la luz de la nueva Biología?, ¿Qué es una especie biológica? ¿Posee atributos esenciales?, ¿En qué consisten?, ¿Tiene sentido aplicar el concepto de especie igualmente a bacterias y a plantas o animales? ¿Tiene sentido aplicarlo igualmente a los insectos, a los mamíferos y al ser humano?

La Biología ha demostrado un extraordinario grado de conservación en los elementos estructurales que integran los seres vivos y en muchos aspectos de su funcionamiento. ¿Tiene sentido hoy en día hablar de atributos esenciales de alguna especie?, ¿al menos de la especie humana? La Biología ha demostrado un dinamismo inesperado entre los seres vivos. Cada vez se describen nuevos tipos de RNAs reguladores, de virus, de transposones. La transferencia génica horizontal entre especies procariontas ha pasado de ser un fenómeno dudoso a ser algo habitual. En años recientes este dinamismo se ha manifestado en nuevas enfermedades víricas en vertebrados y en el hombre. ¿Son los seres vivos tan sólo el producto de una acción mecánica sobre una serie de moléculas a lo largo del tiempo?

A pesar de tantas dudas, mi opinión es que hoy no solamente tiene sentido el intentar buscar la existencia de un orden en la naturaleza, sino que es necesario. Pero si queremos entender cualquier aspecto de la naturaleza, no vale una aproximación parcial. La aproximación tiene que ser global y en ella deben estar incluidos puntos de vista variados y diferentes.

Para entender el planteamiento puede ser útil intentar comprender como una mente medieval como la de Juan de Salisbury, Alberto Magno o la princesa Cristina imaginaban a los seres vivos. Nuestros puntos de vista acerca de la naturaleza no son claramente superiores a los que tenían aquellas mentes medievales, sino que, por el contrario, también estamos dejando escapar aspectos esenciales de la naturaleza que ellos nunca hubiesen perdido de vista. Los científicos de hoy estamos encerrados, al igual que los filósofos medievales en una caverna. Aunque en general, la posibilidad de una realidad exterior al tiempo es algo que hoy no se considera en serio, es decir científicamente, nuestra propia certidumbre es la prueba de que hoy en día estamos todavía más encerrados en la caverna del tiempo que la gente en la Edad Media. Pero, ¿existe algo fuera de la caverna del tiempo?

## 2. PAISAJE FUERA DE LA CAVERNA

Las ideas de Parménides son profundas y todavía no han sido completamente entendidas y asimiladas como se merecen. Si así fuese, el mundo sería diferente. Algunas teorías modernas y tratados de Biología de gran difusión e influencia, no hubiesen aparecido nunca si sus autores hubiesen conocido y tenido en cuenta sus ideas. En su breve poema "Acerca de la naturaleza", Parménides pone énfasis en la diferencia entre lo que es y lo que no es. Cuando en una discusión hablamos acerca del pasado, encontramos a menudo argumentos del tipo: Si el señor X hubiese hecho tal y tal cosa, en lugar de tal otra cosa, o también: Si esto hubiese ocurrido de esta manera, en lugar de aquella otra, entonces... En todos estos casos Parménides es drástico: No. Tan sólo existe una realidad. Sólo una y no otra. Cuando hablamos no podemos considerar como realidad aquello que no es real. Las cosas han ocurrido una vez y de una manera determinada. Cuando hablamos del pasado esto es totalmente claro. El pasado tiene la solidez inalterable de un bloque de metal. Podremos verlo con diferentes brillos, según cambie la luz del momento, pero su contenido es inmutable. Todos estamos de acuerdo en eso: El contenido del pasado es inmutable, está fijado. Pero, entonces, lo mismo que sabemos que el tiempo fluye continuamente, sabemos también que el presente y el futuro están destinados a ser un día parte del pasado. Así, de alguna manera, ambos presente y futuro, tienen la misma forma que el pasado. ¿No es cierto? Si, pero,...

Cuando hablamos acerca del presente o del futuro, debemos dejar un espacio para la libertad. Hoy, el ser humano cree en la libertad, la capacidad de tomar decisiones que influirán en la marcha de los acontecimientos, al menos a un nivel local. En su novela *Guerra y Paz*, Lev Tolstoi discute esto en detalle en las reflexiones filosóficas que intercala, aquí y allí, entre la descripción de la campaña de Napoleón en Rusia. Si consideramos la Historia desde un punto de vista global, todo ha ocurrido como tuvo que ocurrir; como dice la Biblia, estaba escrito, es inmutable. Pero, por otra parte, el ser humano hoy no puede admitir que en cada momento (el presente), nuestra acción esté sometida a una

ley (determinismo). En lugar de esto, necesitamos dejar la posibilidad abierta para actuar en libertad. Es nuestro natural e ineludible deseo de libertad el que nos hace libres, pero al mismo tiempo vemos obstáculos y obligaciones. El primer obstáculo es nuestra servidumbre del tiempo. Cada momento está determinado por los momentos anteriores (el pasado) y, a su vez, determina los futuros, pareciendo que la secuencia debe seguir en ambas direcciones sin dejar una opción para la libertad. Se establece así una lucha desigual entre el hombre y el tiempo en la cual, *a priori*, el hombre parece sometido al tiempo. Ésta es la cuestión: ¿Está el hombre completamente sometido al tiempo?, o, por el contrario, ¿existirá una pequeña grieta a través de la cual podríamos percibir al menos un fragmento del paisaje fuera de la caverna del tiempo? Ante nuestros ojos se establece esta disyuntiva y, en ella, la conciencia humana reclama una victoria, al menos parcial. Cada vez que pensamos en nuestra existencia, percibimos una continuidad, una presencia que no es momentánea (el presente) sino que reclama una existencia atemporal. La vida humana consiste en mantener esta tensión, esta batalla abierta entre el ser humano con su ansia de libertad y de permanencia frente al tiempo que es inflexible. Objetivamente podría decirse que el ser humano no es el favorito en la contienda. Tanto si pensamos en un hombre como un individuo o en la especie humana en su conjunto, con el transcurrir del tiempo, desapareceremos de la superficie de la tierra; sin embargo, desde el momento mismo en que aceptamos la existencia de la libertad estamos comprometidos en el combate. Todavía más; debido a nuestra manifestación intelectual y expresión del deseo de ser libres, los seres humanos somos los principales representantes de esta pugna con el tiempo en la naturaleza. La historia de la humanidad en general y la historia de cada ser humano, en particular, refleja y consiste en la manifestación multiforme de esta cuestión; siempre de manera diferente, pero compartiendo aspectos comunes. Muchas actividades humanas presentan en común una tendencia decidida a la intemporalidad, a la ignorancia y al desprecio por el tiempo. Personas de muy diferentes periodos históricos han participado en algunas de estas actividades del combate intelectual contra el tiempo compartiendo métodos, ideas y entusiasmo. En esta lucha, cada ser humano es portador

de valores ancestrales. Schopenhauer habla en sus textos de la fuerza que mueve al mundo y se refiere a ella como la Voluntad. Si hubo algo antes del tiempo, la fuerza debió de estar ahí y ahora se percibe de distintas maneras: La Fuerza, La Voluntad, la Libertad.

La misma Voluntad de Schopenhauer es la Fuerza, cuya compañía se desean unos a otros los personajes de "La Guerra de las Galaxias" cuando se despiden entre sí (Que la fuerza te acompañe!), así como la fuerza descrita en el poema de Dylan Thomas:

*The force that through the green fuse drives the flower  
Drives my green age;  
that blasts the roots of trees  
Is my destroyer*

En ese caso, aunque el hombre pierda la batalla contra el tiempo, aun entonces, la fuerza la ganará. Por definición. Porque la fuerza es el motor de todo y es superior a cada cosa, incluido el tiempo. Como en otro poema de Dylan Thomas:

*Though lovers be lost, love shall not;  
And death shall have no dominion.*

El ser humano no puede vencer al tiempo; pero, siendo optimistas, podemos acumular evidencia de que el tiempo no es la fuerza que dirige el mundo a nuestro alrededor. Lo que a menudo denominamos la acción del tiempo es algo brutal y enérgico, devastador, no es una propiedad del tiempo. El transcurso del tiempo es, por el contrario, constante. Las ruinas, las huellas del paso del tiempo son muy variadas. No pueden ser la consecuencia de una causa constante y única, como el tiempo, sino, al menos, de una causa mayor, tal como la que hemos denominado la Fuerza o la Voluntad. El poder del tiempo es debido a la causa que lo domina y las huellas no son del tiempo sino de su causa. Esta causa es la misma que en nosotros mueve a la memoria y al lenguaje y nos hace libres. Esta causa es la voluntad (Schopenhauer), la fuerza (Dylan Thomas) o el ser (Parménides). Los seres vivos no son la consecuencia de la acción lenta y constante del tiempo, sino que son productos de esta causa que es superior al tiempo.

La Historia de la Ciencia está inextricablemente unida con otros aspectos de la Historia tales como los sociales,

políticos o militares. Parafraseando la cita ya mencionada de Heidegger, la Historia es una y sus divisiones son arbitrarias. Un período fascinante en la Historia la Ciencia, bien anterior a los avances modernos en Biología, ocurrió en Alemania hacia el principio del siglo XIX. El Romanticismo alemán fue un movimiento optimista en muchos ámbitos de las Letras, las artes y las ciencias, que dio lugar a la *Naturphilosophie*. El naturalista Ernst Mayr, en su libro *The Growth of Biological Thought*, menciona que la *Naturphilosophie* apareció como una rebelión frente al reduccionismo y mecanicismo de Newton (del newtonismo). Muchos naturalistas se resistieron a la tendencia general a aceptar que, en la naturaleza, todo pueda ser la consecuencia de fuerzas físicas, cuya acción obedezca a leyes mecánicas. La filosofía de la naturaleza, *Naturphilosophie*, es un movimiento opuesto a la mera interpretación física de la naturaleza. Algunos de sus representantes fueron simultáneamente naturalistas y poetas, un tipo de figuras que hoy está ausente del panorama científico, porque parece muy difícil hoy, en nuestro mundo especializado, poner a la Ciencia junto a la Filosofía y a la Poesía, dentro de una misma mente coherente. Goethe fue uno de los principales representantes de la *Naturphilosophie*. Junto con Schelling, Oken, Carus, Schiller, Herder, Chamisso, todos ellos mostraron una tendencia hacia lo que se ha llamado esencialismo. El esencialismo es un tipo de neoplatonismo e implica que estos intelectuales eran idealistas; pensaban que la razón puede alcanzar los fundamentos esenciales de la naturaleza. Para ello, buscaban en la naturaleza los prototipos, las representaciones de las ideas originales que de alguna manera debieron estar presentes en (para) su diseño. Las formas en la naturaleza, serían para ellos, representaciones de prototipos. En sus textos, Goethe, manifiesta esta tendencia hacia el formalismo, cuando por ejemplo, propone que las formas de las plantas podrían reducirse a un solo arquetipo generador: la hoja. Geoffroy Saint-Hillarie en Francia, encontró un arquetipo similar en la vértebra de los animales. La hoja de Goethe y la vértebra de Geoffroy serían principios generadores abstractos, a partir de los cuales derivarían los demás órganos, vegetales o animales. Goethe aplicó el mismo idealismo a todas sus observaciones de la naturaleza. En sus viajes se interesó por todo. Para él no hay una barrera en la manera de contemplar a los seres vivos, a los procesos históricos o a los lugares. Su aproximación a la naturaleza y a la Historia es similar y, por ejemplo, en su viaje a Italia menciona:

*"Deseo ver Roma, pero la eterna, no la que cambia cada década... Particularmente la Historia se lee aquí de una manera diferente a cualquier otra parte del mundo. En otros lugares se lee de fuera a dentro; aquí se lee de dentro hacia afuera. Todo se acumula alrededor de nosotros y reaparece desde dentro de nosotros; y esto no sólo en relación con la historia de Roma, sino con toda la Historia Universal. En efecto, desde aquí, puedo acompañar a los conquistadores hacia el Wesser o el Eufrates, o si prefiero sólo mirar alrededor, puedo esperar en la Vía Sacra el regreso de los conquistadores: durante el tiempo que han estado fuera yo me he alimentado gracias a los donativos de trigo y limosnas y participo con gran placer de esta magnificencia".*

La existencia de estas formas arquetípicas, ideales, tanto en la contemplación de la naturaleza como de la Historia, que propone Goethe, representa una visión del mundo generalista, holística como hoy diríamos y también filosófica. Para d'Arcy Thompson, en su libro "On growth and form", holístico es sinónimo de armónico, integrado. Para Goethe, no hay una clara separación entre Biología e Historia y todo se enmarca en el dominio de la Filosofía. Por eso la *Naturphilosophie* se ha llamado a veces la filosofía de la identidad (Radl, 1988), porque ve en los fenómenos manifestaciones de un ser fundamental (¿de el Ser de Parménides?; ¿de la Voluntad de Schopenhauer?). Schopenhauer no estaba lejos de la *Naturphilosophie* (fue alumno de Schelling). La primera edición de su principal obra *Die Welt als Wille and Vorstellung (El mundo como voluntad y como representación)*, apareció en Leipzig en 1819. Su libro *Parerga und Paralipomena* apareció publicado por primera vez en 1851 en Berlín. Schopenhauer tenía un gran interés por las cuestiones de la naturaleza y asistió a clases en la Facultad de Medicina entre 1809 y 1813 y, durante toda su vida, fue un visitante asiduo del Parque Zoológico de Fráncfort. En sus textos dedicó muchas páginas a cuestiones biológicas como la descripción de especies animales de Sudamérica o la descripción de los procesos de la herencia. Sus textos sobre cuestiones de Ciencias Naturales son muy variados, pero algunas de sus teorías e ideas filosóficas son únicas y sobresalientes en la historia de la Filosofía. En particular, en sus textos hace énfasis en el significado del ser humano. Para Schopenhauer, el hombre, como una entidad total o global y no su razón o su espíritu, incluye a toda la naturaleza. En el hombre, la emoción es una manera de percepción. Por medio de la emoción percibimos lo que existe, no

sólo en la vida interior del hombre sino también en la naturaleza. Muchos de las opiniones y puntos de vista que Schopenhauer desarrolla en sus escritos, no son ni originales ni exclusivas suyas. La concepción holística de la naturaleza es una de las más antiguas ideas arraigada en la filosofía oriental. El *I Ching* o *Libro de las adivinaciones*, para muchos el libro más antiguo del mundo y, sin duda, uno de los más difundidos, se basa en que existe entre el ser humano y el Universo una conexión directa. El psicólogo alemán Carl Gustav Jung desarrolló el concepto del inconsciente colectivo, basándose en buena medida en ideas de la filosofía clásica oriental. En este contexto es muy interesante notar que la letra Ki, que representa un concepto fundamental de la medicina china, se puede traducir como "Energía que fluye a través del cuerpo" o "Fuerza Interior" y también "Emoción" (Figura 2).

*Figura 2. La letra Ki representa un concepto fundamental de la medicina china. Se puede traducir como "Energía que fluye a través del cuerpo" o "Fuerza Interior" y también "Emoción".*



Las ideas de Schopenhauer, de Goethe y de la *Naturphilosophie*, son consecuencia del movimiento romántico, buscan una fuerza en la naturaleza que dirige el mundo y, mediante su emoción humana se sienten partícipes de esta fuerza. Esta actitud romántica, que implica al individuo entero, ha permanecido al menos en un segundo plano y, a menudo, ausente, durante los casi dos siglos de grandes avances en Biología que han presenciado la aplicación del Método Científico haciendo destacar la figura

del científico como un especialista que estudia y analiza procesos particulares de los seres vivos. Ahora, el péndulo puede tomar un cambio en su dirección y podemos volver de nuevo hacia la orientación de la *Naturphilosophie*, para contemplar la naturaleza con los ojos abiertos para todo tipo de fuentes de conocimiento e inspiración y buscar la

esencia en los avances y descubrimientos de la Biología. En palabras de Schelling: "No habremos alcanzado la cima de la verdad misma, ni conoceremos o expondremos las cosas con verdad, sino después de haber alcanzado la existencia atemporal de las cosas y los conceptos eternos en ellas".

*All the world is divided in two parts, of which one is visible and the other invisible. What is visible is just the reflection of the invisible.*

Zohar I, 39.

### 3. ¿QUÉ ES EL CONOCIMIENTO?

Para el propósito de este texto, el conocimiento se puede definir como la capacidad de responder preguntas. Cuanto más sepamos, seremos capaces de responder más preguntas. La capacidad de responder muchas de nuestras preguntas, implica también la capacidad de resolver problemas y en consecuencia, el conocimiento también supone la capacidad de predecir el futuro. En los últimos siglos, la Ciencia ha avanzado porque ha desarrollado un Método para aumentar nuestro conocimiento: El Método Científico. Discutiremos métodos científicos y no-científicos en el próximo capítulo. El resultado de ambos será el mismo: Aumento en el conocimiento que sirve para responder preguntas, resolver problemas prácticos, predecir el futuro.

Pero aquí necesitamos introducir un concepto importante que nos servirá para entender lo que es el conocimiento. Se refiere a la diferencia entre información y conocimiento. Información es todo lo que puede ser interpretado por un intérprete o agente. Si yo veo una lista de números como la que aparece en la Figura 3a, esto es información. Veo una lista de números y digo: Bien, he ahí una lista de números. Dos listas de números (Figura 3b) son más información pero exactamente el mismo conocimiento: Ninguno. El conocimiento va más allá de la información. Es una propiedad de la inteligencia humana que le permite extraer de una información lo que hay en ella de importante y relacionarlo con otras informaciones. Es decir, el conocimiento tiene que ver con el significado de la información; indica la relación entre objetos o fuentes de información y llega cuando, por ejemplo, nos damos cuenta de que entre las dos listas de números de la figura existe una relación.

El conocimiento consiste en encontrar las relaciones que existen en la naturaleza. Efectivamente, los números de la derecha se han obtenido al multiplicar los números de la izquierda por una constante, que es dos veces pi (Figura 3c). Por lo tanto, podemos deducir que si los números de la columna de la izquierda representan los valores de las medidas de los radios de circunferencias, entonces los de la derecha, representan sus perímetros. A menudo, la adquisición del conocimiento implica la necesidad de hacer conexiones originales entre objetos o informaciones que, anteriormente no se relacionaban entre sí (aparentemente, es decir, para nuestros sentidos).

Una distinción muy interesante entre información y conocimiento se expresa en la lectura del premio Nobel de Sydney Brenner, cuando dijo: "Hoy nos ahogamos en un mar de información, pero nos morimos de hambre de conocimiento". En esta frase está implícito el principio básico de lo que debe hacerse para convertir la Biología en una disciplina teórica: Obtener conocimiento a partir de la información. Una posible vía consiste en buscar conexiones, relaciones entre la Biología y otras disciplinas, otras fuentes del conocimiento diferentes.

Figura 3. Información (3a y 3b) y conocimiento (3c).

6,12	6,12	38,44	6,12	38,44
2,14	2,14	13,44	2,14	13,44
8,45	8,45	53,10	8,45	$\times 2\pi$ 53,10
7,43	7,43	44,68	7,43	44,68
2,56	2,56	16,08	2,56	16,08
a)	b)		c)	

Hoy disponemos de la información correspondiente a la evolución de muchas disciplinas del pasado. Conocemos sus orígenes, algunas de sus preguntas fundacionales y objetivos y su grado de cumplimiento en el curso del tiempo. Esta información es válida para darnos claves en relación con disciplinas científicas del presente cuando nos preguntamos acerca de su situación y perspectivas. Es importante tener en cuenta que la capacidad de responder preguntas será la que determine asimismo la capacidad de resolver problemas y por tanto también de anticipar el futuro. Se pueden plantear así preguntas generales acerca de la situación actual y perspectivas de una determinada disciplina científica. Por ejemplo: ¿Qué condiciones necesita reunir una disciplina científica para garantizar resultados con éxito en un período razonable de tiempo?

Tomemos a la Cartografía Medieval como un ejemplo. Hoy existen muchos documentos y mapas conservados que muestran el trabajo inicial de cartógrafos medievales. El mapa representado en la Figura 4 procede de un artículo publicado en 2005 por Yossef Rapoport y Emilie Savage-Smith, de la Universidad de Oxford. Según dicen estos autores, se trata de una copia realizada hacia 1250 en Egipto o en Siria de un libro escrito entre 1020 y 1050 en Egipto, cuyo título ha sido traducido como *El libro de curiosidades de las ciencias y maravillas para los ojos*. Cuando el mapa se realizó y también cuando se copió, en los siglos XI, XII y XIII, los cartógrafos tuvieron importantes cuestiones que resolver. El futuro de la humanidad dependía entonces de su capacidad para encontrar las respuestas adecuadas a las preguntas que se les planteaban. Una de las principales cuestiones que preocupaba a los cartógrafos entonces era la concerniente a la estabilidad de la superficie de la tierra. Afortunadamente para la cartografía, la superficie de la tierra ha sido más o menos estable en un período de algunos cientos de años. Este hecho, junto con la tecnología disponible entonces, hizo de la Cartografía una disciplina práctica y de rápida evolución. En efecto, el objetivo de la Cartografía era la representación en un mapa bidimensional de los territorios de la superficie de la tierra, es decir la proyección bidimensional de una realidad bidimensional no muy cambiante en el período de tiempo considerado. Por esta razón, la Cartografía evolucionó con éxito y hoy nos da las facilidades necesarias para planear nuestros viajes de antemano con la seguridad de que sabemos dónde ir y que los sitios no cambiarán de posición durante nuestro viaje.

Figura 4. Mapamundi rectangular. Se trata de una copia del siglo XIII de un original del siglo XI. Tomado de Rapoport and Savage-Smith, 2004.



Pero cuando se realizó la copia representada en la Figura, es decir hacia 1250, cuando la princesa Cristina viajó desde Noruega hasta España, entonces todavía no se tenía el concepto de la Geografía que hoy tenemos. Podemos suponer que la princesa o su séquito disponían de un mapa parecido al de la figura, en el que Europa aparecería representada. El problema no sólo sería que en el mapa los territorios representados serían una representación parcial de los reales. Más grave sería la duda acerca de si los territorios representados en el mapa podrían sufrir alteraciones en el curso de un viaje, porque no se sabía hasta qué punto el mundo era estable. Por otra parte, no se consideraba imposible que un pequeño error de cálculo con un desvío en su trayectoria pudiese llevar a los viajeros a territorios absolutamente desconocidos y remotos. En su libro *The Medieval Vision, essays in History and perception*, Carolly Erickson, al hablar de la percepción del mundo en la Edad Media, menciona algunos relatos de viajes, en particular el de tres monjes de Mesopotamia que viajaron juntos para buscar el lugar donde el cielo y la tierra se juntaban. Este lugar estaba marcado en sus mapas, aunque su localización era variable. En su viaje los monjes atravesaron el Tigris y pasaron por Persia y la India. Tras algunas peripecias llegaron a una tierra montañosa poblada por unicornios, basiliscos y dragones. Más adelante llegaron a una región montañosa y oscura poblada por elefantes de la que escaparon encontrando

después una columna en memoria de Alejandro Magno. A continuación visitaron el infierno y el paraíso y al final de su viaje encontraron a San Macario en una cueva, quien les aconsejó regresar a su monasterio. Hoy sabemos bien que, en cualquiera de nuestros múltiples viajes, no corremos el riesgo de acabar en el infierno, porque conocemos que, según está definido hoy el mundo, el infierno no es un lugar geográfico al que se pueda acceder mediante un viaje. Este conocimiento es consecuencia del avance de la cartografía, pero este avance ha ocurrido en paralelo con un cambio total en nuestra concepción del mundo. No sólo la cartografía actual es distinta de la medieval sino que ambas concepciones, la nuestra y la medieval son diferentes. Desde nuestro punto de vista, la cartografía medieval tenía errores, era imperfecta. La ciencia de la cartografía ha mejorado desde entonces pero esto es tan sólo un aspecto particular de nuestra concepción del mundo. Así como es lícito establecer comparaciones en cuanto se refiere a una disciplina del conocimiento, no lo es el establecerlas en cuanto se refiere a la visión general o a la actitud ante el mundo, que es puramente subjetiva. Nuestra visión del mundo es simplemente distinta de la medieval, más dependiente del conocimiento científico, y por lo tanto menos abierta a aceptar visiones, configuraciones inhabituales de la naturaleza o seres espirituales que aquélla. Según sean nuestros planteamientos y nuestras necesidades, nuestras concepciones cambian, pero sería muy estúpido pensar que tan sólo nosotros estamos en lo cierto y los demás puntos de vista son equivocados. Por ejemplo, la visión medieval podría ser errónea en muchos aspectos particulares, pero entre sus aciertos estaba el que era global, holística. A la hora de reflexionar en su intimidad, el hombre medieval no necesitaba cambiar de registro en ningún momento. Las fantasías, los temores, la fe estaban presentes en todas las actividades cotidianas. Hoy, por el contrario, es frecuente una escisión de la personalidad en la que, durante el día en nuestro trabajo admitimos que el ser humano es una especie biológica, un mamífero derivado de la evolución por selección natural; mientras que, en nuestra intimidad, seguimos anhelando una existencia espiritual, aspiramos a participar de propiedades superiores a las de los demás animales, de los cuales siempre nos queda la duda acerca de si realmente compartimos o no una ascendencia común y somos todavía religiosos, tanto o más que en la Edad Media; pero no siempre estamos en condiciones de poder expresarlo libremente; en determinadas circunstancias puede pesar

sobre nosotros una presión social que limita la expresión de nuestra inquietud espiritual.

La cartografía fue una disciplina del conocimiento que se desarrolló plenamente a partir de la Edad Media. En general, para cualquier disciplina científica, existen importantes consideraciones que pueden dar indicaciones sobre si la orientación es adecuada o no y si los resultados serán satisfactorios en expandir nuestro conocimiento en un período de tiempo razonable. Algunas de estas consideraciones se refieren a:

1. El objeto de estudio
2. Los objetivos

Analicemos estos aspectos en más detalle.

### **1. El objeto de estudio de una disciplina del conocimiento**

Para la Cartografía el objeto de estudio es la superficie de la tierra en un tiempo limitado (décadas o siglos). Esto es un objeto estático. Por el contrario, para la Biología el objeto de estudio son los seres vivos, considerados en general, sin limitación del tiempo. Así, son dinámicos y por eso antes o después, estaremos obligados a hacer consideraciones importantes en relación con el tiempo. Los seres vivos son mucho más complejos que entidades bidimensionales. Pero el objeto no importa tanto como los objetivos, es decir: ¿Qué es lo que queremos saber del objeto?

### **2. Los objetivos**

Los objetivos de las actividades humanas o de las disciplinas científicas pueden expresarse en la forma de preguntas o sentencias rápidas. Por ejemplo el principal objetivo de la Cartografía ha sido durante siglos el conocer las posiciones relativas de los puntos de la superficie terrestre. Dicho de otro modo: Obtener el mapa bidimensional conteniendo la representación de las posiciones relativas de los objetos en correspondencia con sus posiciones reales, es decir una representación bidimensional de una realidad bidimensional.

En Biología los objetivos han sido múltiples y variados, dependiendo de las disciplinas y de su evolución con el tiempo. En sus orígenes y tiempos iniciales de las discipli-

nas biológicas, la necesidad de contestar preguntas importantes era uno, tal vez el principal motor para el desarrollo de la Biología; pero en tiempos más recientes, el desarrollo extraordinario de muchas disciplinas de la Biología junto con una aplicación sin precedentes de la tecnología, han tenido importantes consecuencias. Los objetivos no consisten solamente en dar respuestas a preguntas sino que son mucho más variados y complejos. El desarrollo tecnológico ha demostrado que los resultados de la Biología pueden tener una aplicación muy amplia, muchos objetivos son puramente aplicados: Desarrollo de sistemas de diagnóstico en medicina, de plantas con características particulares para la agricultura,... En algunos casos los objetivos aplicados se planean concisamente y con precisión pero existe el riesgo de que se encuentren mezclados con objetivos clásicos consistentes en dar respuesta a preguntas. Ser capaces de modificar la naturaleza no significa que la entendemos. En el laboratorio se pueden obtener ratones de larga vida o plantas resistentes a la salinidad, pero esto no significa que

entendamos completamente los mecanismos biológicos de la longevidad o de la tolerancia a la salinidad.

La aplicación de nuevas tecnologías está resultando en la demostración de que los seres vivos son entidades mucho más complejas y dinámicas que lo que sospechábamos. A su vez esto está resultando en transformaciones profundas en el modo en el que observamos y analizamos la vida. La especialización es una tendencia general en la disciplina creciente de la Biología, pero las buenas preguntas, es decir cuestiones con un interés amplio, proceden más a menudo de puntos de vista integrados que especializados. Entender la naturaleza necesita de puntos de vista integrados y éstos se pierden a menudo a favor de puntos de vista especializados. Como conclusión, las preguntas de gran interés y de largo alcance, no son tan importantes en Biología de hoy como lo eran en el pasado. Tal vez estamos ahora en un tiempo de cambios y debemos esperar y preparar pacientemente el terreno antes de volver a hacer preguntas buenas...

*If a man could go to paradise in a dream and have a flower presented to him as a pledge that he had been there, and then if upon awakening he finds that the flower is in his hand... what then?*

S. T. Coleridge. *The notebooks* (1815-1816)

#### 4. ADQUIRIR EL CONOCIMIENTO

La adquisición del conocimiento es una parte importante del desarrollo de cada individuo en la especie humana. Como en todos los procesos de desarrollo de los seres vivos, se aplica aquí el principio evolutivo que dice que la ontogenia repite a la filogenia. Para adquirir su conocimiento, cada ser humano (ontogenia) repite, al menos algunos de los pasos que la especie humana ha realizado en el curso de su evolución (filogenia).

En los animales reconocemos la existencia de un modo de adquirir respuestas de comportamiento que es inherente a cada especie y que, a veces, llamamos el instinto. La palabra "instinto" se aplica más a menudo a animales, pero también se encuentra en la literatura aplicada al hombre, en fases infantiles del desarrollo o al referirse a socieda-

des primitivas. Los procesos incluidos en el instinto están relacionados con capacidades innatas que contribuyen a la elaboración de los mecanismos que, en el sistema nervioso humano, están en la base del conocimiento. Claude Lévi-Strauss, en su libro, *El Pensamiento Salvaje* dice:

*"Las especies animales y vegetales no son conocidas más que porque son útiles, sino que se las declara útiles o interesantes porque primero se las conoce."*

El hombre es una parte de la naturaleza, un producto de la evolución y la interpretación de las cualidades, de las utilidades y aplicaciones de las especies vegetales y animales se debe a un conocimiento ancestral surgido en el curso de la convivencia durante tiempos inmemoriales en el entorno natural. Algunos mecanismos para obtener información a partir del ambiente e integrarla de una

manera expresable (conocimiento), pueden haberse desarrollado en la propia constitución del sistema nervioso, durante la evolución de la especie humana y luego aflorar en la forma de prácticas mágicas o rituales. La frase de Levy-Strauss significa que en la naturaleza, el conocimiento, en general, es anterior a cualquiera de sus aplicaciones. Curiosamente, las excepciones abundan en el hombre moderno. El hombre moderno cada vez funciona más en sentido contrario, es decir busca desarrollar aplicaciones cuyos efectos desconoce.

En la historia más reciente de la humanidad y si nos referimos al conocimiento expresable mediante el lenguaje, son dos los métodos principales de adquisición del conocimiento: La observación y la experimentación sistemática basada en el Método Científico. Existe, no obstante, un tercer grupo que incluye otros métodos que hoy, en el mundo occidental o bien no se consideran o se consideran esotéricos y, por tanto, dignos de poca confianza.

A lo largo de la Historia, ha habido épocas en las que uno u otro de estos métodos ha sido el predominante. El Método Científico ha predominado en el siglo veinte, mientras que en siglos anteriores, la observación era más importante. Si leemos textos antiguos, como la Biblia y también los trabajos de conocidos antropólogos, puede ser que en la historia antigua, otros métodos hayan sido importantes. Si pensamos que existen tres grupos de métodos diferentes, significa que, al menos en teoría, podríamos utilizar los tres de manera equilibrada y no despreciar ni rechazar ninguno de ellos. La tercera categoría es quizás la más dudosa y problemática de discutir, por tanto comenzaremos por hacer referencia a ella.

En muchos ejemplos a lo largo de la literatura, el hombre accede al conocimiento en los sueños. En algunos ejemplos tópicos, unos mejor documentados que otros, el protagonista ha estado trabajando intensamente en un problema hasta que, al final, encuentra su solución deseada en un sueño o en una visión nocturna. Se dice que Kekulé pudo haber encontrado la estructura del benceno de esta manera y también que los sueños de Mendeleiev le ayudaron a componer la Tabla Periódica. En otros casos descritos, auténticas revelaciones tuvieron lugar en los sueños. La Biblia está llena de ejemplos como en el caso de José que interpretó los sueños del faraón en Egipto, pero hay otros ejemplos en la literatura. El escritor ar-

gentino Jorge Luis Borges publicó una interesante recopilación bajo el título *El libro de los sueños*. En el prólogo al mismo menciona una cita del poeta Samuel Taylor Coleridge: "The images of wakefulness inspire sensations, but during sleep, sensations inspire images". Entre los ejemplos recopilados en el libro, Borges relata la historia del poema dedicado al palacio de Kubilai Khan, el rey de los mongoles, para cuya composición Coleridge se inspiró en un sueño. Interesante es, dice Borges, que el arquitecto real que años antes había construido el palacio se había inspirado para su diseño también en un sueño. Borges diserta de manera inteligente acerca del caso y presenta diversas hipótesis al respecto, algunas más racionales que otras, muchas francamente atractivas e interesantes. Aunque se trate de un ejemplo fascinante, sugiere el tipo de inspiración que, aunque hoy pueda ser considerada por amplios sectores como "esotérica", podría haber sido en el pasado digna de la más seria consideración. La princesa Cristina no habría tenido ningún problema en admitir que los sueños de personajes privilegiados son fuentes poderosas para la adquisición del conocimiento y como tales deben ser respetadas y estimadas. A lo largo de la Historia, cambia la concepción del mundo; cambian las creencias y los métodos que en una época pueden ser importantes y tener una reputación consolidada, caen en desuso en otra época diferente. Métodos para poner a prueba el inconsciente mediante drogas psicotrópicas, consultas al oráculo o a la sibila o seguir las instrucciones reveladas en los sueños no han sido importantes en la configuración de la Biología en tiempos recientes. En su lugar, la Biología ha obtenido resultados importantes de los otros dos métodos: la Observación de la naturaleza y la aplicación del Método Científico.

En los orígenes de las Ciencias de la Naturaleza, en los estudios de los naturalistas clásicos (Plinio, Dioscórides) y medievales (Alberto Magno), los resultados de la observación fueron esenciales. Discutiremos esto en el capítulo siguiente, pero antes veamos como funciona el Método Científico. No olvidemos mientras tanto que hemos mencionado métodos alternativos a la observación y al Método Científico. A diferencia de estos métodos del tercer grupo, los incluidos en los grupos uno y dos son muy familiares para nosotros. Pero en ciencia presumimos de ser objetivos y el hecho de que algo sea familiar significa que lo hemos hecho familiar, que le hemos dado prioridad y por lo tanto, lo preferimos de manera subjetiva. Sospechemos de

nosotros mismos por un momento. El ser humano tiene una tendencia pertinaz a construir rutinas; a regresar a lugares conocidos. Somos felices en lugares que frecuentamos, pero estamos inquietos en sitios desconocidos. Lamentablemente el conocimiento sólo aumenta si penetramos en lo desconocido. Sabemos muy bien qué es la observación y qué es el Método Científico. Esto indica que, por suerte o por desgracia, el progreso en el conocimiento puede venir también ahora por rutas alternativas.

El Método Científico se basa en la secuencia:

Observación → Hipótesis → Diseño de Experimentos →

Experimentación → Interpretación de resultados → Teoría

El Método Científico así descrito apareció en el siglo XVII como una manifestación compleja y tardía del espíritu del Renacimiento, si bien ya había sido utilizado antes por algunos individuos. Galileo Galilei, por ejemplo, aplicó el Método Científico en sus investigaciones en el siglo XVI.

Al hablar del Método Científico hay importantes conceptos que deben emplearse correctamente. Por ejemplo, al utilizarlo, vamos más allá de una simple descripción de los resultados. Una observación termina con la descripción de lo observado, pero proponer una hipótesis después de la observación significa que nos proponemos dar una explicación de lo observado. Una explicación va más allá de una simple descripción. La descripción dice qué es lo que se observó; La explicación contesta a la pregunta ¿por qué? Por esto el Método Científico se ha llamado también Método Inductivo. Porque mediante su operación descubrimos principios generales; y es por esto por lo que dicho método tiene un valor predictivo mayor que la simple observación.

Figura 5. Francis Bacon en su despacho en la Inglaterra de Shakespeare. "I have taken all knowledge to be my province" (from a letter to Lord Burleigh, 1592).



Una teoría aparece sólo cuando la hipótesis es consolidada después de la experimentación. Una teoría suministra una explicación para las observaciones. Una ley describe las observaciones, pero no las explica.

La Figura 5 representa a Francis Bacon en su escritorio en la Inglaterra de Shakespeare. Además de describir el Método Científico, Bacon describió cuidadosamente los principales problemas con los que se enfrenta el investigador. En sus escritos habló de los ídolos, los principios establecidos y maneras de razonar que siempre han limitado el progreso real en la Ciencia.

## 5. OBSERVACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN EN LA HISTORIA DE LA BIOLOGÍA

### Introducción histórica

Dejando aparte cuestiones que quedan sin responder por motivos gramáticos, lógicos y metodológicos, como por ejemplo ¿qué es la vida?, la Biología ha tenido un éxito extraordinario respondiendo a preguntas que la humanidad ha planteado a lo largo de los siglos. Además, la Biología ha obtenido resultados de gran aplicación práctica resultando en el siglo pasado un paradigma del progreso científico. Comenzando por la observación de la naturaleza y continuando con la aplicación más estricta y paradigmática del Método Científico, los resultados de la Biología han contribuido a cambiar la visión del mundo y aumentan dramáticamente la capacidad de actuación del hombre sobre la naturaleza haciendo ésta diferente de lo que era para generaciones pasadas. El ser humano actúa hoy en aspectos que tradicionalmente le eran inaccesibles: la manipulación genética de plantas, animales y microorganismos, la exploración a nivel subcelular y molecular de los seres vivos y la modificación de aspectos como la propia longevidad y capacidad reproductora. Pero la cuestión es: ¿Es esta actividad el principal objetivo de la Ciencia? Es importante darse cuenta hoy de que la tecnificación y la especialización pueden limitar el desarrollo potencial de la Ciencia llevándola por caminos erróneos. Debido a la actividad altamente especializada de la ciencia actual, la divulgación pública de la realidad del progreso científico es escasa y esto no favorece la inquietud intelectual necesaria para el progreso del conocimiento. La discusión abierta y la difusión del conocimiento científico son aspectos esenciales a los cuales los científicos deberían dar prioridad en este momento.

Aunque el Método Científico tiene casi cuatrocientos años de antigüedad, su aplicación en Biología es relativamente reciente y no fue más allá de unos pocos ejemplos a lo largo de los siglos XVII, XVIII y XIX. En esta época, los trabajos de los naturalistas que sirvieron después para establecer la

*Des animaux, se dit le docteur, la ressemblance parfois est frappante; nous sommes des animaux.*

Jean Carrière. *L'épervier de Maheux.*

base de la Biología estuvieron basados en la observación de la naturaleza y la interpretación de las observaciones. Linneo, Cuvier, Geoffroy Saint-Hilarie, Lamarck, Buffon y Darwin, los precursores de la Biología moderna, basaron todo su trabajo en la observación, pero, sin embargo, su mayor éxito consistió en la libre interpretación de los hechos con independencia de teorías o creencias previamente establecidas. A este respecto, siguieron el mandato de Francis Bacon, el fundador del Método Científico en la Inglaterra del siglo XVII en cuanto a que hicieron de su trabajo la lucha contra los ídolos.

Pero visto desde la perspectiva actual, en el año 2008, el principal avance de la historia de la Biología es probablemente su descubrimiento fundacional, es decir que todos los seres vivos están formados por células. La Teoría Celular tiene sus precedentes en las observaciones de Robert Hooke de secciones de corcho que se publicaron en su *Micrographia* en 1665, pero es en la primera mitad del siglo XIX, cuando Matthias Schleiden describió que los animales están formados por células. En 1838, a consecuencia de observaciones en plantas y animales, Theodor Schwann acuñó el término Teoría Celular. Los siguientes pasos incluyeron la extensión de la Teoría a animales y plantas y su aplicación al sistema nervioso del hombre y de los animales por Santiago Ramón y Cajal (1905). El descubrimiento de que los seres vivos están formados por células es la principal contribución de la Biología al conocimiento humano. Toda la investigación actual en Biología es una consecuencia de esta idea. Si todos los seres vivos están formados por células, entonces los mecanismos celulares para capturar los estímulos ambientales, su integración con el resto del metabolismo celular, la elaboración de respuestas así como los procesos de comunicación, diferenciación y división celular son aspectos clave de la Biología. La Biología nace con la Teoría Celular.

Dos aspectos son importantes en relación con la Teoría Celular y el nacimiento de la Biología. En primer lugar ambas, tanto la Teoría Celular con la Biología nacieron como consecuencia de la necesidad de responder a una

pregunta: ¿Cómo están constituidos los seres vivos? En segundo lugar, aunque cuando se hace pública la Teoría Celular, el Método Científico tenía ya más de cien años de vida y aplicación, la teoría no es una consecuencia de la aplicación del Método Científico, sino de la pura observación. Para concluir que los seres vivos están formados por células no fue necesario diseñar experimentos complejos. Tan sólo observar: un microscopio adecuado y la actitud que los naturalistas y filósofos tenían en la Edad Media. Para San Alberto Magno (1200-1280), experimentar significaba observar, describir y clasificar (Steib and Popp, 2004). Si Alberto Magno hubiese vivido hoy, tendría más de ochocientos años. Desde su muerte, la humanidad ha sido testigo de revoluciones sociales y científicas que han transformado el mundo, pero siempre hemos sido educados para contemplar la Historia como la sucesión lineal de acontecimientos en el tiempo y, en consecuencia, nos vemos a nosotros mismos lejos del pasado y sus figuras. Tendemos a pensar que los problemas científicos y las actitudes tomadas frente a ellos en la Edad Media son hoy obsoletos, pero en esencia, los seres humanos no hemos cambiado tanto y tenemos todavía las mismas preocupaciones y dudas. Tan sólo algunos de los recursos de que disponemos para resolverlas han cambiado. Hoy la tecnología es mucho más avanzada, pero el principal recurso es nuestra capacidad de observación y de reflexión, nuestra permeabilidad a todas las fuentes de conocimiento que nos llegan, conocidas y desconocidas. En la misma medida que la tecnología nos ayuda a explorar el mundo y modificarlo, ella misma nos obliga a interpretar el mundo según su dictado y hace que nos desviemos de nuestros puntos de partida iniciales: Los propios del ser humano. La tecnología nos está deshumanizando.

### **La disciplinas clásicas de la Biología nacen para responder preguntas**

A comienzos del siglo XX, la Biología tenía una perspectiva brillante porque sus objetos estaban bien definidos: ¿Qué son los seres vivos? Entidades formadas por células. El estudio de las relaciones entre los seres vivos y sus unidades ha ocupado ya más de un siglo de Biología y define sus principales subdisciplinas: Los organismos unicelulares son los objetos de la Microbiología. Todos los organismos pluricelulares se desarrollan a partir de células individuales, y por tanto el estudio del desarrollo es un aspecto esencial. Las relaciones filogenéticas entre organismos de la misma

especie (su descendencia común) precedió a las teorías evolutivas. Pero la evolución pudo mirarse con nuevas perspectivas desde que se reconoció que todas las especies comparten bases morfológicas y mecanismos fisiológicos comunes.

La historia de la Biología es la de la aplicación del Método Científico en paralelo con el desarrollo de nuevas tecnologías, protocolos y aparatos. La pura y simple observación quedó relegada progresivamente a un segundo plano. El progreso inicialmente estaba dirigido por el interés por obtener conocimiento, por una genuina curiosidad y con el objetivo de obtener respuestas a preguntas clásicas. Bajo estas premisas nació la Genética, para responder a la pregunta: ¿Cómo se heredan los caracteres? Y la Bioquímica: ¿Cómo se organizan los seres vivos a nivel molecular? La Genética y la Bioquímica, ambas basadas en la aplicación del Método Científico para responder preguntas, fueron los protagonistas de los principales avances en Biología. Su éxito se debe a una combinación de buenas preguntas y herramientas. Una serie de preguntas acertadas se preguntaron cuando las herramientas más apropiadas para responderlas estaban disponibles.

Aunque se considera a Gregor Mendel como el padre de la Genética, su trabajo se hizo casi en total aislamiento y el redescubrimiento de las leyes de Mendel fue simultáneo con la fundación de la disciplina (Bateson, 1900;1902; Correns, 1900; De Vries, 1900; Tschermak, 1900). La Genética aparece en escena para contestar a una pregunta: ¿Cómo se transmiten los caracteres en los seres vivos? Es lo que Mendel se preguntaba al hacer sus experimentos con guisantes y otras especies en el jardín y el invernadero del monasterio de Brno. ¿Cómo se hereda el color de las flores, blanco o amarillo?, ¿cómo se hereda la forma de las semillas, lisa o rugosa? La respuesta la dio parcialmente Mendel: Entidades materiales, con un cierto grado de independencia son responsables de la transmisión de caracteres de generación a generación. Sus resultados fueron la base del trabajo posterior en Genética y, después de importantes progresos en Bioquímica, permitieron la identificación de la naturaleza química de estas entidades: los genes. La Genética tuvo éxito porque se demostró que la herencia de muchos caracteres, incluyendo muchas enfermedades humanas (Garrod, 1923), era debida a la acción de genes individuales. Otros caracteres por el contrario se debían a muchos genes, eran poligénicos (Mather, 1942).

Pero tan temprano como en 1924, Oscar Riddle hacía una advertencia:

*"These divisions or aspects of biological science –comparative anatomy, systematics, biochemistry, paleontology, behavior, embryology, evolution, pathology, ecology, microanatomy, physiology and distribution– are at once frank recognitions of the kinds of knowledge necessary to a comprehension of the organism, and of the limited scope and value of any single type of information. Heredity, or evolution, like Biology as a whole, possesses an integrity which upon examination immediately dissolves into diversity. It is a crystal of many facies. The first purpose here is to attempt the identification of the radically diverse aspects presented by any single hereditary character..."*

Antes de que ocurriesen muchos de los importantes descubrimientos del siglo XX, Oscar Riddle advertía: el éxito de la Genética y de cualquier disciplina biológica está limitado por la complejidad de los seres vivos y por la multitud de puntos de vista que debemos adoptar para entenderlos. Una importante clave para el éxito de la Genética ha sido la simplicidad de muchos de los caracteres analizados cuyos mecanismos de herencia se han resuelto, pero los mecanismos que controlan la herencia de muchos caracteres están todavía por determinar. Mendel describió leyes importantes porque se concentró en propiedades puntuales, pero pensemos por ejemplo en la genética humana y la base del parecido entre individuos. La semejanza entre individuos no se debe a simples caracteres como el color de los ojos o la textura del pelo o la propensión a heredar una enfermedad, sino a aspectos morfológicos y fisiológicos complejos y a menudo no identificados ni definidos. Estaremos plenamente de acuerdo con Oscar Riddle todavía en que:

*"... No one will momentarily doubt the great value or the gratifying volume of knowledge now being obtained in that part of the field of heredity known as Genetics (breeding and cytology). This is all entirely obvious; and, in a statement condensed to the point of running other risks of misunderstanding, the writer trusts he may omit any review of actual accomplishment in this field without subjecting himself to the charge of either overlooking or of being unaware of its invaluable contributions. In general, this discussion is to emphasize limitations rather than accomplishment. Examination of our first point involves an estimate as to how far the data of Genetics include a real or a complete*

*knowledge of heredity and evolution. Besides dealing with the limitations inherent in the types of information now rapidly accumulating, it will be necessary to characterize and to consider specifically each of the additional kinds of information necessary to an adequate understanding of any hereditary character."*

Es decir, de nuevo Oscar Riddle pone énfasis en la necesidad de integrar el conocimiento a partir de diversas fuentes y veremos que esto tiene hoy importantes aplicaciones.

La aplicación de los principios y técnicas de la Química a los seres vivos está en el origen de la Bioquímica. La cuestión ahora es: ¿Cuál es la naturaleza química de las células y de los seres vivos? Eduard Buchner, que ganó el premio Nobel en 1907 y su hermano Hans, demostraron que las actividades enzimáticas permanecían en filtrados celulares, abriendo así la vía para estudios de Bioquímica. Se identificaron diversos tipos de moléculas (DNA, proteínas, carbohidratos,...) y se demostraron sus funciones en los seres vivos. La principal conclusión de la Bioquímica amplía el principio de conservación en Biología: Los componentes químicos son los mismos en todos los seres vivos. Esto abrió la vía para el trabajo con sistemas modelo: *Escherichia coli*, levaduras (*Saccharomyces*, *Neurospora*), *Drosophila*, etc... son sistemas utilizados en la investigación de mecanismos y procesos biológicos con la idea de que las conclusiones serán de interés amplio y aplicación general. Un ejemplo de esta actitud en Biología está en la frase de Jacques Monod: "Lo que es cierto para *E coli*, lo es para el elefante" (Figura 6).

Basándose en estos principios, la Biología del siglo XX tuvo un éxito enorme y fue testigo de una serie de descubrimientos excepcionales uno tras otro. La naturaleza química del material hereditario, la hipótesis de un gen-una enzima, los mecanismos de replicación del DNA, transcripción, traducción y el código genético (Griffith, 1938; Beadle y Tatum, 1941; Avery, MacLeod y MacCarthy, 1944; Hershey y Chase, 1952; Watson y Crick, 1953; Nirenberg *et al.*, 1963; Nirenberg, 2004). La aplicación del Método Científico fue en esta época ejemplar. Las series de experimentos acerca de la naturaleza del material hereditario, su replicación, la existencia del RNA mensajero y la traducción... constituyen un conjunto de logros únicos en la historia de la Ciencia. Cada experimento estaba diseñado para responder a una pregunta o para poner a prueba una hipótesis que

Figura 6. Lo que es cierto para *E. coli*, es cierto para el elefante.  
Dibujo de Jacques Monod.



procedían de los resultados del experimento anterior. Cada experimento daba las bases para el diseño del siguiente.

La historia de la Bioquímica en los años cincuenta y sesenta contiene una serie concatenada de combinaciones brillantes de reflexión y experimentación que constituye probablemente la mejor aplicación del Método Científico en sus detalles como lo pudiera concebir Francis Bacon al escribir el *Novum Organum*:

*The discoveries which have hitherto been made in the sciences are such as lie close to vulgar notions, scarcely beneath the surface. In order to penetrate into the inner and further recesses of nature, it is necessary that both notions and axioms be derived from things by a more sure and guarded way; and that a method of intellectual operation be introduced altogether better and more certain.*

Las preguntas eran claras, concisas y se originaban a partir de respuestas claras a cuestiones previas. Las preguntas se hacían pensando que las respuestas obtenidas serían de aplicación general porque se trabajaba con problemas generales en sistemas modelo. Por ejemplo, Beadle y Tatum (1941) se preguntaban: ¿Cuáles son los pasos bioquímicos que los genes utilizan para determinar las características de la descendencia y regular los procesos vitales de los organismos? Jacob, Monod y colaboradores se preguntaban: ¿Cómo se regula el metabolismo? Su respuesta (Pardee *et al.*, 1959) dio la base para el análisis de la regulación génica (Jacob y Monod, 1961). Pero, pronto el análisis dejó de ser tan general. Necesitó ser más específico, es decir dirigido a los detalles de las interacciones moleculares en un proceso (von Hippel, 2004) o al análisis de procesos reguladores específicos. El tiempo de la generalización tocaba a su fin y la investigación empezaba a entrar en los detalles.

Pero a la vez que la aplicación del Método Científico daba respuestas a preguntas y encontraba nuevas claves acerca de la Bioquímica y de la Genética, estaba también dando las herramientas para clonar y secuenciar el DNA y para manipular genéticamente los organismos (Cohen *et al.*, 1973; Morrow *et al.*, 1974; Maxam y Gilbert, 1984; Sanger *et al.*, 1977). Después de muchas décadas de investigación basada en buenas preguntas y cimentada sobre fundamentos teóricos sólidos las disciplinas de Bioquímica y Biología Molecular convergieron en una disciplina más "moderna": La Biología Molecular, próxima a la Ingeniería Genética y a la Biotecnología. En oposición a sus disciplinas "maternas", La Biología Molecular no nace para contestar preguntas sino para inventar y aplicar nuevas tecnologías. El DNA de cualquier origen puede clonarse y secuenciarse y el DNA recombinante se puede usar con aplicaciones prácticas (Hughes, 2001; Russo, 2003). A continuación, la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la tecnología del DNA recombinante permiten obtener fragmentos de DNA de prácticamente cualquier origen con gran eficiencia (Mullis and Faloona, 1987; Saiki *et al.*, 1988).

## La Biología moderna describe los detalles de la organización celular

El desarrollo de una tecnología sofisticada está en el origen de la Biología Molecular y los biólogos moleculares se definen mejor como aquellos científicos que aplican las técnicas y protocolos de la Biología Molecular, más que por preguntarse cuestiones particulares. La dependencia de la tecnología aparece como una tendencia general en la Ciencia del siglo XX, pero cuanta más importancia se da a la tecnología, menos se da a las ideas y al lenguaje. El ADN recombinante puede utilizarse también para responder preguntas, pero la disciplina de Biología Molecular en sí, no tiene su origen puramente en fundamentos teóricos, como habíamos dicho de la Bioquímica y de la Genética. Los genéticos podrían utilizar una tecnología variada, pero su *leit motiv*, su característica común era su interés por descubrir los mecanismos de la herencia. Los Bioquímicos utilizaban los métodos de la química y otros, pero su característica común era la investigación de la base molecular de la vida. Si consideramos puramente las preguntas que están en las bases de sus disciplinas, la Biología Molecular no es independiente de la Bioquímica; es sólo otra manera de decir Bioquímica, poniendo más énfasis en un tipo de tecnología que en ningún objetivo teórico (preguntas, ideas, lenguaje,...). Un conocido bioquímico describe muy bien que los Departamentos de Biología Molecular nacieron en USA porque era una manera de que los jóvenes tuvieran una promoción que no tenían dentro de un "viejo Departamento" de Bioquímica. Pero esto no es anecdótico; es un ejemplo de una tendencia que se ha visto crecer en los años recientes. La Biología ha ido de lo general a lo particular, de lo teórico a lo aplicado. Preguntas amplias, ambiciosas, sobre la naturaleza, sobre el ser humano y sus relaciones han dejado lugar entre los objetivos a cuestiones más de detalle u otros tipos de objetivos: aplicación y desarrollo de recursos tecnológicos, cuestiones sociales.

A menudo en la Historia la tecnología ha precedido a la Ciencia. El microscopio precede a la Teoría Celular, pero es importante distinguir Ciencia y tecnología. Muchas de las disciplinas recientes de la Biología han surgido para proporcionar herramientas tecnológicas que ayudan en el análisis de cuestiones planteadas por las disciplinas clásicas. Para la Biología Molecular, no hay una sola pregunta en su origen que no fuese ya propia de los ámbitos de la Genética o de la Bioquímica; aquella no es

realmente una disciplina diferente de la Bioquímica. La Biotecnología se refiere al desarrollo de la tecnología del DNA recombinante, cultivos celulares y transformación. Académicamente tampoco es nada nuevo; nada independiente de las disciplinas clásicas: Genética, Bioquímica o Biología del Desarrollo. Lo mismo podría decirse de la Bioinformática y de las tecnologías -ómicas: Pueden haber aportado nuevas aplicaciones, a veces de un valor inesperado, pero no hay ninguna pregunta nueva en sus orígenes y, por esto deben considerarse disciplinas tecnológicas más que científicas.

Las herramientas de la Biología Molecular y de todas las disciplinas tecnológicas que la siguen han proporcionado nuevas respuestas a preguntas clásicas. Por ejemplo, sus métodos se han aplicado con éxito para la identificación de genes y proteínas que intervienen en el Ciclo Celular (Nurse, 1990). Las respuestas de la Biología Molecular consisten a menudo en la descripción detallada de una serie de interacciones moleculares (Uetz *et al.*, 2000). Las interacciones de moléculas se extienden indefinidamente porque cada molécula interactúa en cada momento con muchas otras. Los puntos de vista más modernos acerca de la regulación celular, el ciclo celular o la diferenciación celular son bioquímicos y la dificultad reside en que pueden adquirir mayor complejidad y convertirse en más especializados.

La Biotecnología es otra disciplina cuyo origen no se encuentra en la necesidad de responder pregunta alguna, sino en la base de desarrollar aplicaciones prácticas y lo mismo puede decirse de las tecnologías -ómicas. La genómica, la proteómica y la metabolómica son modernas tecnologías que sirven a los propósitos de la Bioquímica en su búsqueda de los detalles moleculares de la vida. En la Biología de hoy, los detalles son importantes. Todas estas disciplinas existen para dar detalles acerca de los procesos de los seres vivos o para aplicar tecnologías en aspectos puntuales. No surgieron para responder nuevas preguntas del interés general, sino para resolver cuestiones específicas y, también, para aplicar tecnologías. Pero la tecnología es una herramienta al servicio de la Ciencia y si la relación se invierte, entonces la Ciencia puede desaparecer irremediablemente.

La principal función de la Ciencia, su razón de ser, es generar el conocimiento. Las disciplinas tecnológicas no se originaron para responder ninguna pregunta, sino como

herramientas, para ayudar a las disciplinas científicas en sus respuestas a preguntas. Pueden tener un futuro interesante y prometedor, pueden dar nuevos resultados a partir de los cuales se encontraran nuevas aplicaciones

inesperadas, pero su contribución real a la Ciencia nunca alcanzará la significación de las contribuciones hechas por la Genética y la Bioquímica, porque son subsidiarias de estas disciplinas.

*Esto y mucho más he soñado yo, pero de todo ello no entiendo una palabra.*

*Pantagruel. Libro III. François Rabelais.*

## 6. LA BIOLOGÍA DE HOY: DISCIPLINAS, HERRAMIENTAS, LECCIONES

### Disciplinas

Desde mi punto de vista, las principales disciplinas de la biología de hoy son dos: La Biología Evolutiva y la Biología del Desarrollo. Cada una intenta responder a una de las preguntas principales que se preguntan hoy los biólogos: ¿Cómo evolucionan los organismos?, ¿Cómo se desarrolla un organismo? La evolución es un hecho. Está más allá de toda duda que los organismos han cambiado en el curso de la historia de la tierra, de manera similar a como la Tierra misma ha cambiado. La Teoría de la Evolución por Selección Natural que fue propuesta por Charles Darwin, incluso con sus más recientes defensores y argumentos, todavía no ha podido explicar de una manera completa y satisfactoria cuestiones fundamentales tales como la aparición y mantenimiento de especies y la falta de estadios intermediarios entre especies relacionadas en el registro fósil. La selección natural no es la causa de la evolución.

Buena parte de la investigación se concentra en uno de estos dos frentes. Por ejemplo, toda la investigación en cáncer pertenece a la Biología del Desarrollo. Toda la investigación en Ecología, Botánica, Zoología se relaciona con la Evolución. Otras divisiones de la Biología como la Biología Fundamental, la Biología de Sistemas y otras, son artificiales; algunas divisiones antiguas como Biología Animal o Biología Vegetal son hoy obsoletas. La Biología Humana y la Medicina han tenido el apoyo de descubrimientos realizados en plantas. Muchos procesos de la Bioquímica pertenecen al mundo vegetal (fotosíntesis) o se han descubierto primero en plantas y luego se ha visto que son comunes a plantas y animales, como por ejemplo el papel de los transposones

en la dinámica del genoma en el trabajo de la premio Nobel Barbara McClintock, el descubrimiento del signalosoma COP (Wei and Deng, 2003) y, más recientemente de la RNA polimerasa IV (Onodera *et al.*, 2005). Todas las cuestiones de Biología deben afrontarse hoy teniendo presentes todo tipo de organismos: Plantas, animales, microorganismos y virus, porque cada uno de ellos puede poseer y revelar claves para entender a los demás. La princesa Cristina se sorprendería hoy al saber cuánto tienen en común los seres humanos con el resto de los seres vivos.

Si el estudio de la evolución y del desarrollo son las dos principales líneas de acción de la Biología, ambas convergen en un punto clave que es el estudio del origen de la vida. Parece difícil abordar uno de los aspectos del estudio de la vida sin pensar en los otros dos. La Biología de hoy trata con sistemas dinámicos entre los cuales no hay nada estático ni permanente. Todos los organismos y estructuras se originaron a partir de otros que les precedieron en el tiempo, luego de nuevo la cuestión va a los orígenes: ¿Cuáles son los organismos iniciales?, ¿de dónde proceden?, ¿cómo ocurrió para que evolucionasen hacia formas más complejas de vida? La Biología moderna tiene respuestas sorprendentes para estas preguntas. Las formas más antiguas de la vida, precursoras de toda la vida en la Tierra, pueden ser moléculas que poseen ambas actividades, enzimática (catalítica) y replicadora: Los ribozimas (Doudna and Cech, 2002). Toda la diversidad de la vida podría tener su origen en la evolución compleja de este tipo de moléculas: los ribozimas. Otro sorprendente aspecto en la Biología de hoy es que, de forma reiterada, diversas formas de vida o sus precursores, pueden haberse incorporado en la Tierra a partir del espacio (Zimmer, 2005). El misterio y la fantasía que se atribuían en la Edad Media a la geografía terrestre hay que buscarlos hoy en

el espacio exterior, ocupado por elementos materiales que nos invaden. En el dominio de la Ciencia, nuestro planeta no deja espacio para la fantasía, y ésta encuentra su fuente de inspiración en el espacio. Como siempre, todo cambia, y el cambio es la esencia de la vida. Los organismos vivos no existimos, no tenemos importancia. Lo importante, lo que existe realmente y siempre ha existido es el cambio con el tiempo. La Biología de hoy nos enseña algo acerca de este cambio. Aunque en cualquier momento el cambio nos puede llevar a cualquier parte y de repente pueden ocurrir sorpresas inesperadas, en general la Ciencia aumenta nuestro poder de predicción y la Biología nos acota los posibles resultados del cambio. Cuando hablamos del cambio un importante concepto en Biología es la variabilidad. Sólo cambia lo que es variable y, a su vez, debe proceder de otro cambio anterior. Hace más de cien años, Bateson (1894), el fundador de la Genética, reconoció a la variabilidad como una de las propiedades esenciales de los seres vivos. Variabilidad es ambas, la causa y la consecuencia de los cambios que operan con el tiempo en los seres vivos. En la naturaleza, la variación no es continua. El descubrimiento de las leyes que rigen la discontinuidad en la variabilidad está en el núcleo de la Biología Evolutiva y del Desarrollo y es una de las cuestiones principales de la Biología de hoy. Ambas disciplinas son las caras del mismo problema: La Biología estudia cómo los organismos cambian con el tiempo. Los procesos de desarrollo de cada organismo pluricelular contienen claves acerca de los acontecimientos principales en la evolución de su especie. La pregunta es: ¿Pueden explicarse satisfactoriamente hoy los procesos de la evolución y del desarrollo sobre las bases de los resultados y premisas de la Biología de hoy?, o por el contrario, ¿se necesita hoy un giro, un cambio mental hacia puntos de vista diferentes, más generalistas?, ¿deberíamos volver a plantearnos cuestiones antiguas?

### Herramientas

Para su progreso, la Biología del desarrollo y evolutiva cuentan con las herramientas modernas de la Genómica, la Proteómica, la Metabolómica y la Bioinformática así como de avanzados métodos en Microscopía. Es muy importante, en particular para los estudiantes y gente joven darse cuenta de dónde está la herramienta y dónde la disciplina científica. La Genómica es una herramienta, la Biología Evolutiva, una disciplina científica. La Genómica, como la Proteómica, la Metabolómica y la Bioinformática,

están basadas en tecnología e imponen métodos de trabajo, pero su lenguaje es el de la Biología. Por ejemplo, a consecuencia del desarrollo de la Genómica, se creó la necesidad de trabajar con organismos modelo y la investigación con cualquier organismo tiene a partir de entonces como una referencia el trabajo y avances en los distintos sistemas-modelo: El ratón para los mamíferos, *Arabidopsis thaliana* para plantas, las levaduras *Sacharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe* para eucariotas inferiores, *Drosophila* y el gusano *Caenorhabditis elegans* para eucariotas con tejidos diferenciados. Como consecuencia de los métodos de la Genómica y la necesidad de utilizar sistemas modelo, tiene lugar un paso hacia la integración del conocimiento, porque los grupos de investigación que eran especialistas en un proceso dado o en una especie en particular, ahora tienen que hacer un esfuerzo para la integración de sus resultados con el conocimiento acerca de un sistema modelo. Buena parte de la investigación en Bioquímica, Fisiología y Genética evoluciona así hacia investigación en Biología. Este es un primer paso en una dirección opuesta a la de una especialización extremada y puede estar anunciando la necesidad de desarrollar puntos de vista interdisciplinarios y globales (holísticos). Uno de los objetivos de la Biología de hoy es entender la organización del genoma. Para ello hay que entender lo que es la organización. Organización implica una estructura con una regulación adecuada. La estructura está formada por elementos y orden. Los elementos del genoma son variados. No responden sólo al concepto clásico de gen.

El Dogma Central de la Biología Molecular afirmaba que la información genética codificada en el DNA se transcribía a RNA y se traduciría a proteínas en los ribosomas del citoplasma. Con esta base, se explicaban todos los procesos biológicos. La variabilidad, por ejemplo, podría explicarse por mutación, cambios en la secuencia nucleotídica de un gen debido a errores en la replicación o efectos de factores ambientales (radiación,...). Pero hoy el Dogma Central ha sufrido modificaciones con importantes consecuencias. Entre los grandes descubrimientos de los últimos cuarenta años, el trabajo con virus reveló la existencia de un enzima: La transcriptasa reversa (Temin y Mizutani, 1970; Baltimore, 1970). La transcriptasa reversa vino a abrir una vía de agua en el Dogma Central. Lo que en principio se pensó que sería una excepción, como a menudo ocurre, adquirió a importancia creciente y, con la secuenciación de los genomas eucariotas se descubrió que éstos estaban repletos

de transcriptasas reversas. Las secuencias genómicas de procariotas y eucariotas has revelado un conjunto de genes en estos organismos, que como era esperado codifican para proteínas estructurales y funcionales esperadas, pero también han revelado muchas secuencias inesperadas como transcriptasas reversas y otras que no se corresponden con el concepto clásico de gen. Transcriptasas reversas y retroelementos ocupan una gran proporción e los genomas eucariotas. Además contienen multitud de RNAs no codificantes para proteínas, RNAs codificantes para microRNAs, transposones de DNA y de RNA y otras secuencias repetidas. ¿Por qué y para qué existen todas estas secuencias si o codifican proteínas estructurales ni del metabolismo? Algunas de ellas son responsables de la regulación de otras secuencias codificantes tanto a nivel transcripcional como traduccional (Peaston *et al.*, 2004). Además los transposones de RNA por medio de la transcriptasa reversa pueden ser responsables de la integración en el genoma de secuencias seleccionadas o modificadas, abriendo así la posibilidad de cambios rápidos en el genoma en respuesta al ambiente. Lamarck, que durante muchas décadas tuvo muy mala reputación en los textos de Biología, es ahora el protagonista de un resurgimiento porque se ha abierto la puerta a la posibilidad de que los caracteres adquiridos se hereden. La función de los transposones como generadores de biodiversidad se ha demostrado en bacterias (Doulatov *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2002), y en mamíferos se ha demostrado que los retrotransposones pueden regular la expresión génica a diferentes niveles. La genómica ha dado resultados importantes para entender la base de la biodiversidad. La variabilidad es una consecuencia de la estabilidad de determinadas combinaciones de secuencias de ADN. Los elementos móviles integrados en los genomas interaccionan continuamente en la formación de nuevas combinaciones (Sandín, 2005).

Estos resultados e ideas descubren un dinamismo insospechado hasta ahora en la naturaleza y abren la ruta para estudios de problemas básicos en Biología como la base de la diversidad y la herencia, pero también a nuevas visiones de la naturaleza y las relaciones entre los diversos organismos y sus orígenes.

### Lecciones

A menudo en la Historia los acontecimientos siguen la ley del péndulo. Si intentamos por ejemplo aplicar esto a la

historia reciente de la Biología, el resultado es un modo de observar los errores y los éxitos que puede iluminar el camino hacia el futuro. El filósofo e historiador de la Ciencia, Thomas Kuhn, indica que en el panorama científico, muchos grandes descubrimientos constituyen paradigmas y la tarea de los científicos consiste en intentar adaptar la realidad a esos paradigmas. En sus propias palabras:

*"The cleaning operations occupy most of the scientists during all their careers. They constitute what I call here normal science. Closely examined, both historically as well as in the contemporary laboratory, this enterprise seems to be an attempt to oblige nature to fit into the pre-established and relatively inflexible limits that the paradigm provides"*.

Los puntos de vista de Kuhn pueden parecer exagerados, pero... ¿Qué sería de la Ciencia si todos los puntos de vista exagerados hubiesen sido rechazados por ese motivo? Sólo la consideración de diversas opiniones, exageradas o no nos lleva a contemplar diferentes aspectos de la realidad. Visto desde la óptica de Kuhn, los grandes logros de la Biología, la teoría de Evolución por Selección Natural, la Teoría Celular, y, principalmente, el gran avance de la Biología Molecular, el descubrimiento de que la información hereditaria está contenida en el DNA, han contribuido a la consolidación del paradigma de la Biología de hoy. Hoy, el trabajo de los biólogos consistiría, según Kuhn, en adaptar la realidad a ese paradigma. Interpretando libremente al autor, los grandes descubrimientos obligan a la Ciencia a seguir caminos fijados. Dicho de otro modo, los paradigmas imponen el lenguaje. Por ejemplo, el éxito de la teoría de evolución por selección natural obliga a pensar en todas las seres vivos y sus entidades constituyentes (células, moléculas) compitiendo por la supervivencia del más apto; el éxito de la Teoría Celular obliga a describir los organismo sen términos de células; el descubrimiento de la naturaleza química del gen, obliga a pensar acerca de la herencia en términos de fragmentos de DNA y estas maneras de pensar, independientemente de que sean acertadas, que no siempre lo son, nos llevan, a la larga, a otras que son realmente perniciosas. Ilustraré esto con algunos ejemplos.

En su análisis del ciclo celular y su papel en el control del crecimiento en plantas, Beemster, Fiorani e Inzé (2003), presentan la disyunción entre una perspectiva celular (la división celular dirige el crecimiento) y una perspectiva

organismal (la división acompaña al crecimiento). Ellos parten del siguiente razonamiento:

*"When addressing the function of cell division in the growth process of a multicellular organism, the role of individual cells is a controversial issue. Two opposing views have been proposed: The cell theory and the organismal theory. The cell theory considers cells as elemental building blocks of the organism, and growth therefore results from an increase in cell number. According to the organismal theory, cells are merely compartments of organismal space, cell division being a consequence rather than the cause of growth..."*

Pero la disyuntiva ahí planteada no tiene sentido. El hecho de que los organismos están formados por células, no autoriza a hacer hipótesis en las que se necesite elegir si el desarrollo del organismo o alguno de sus aspectos estará dirigido por células o por el propio organismo. Obviamente, el organismo es el conjunto integrado de células, como los mismos autores mencionan después en su artículo:

*"Thus, we propose an integrated model whereby individual cells are the units of plant morphogenesis through their cell cycle and expansion activity. However growth processes are coordinated within the organism as a whole by growth-substance signalling..."*

Así los autores hacen un razonamiento circular que les lleva finalmente al punto de partida en el cual todos estamos y del que ellos mismos partían sin saberlo o pretendiendo no saberlo, lo que les permitiría finalmente proponer un modelo integrado que no es ni más ni menos que lo que todos sabemos.

El hecho reconocido que los seres vivos estén formados por células no reduce su complejidad, sólo simplifica nuestra operación de describirlos cuando hablamos de ellos, pero a la vez impone un lenguaje y determina nuestras posibilidades de reflexión. Pero, no obstante, con eso y con todo, los mecanismos de comunicación y de interacción entre células pueden tener todavía una complejidad indefinida.

El paradigma de la Biología Molecular puede también haber contribuido a introducir en las mentalidades de los científicos, tal vez de manera algo inconsciente, la idea

de que todos los procesos biológicos tienen sus moléculas protagonistas y, en el caso extremo responsables de ellos. Como punto de partida, esta actitud ha sido valiosa y ha dado resultados notables en lo que respecta a la identificación de moléculas que intervienen en procesos biológicos y su interacción, por ejemplo el control de Ciclo Celular, muchos tipos de cáncer o en la respuesta inmune. Las moléculas que intervienen en estos procesos, sus actividades e interacciones y los detalles de su regulación en respuesta a factores ambientales se han demostrado con las técnicas de la Biología Molecular, pero por otra parte, esta manera de razonamiento ha sido fuente de frustración en aquellos casos en los que las moléculas buscadas como responsables de algunos procesos no se han encontrado, o se han encontrado parcialmente; pero más importante aún es que esto ha podido llevar a un error conceptual: la idea errónea de que los procesos biológicos, en general, están controlados por moléculas. Los procesos biológicos, como veíamos antes, no están controlados por células, ni tampoco lo están por moléculas. Son el resultado de interacciones complejas entre moléculas y entre estas y factores ambientales, pero no están controlados por ninguno de estos factores, ni moleculares ni ambientales.

La estrategia utilizada por la Genética para confrontar el análisis de cualquier proceso biológico se ha aplicado de manera semejante en muchos laboratorios y en multitud de sistemas diferentes. La obtención de mutantes que interrumpen un proceso determinado fue el método desarrollado en la década de 1920-1930 por la escuela de Morgan y Sturtevant en *Drosophila*. Los mutantes se analizaban de diferentes modos con objetivos variados demostrando inequívocamente la implicación de determinadas moléculas, genes o proteínas en procesos biológicos. La genética directa, parte del proceso para identificar así los genes implicados. Por el contrario, la genética reversa parte de los genes para identificar los procesos o reacciones metabólicas en los que están involucrados.

Pero algo es que una molécula esté involucrada en un proceso y otra cosa bien diferente es que el proceso esté bajo el control de esa molécula. Los procesos fisiológicos y de desarrollo que ocurren en los seres vivos son complejos y resultan de la acción exquisitamente coordinada de cientos de miles de moléculas interaccionando entre sí y con

los factores ambientales. Si, en un mutante se interrumpe la acción de una molécula, el proceso completo puede alterarse, pero si alteramos otra molécula, no; quizás porque la segunda es reemplazada en su función por otra molécula. La primera molécula, que no puede ser reemplazada, no es por ello más importante que la segunda en el proceso en su estado natural.

Por otra parte, el identificar una función asociada con una molécula no significa que esta sea su única función. Las moléculas en la naturaleza se encuentran en complejos entramados y pueden participar en distintas tareas; entre ellas, las hay con funciones múltiples, a veces muy diferentes. Una búsqueda en la literatura puede revelar múltiples ejemplos, pero lo que importa aquí es que al nombrar una molécula por su primera función conocida podemos asociar la molécula con una de sus funciones de manera peligrosa, llevando a pensar que aquélla es su única función. Entre los experimentos notables de la reciente biología de las plantas se encuentran los que se diseñaron para encontrar mutantes alterados en respuestas hormonales y, en particular en su respuesta al etileno (Figura 7). Los primeros mutantes encontrados que eran insensibles al etileno se denominaron *etr1-1*, de ethylene resistant (Bleecker *et al.*, 1988). Se clonó el gen *etr1* y se demostró que la proteína ETR1 es un receptor de membrana, cuya actividad kinasa está regulada por la unión del etileno. Pero dicha actividad puede existir antes, o independientemente de, la unión del etileno. Por ejemplo en semillas antes de la germinación y, en consecuencia, el genotipo de los mutantes puede ser mucho más amplio que la respuesta alterada al etileno, afectando muchos aspectos de la fisiología de las plantas.

Deberemos tener mucha cautela con el nombre ETR porque puede llevar a la idea errónea de que la proteína se relaciona exclusivamente con la unión del etileno, algo que no es necesariamente cierto.

Otros ejemplos muestran cómo es posible que algunas opiniones y puntos de vista se extiendan porque dominan nuevos terrenos del lenguaje para los cuales no ha habido demostración ni verificación suficiente. Es interesante el caso de la investigación en el terreno de las secuencias que poseen algunas moléculas de RNA y cuya traducción facilitan al favorecer la unión a ribosomas por mecanismos específicos. Las secuencias en cuestión no tienen una es-

tructura primaria definida, sino variable y se descubrieron primero en virus y posteriormente en RNAs eucarióticos (Jackson and Kaminski, 1995). Se denominaron IRES (de Internal Ribosome Entry Sites). Pero, tras muchas descripciones de IRES en distintos sistemas, Kozak (2003) propuso que el concepto de IRES debería ser redefinido como Internal Regulatory Expression Sequence en lugar de Internal Ribosome Entry Sites, porque la tecnología utilizada en la mayoría de los ejemplos citados en la literatura no demostraba que muchas de estas secuencias, descritas previamente como IRES, operasen realmente al nivel de la traducción. Siempre en la vida hay solución para todo y por eso es fantástico el poder llamar a cualquier concepto mediante unas siglas, así cuando se demuestra que las palabras que inicialmente sirvieron para proporcionar las iniciales de la abreviatura ya no son válidas, es suficiente con buscar palabras que sigan sirviendo al concepto actual pero respeten la abreviatura y así nada habrá cambiado. Lo cual demuestra que el ser humano en sus fases más avanzadas del desarrollo, es decir, cuando dispone de un lenguaje más complejo, es entonces cuando realmente se vuelve un esclavo del lenguaje y cuando cuida pequeños aspectos del lenguaje más que las verdades que representan.

*Figura 7. Un experimento para aislar mutantes insensibles al etileno en Arabidopsis. En la oscuridad, el etileno inhibe el crecimiento. Las plantas que crecen en presencia de etileno son insensibles a este gas. La planta que crece en el centro tiene la mutación *etr1-1* en el gen *etr1* y, por tanto, es insensible al etileno. Pero la mutación puede tener otros efectos independientes de la acción del etileno porque el gen mutado codifica para un receptor de membrana que, además de ser el receptor del etileno puede tener otras funciones.*



*Toda la Filosofía es, por tanto al fin, Filología. Y la Filología, con su gran y fructífera ley de las formaciones analógicas, abre la puerta al azar, a lo irracional, lo absolutamente inconmensurable. La Historia no son Matemáticas, ni Filosofía. ¡Cuántas ideas filosóficas no se deben estrictamente a algo similar a una rima, a la necesidad de colocar acertadamente una consonante! En el mismo Kant hay algo de esto, simetría estética, rima.*

Unamuno. *El sentido trágico de la vida*

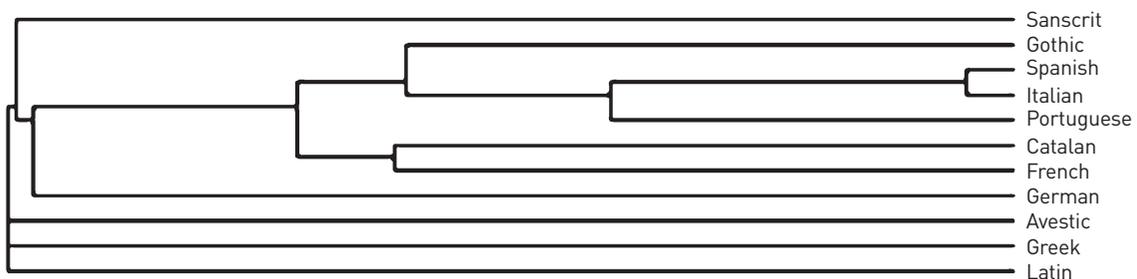
## 7. BIOLOGÍA Y LINGÜÍSTICA

Podemos definir el lenguaje como un medio sistemático de comunicación basado en el uso de sonidos o símbolos convencionales. En general, se aplica a la comunicación humana, pero no es difícil ver que muchos sistemas de comunicación similares basados en el intercambio de sonidos o moléculas existen en la naturaleza mucho antes de la humanidad.

El origen del lenguaje reside en los procesos de comunicación entre los seres vivos y por lo tanto, está indisolublemente unido a la evolución biológica. El objeto de estudio de la Lingüística está vinculado con la Antropología y así la Biología Evolutiva y la Lingüística son parte de un continuo, en el que ambas convergen en la Antropología. La evolución de las palabras, las unidades del lenguaje, presenta aspectos similares a la evolución de genes y proteínas (Figura 8).

*Figura 8. a) Alineamiento de la palabra PADRE en once idiomas y b) su dendrograma correspondiente. Los idiomas más antiguos (Sánscrito y avéstico; griego y latín), tienen sus raíces comunes a la izquierda del dendrograma. Si la raíz común de dos idiomas está próxima al extremo de la derecha, esto indica un mayor parecido y, por tanto la posibilidad de una separación más reciente de ambos idiomas. La regla se aplica bien en el español y el italiano, entre los cuales la palabra es idéntica (no ha habido divergencia) y también en Portugués, Catalán y Francés, en los cuales la palabra se ha diferenciado recientemente.*

Greek	PATER	5
Latin	PATER	5
Avestic	PATER	5
Sanscrit	PITER	5
German	VATER	5
Catalan	PA RE	4
French	PE RE	4
Spanish	PADRE	5
Italian	PADRE	5
Portuguese	PAI--	3
Gothic	FADAR	5



Pero la Lingüística es, además, la disciplina que se dedica, más que ninguna otra y de manera seria y coherente a su compromiso de responder preguntas estúpidas. No lo digo despectivamente, sino más bien al contrario, con admiración profunda porque pienso, sinceramente, que las cosas estúpidas son muy importantes en la vida; es más, creo que nos equivocamos cuando llamamos estúpidas a muchas cosas cuyo significado desconocemos. Éste es uno de los principales motivos por los que este texto está dedicado a la princesa Cristina. Porque ella hizo la gran estupidez de viajar desde Noruega hasta Castilla para casarse con un sacerdote y luego morir pronto. Pero esto dio sentido a su vida y por esto la recordamos hoy, cuando ya se cumplen casi ochocientos años desde el día de su muerte. Los hechos estúpidos, las preguntas estúpidas abren importantes espacios para reflexión. Por ejemplo, yo puedo preguntar: ¿Es posible hoy descubrir algo interesante con la única base de la pura observación? Esta pregunta me lleva a otra: ¿Estamos hoy utilizando la capacidad de observación en todo su potencial? O, por el contrario, al utilizar una tecnología avanzada, esto en consecuencia ¿reduce nuestra capacidad de observación y limita las capacidades del lenguaje, de la reflexión o las capacidades de plantearse preguntas? Las preguntas estúpidas pueden encerrar paradojas importantes que revelan conceptos esenciales acerca del lenguaje y, en definitiva, acerca de nuestra comprensión e interpretación del mundo. Wittgenstein (1974) dijo:

*“Los límites de mi lenguaje significan los límites de mi mundo. Los límites de mi mundo son los límites de mi lenguaje.”*

Pero Unamuno, en su ensayo “El sentido trágico de la vida” va más allá:

*“Toda la Filosofía es, por tanto al fin, Filología. Y la Filología, con su gran y fructífera ley de las formaciones analógicas, abre la puerta al azar, a lo irracional, lo absolutamente inconmensurable. La Historia no son Matemáticas, ni Filosofía. Cuántas ideas filosóficas no se deben estrictamente a algo similar a una rima, a la necesidad de colocar acertadamente una consonante! En el mismo Kant hay algo de esto, simetría estética, rima.”*

¿Sugiere atrevidamente Unamuno que el lenguaje puede sorprendernos cuando tratamos de entender el mundo? Uno de los personajes descritos por Lewis Carrol en *Alicia*

en *el país de las maravillas* dijo, convencido, que somos los dueños de nuestras palabras, pero, ¿acertaba?, ¿podría ser cierto lo contrario, es decir que las palabras sean nuestras dueñas?

El lenguaje es la base para el desarrollo científico. La Ciencia parte del lenguaje y por eso los científicos debemos ser extremadamente cautos con su uso e interpretación. En nuestro discurso, el lenguaje hace inserciones, deleciones y mutaciones. En este texto es el lenguaje, y solamente el lenguaje, quién ha insertado treinta y cinco líneas antes de volver a una cuestión anterior: *Es posible hoy descubrir algo interesante con la única base de la pura observación?* Es el lenguaje quien ahora me pregunta y me permite analizar esta cuestión. Es curioso, ahora escribo estas líneas en Salamanca, a doscientos metros del lugar donde Unamuno escribió la sentencia escrita arriba por primera vez. La pregunta contiene dos conceptos clave: Descubrir y observar. Lo que descubrimos es el fruto de lo que observamos y cómo lo observamos. Es la consecuencia de las herramientas utilizadas en la observación, combinadas con la preparación del observador. Podríamos decir: Descubrimos lo que estamos preparados para descubrir. O dicho de otra manera más drástica: Descubrimos lo que queremos descubrir. Ésta es la razón por la cual es tan importante saber y saber expresar lo que uno desea: La amplitud de un experimento viene dada por su planteamiento, en el cual siempre intervienen los conceptos y las ideas del lenguaje que, en contraste con la tecnología, no tienen límites. La amplitud de un experimento depende de la tecnología disponible para realizarlo, sí; pero mucho más depende de la amplitud de ideas y de conceptos ocurridos durante su planteamiento y diseño. La especialización rigurosa, unida al uso de herramientas sofisticadas, son los ingredientes necesarios para obtener observaciones parciales, tal vez aplicadas, pero de escasa relevancia científica. Sólo expresando preguntas ambiciosas se pueden obtener respuestas de amplio contenido, interés y significación. La dificultad estriba principalmente en el lenguaje. La clave es nuestra capacidad para expresar preguntas. Como dijo Thomas Kuhn en su libro *The structure of scientific revolutions* (1962):

*“The more surprising characteristic of the normal research problems that we have just seen is perhaps how little they aspire to produce important, conceptual or phenomenal novelties.”*

La Figura 9 muestra una representación esquemática de las relaciones entre la Biología y la Lingüística y sus objetos de estudio. Siendo el lenguaje un producto de los seres vivos, la Lingüística entonces podría considerarse una rama de la Biología.

Figura 9. Lingüística:

Figura 9: a) Relaciones entre la Biología y Lingüística basadas en sus objetos de estudio. Si se incluye el lenguaje en la naturaleza, como un producto de los seres vivos, la Lingüística es una parte de la Biología.



Figura 9: b) La relación entre Biología y Lingüística muestran un mayor grado de complicación porque el lenguaje es, a la vez, el objeto de la Lingüística y el origen de toda la Ciencia.

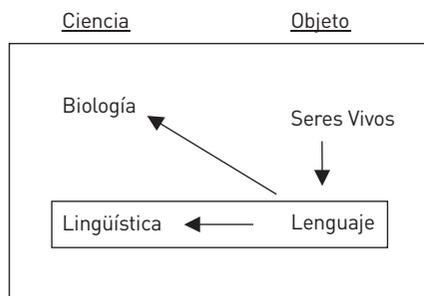
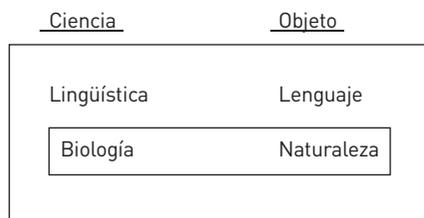


Figura 9: c) También se pueden representar las relaciones entre Biología y Lingüística de manera opuesta a como se representan en la Figura 9a, porque si consideramos que en la naturaleza tan sólo podemos apreciar lo que el lenguaje nos permita interpretar, entonces la naturaleza es una parte del lenguaje, y por lo tanto la Biología, una rama de la Lingüística.

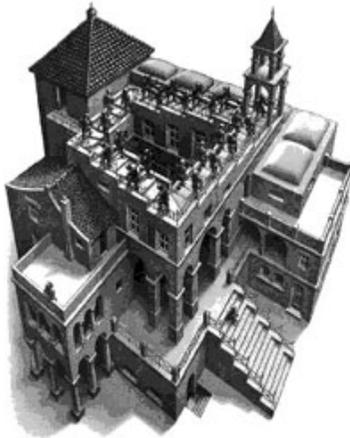


Pero no sólo el objeto de estudio de la Lingüística, el lenguaje, tiene su origen en la evolución de la especie humana, sino que también la Biología como Ciencia tiene su origen en el uso del lenguaje humano, por tanto la relación es más complicada porque el lenguaje es, a la vez, el objeto de la Lingüística y el origen de toda la Ciencia (Figura 9b). Pero visto de otra manera, también se pueden representar las relaciones entre Biología y Lingüística de manera opuesta a como se representan en la Figura 9a, porque si consideramos que en la naturaleza tan sólo podemos apreciar lo que el lenguaje nos permita interpretar, entonces la naturaleza (todo aquello que podemos conocer acerca de ella) es una parte del lenguaje, y por lo tanto la Biología, una rama de la Lingüística (Figura 9c). En definitiva, el objeto de la Biología y el origen del lenguaje están en la naturaleza, pero al mismo tiempo el lenguaje es el objeto de la Lingüística y el origen de toda la Ciencia. La situación recuerda uno de aquellos dibujos de Escher, en los cuales los límites de unos objetos definen otros objetos diferentes (Figura 10a), o aquellos en los que figuras en movimiento, siguen recorridos circulares a lo largo de escaleras, que subiendo y bajando a la vez, los llevan a sus puntos de partida iniciales (Figura 10b). Pero aquí no hacemos uno de esos recorridos circulares, sin un objetivo, sino que hemos llegado a una conclusión: Puesto que tanto la figura 9a como la 9b son ciertas, debemos concluir que la naturaleza es el lenguaje y el lenguaje es la naturaleza. Del mismo modo la Biología es la Lingüística y la Lingüística es la Biología, ambas disciplinas son lo mismo, sus objetos son idénticos.

Nuestro objetivo es destacar la importancia que tiene el lenguaje en Biología y en la Ciencia en general. Hasta en los ejemplos de mayor relevancia, en los experimentos de más éxito de la historia de la Biología, cuando se ha obtenido más información acerca de la estructura y el funcionamiento de los seres vivos, todos aquellos experimentos fueron diseñados e interpretados desde y con el lenguaje. El biólogo español Máximo Sandín, en su artículo "La transformación de la evolución" indica que un gran problema en Biología es la necesidad de reflexionar acerca de los términos y conceptos que son parte del lenguaje biológico.

*"Pero el grave problema de fondo al que nos enfrentamos los biólogos y que debemos solventar si queremos salir de la situación de incompreensión y de alejamiento de la Natura-*

Figura 10. Lingüística: a) Este dibujo de M. C. Escher muestra una serie de imágenes de pájaros cuando se mira de arriba abajo pero de peces si se mira de abajo arriba. En medio del dibujo, los pájaros (en negro) se mezclan con los peces (en blanco). Algo parecido ocurre en las relaciones entre Biología y Lingüística. Para muchos estudiantes de lingüística puede parecer que su objeto de estudio está claramente definido e independiente (el pez, abajo), pero una visión global, revela que el objeto se encuentra en relación muy estrecha con la naturaleza y el objeto de estudio de la Biología (el pájaro, arriba). b) En muchos de los dibujos de M. C. Escher, los personajes se mueven en edificios en los cuales las escaleras suben y bajan simultáneamente. La ruta de un personaje está destinada a cruzarse así con la de otros múltiples veces para terminar todas en el punto inicial.



leza a la que nos ha llevado la vieja doctrina, es reflexionar sobre el origen y el verdadero significado de sus términos y conceptos que han pasado a formar parte lenguaje biológico y que son los responsables de muchas interpretaciones

*distorsionadas cuando no incompatibles con la lógica más elemental."*

Una visión de la naturaleza antropocéntrica y distorsionada atraviesa todas las interpretaciones de los resultados en Biología (Sandin, 2005). La aceptación general de que la selección natural es la explicación de la Evolución resulta en la extensión de un lenguaje basado en esta opinión a todas las disciplinas de la Biología. Esta situación es paradójica. La Biología Evolutiva es, de entre todas las disciplinas de la Biología, la menos experimental. El estudio de la evolución no puede ser experimental porque se refiere a cosas que ocurrieron una vez pero nunca se repetirán. Se pueden hacer experimentos en relación con las interpretaciones de la evolución, pero nunca sabremos cuán cerca de la realidad está nuestra interpretación. Pero por otra parte, como hemos visto, la Bioquímica y la Genética han sido disciplinas experimentales del mayor éxito. Por lo tanto resulta extremadamente paradójico y contrario al sentido común que el lenguaje se haya transmitido en la dirección desde la Biología Evolutiva hacia la Biología Experimental. Los resultados de experimentos se interpretan en base a puntos de vista y opiniones preconcebidas. Sandin menciona el artículo de Markine-Goranyoff *et al.* (2004), en el cual los autores afirman:

*"Viruses have acquired mechanisms to mimic, hijack or sabotage host processes..."*

Y el artículo de Hughes y Friedman (2003) titulado "Genome-wide survey for genes horizontally transferred from cellular organisms to baculoviruses", en el que se asume que la transferencia es unidireccional, lo mismo que en el artículo de Melamed *et al.* (2004) en el que se afirma que determinadas secuencias conservadas entre *Schistosoma* (un gusano parásito) y salmónidos han sido transferidas de los peces al gusano, es decir la transferencia génica siempre se describe como si tuviese lugar del organismo más complejo al más simple, lo cual es sesgado y probablemente erróneo.

Conclusiones muy parecidas a las de Sandin son las de Alexander E. Sedov en su artículo titulado "Genetics as developing hypertext: Sets of metaphors in multilevel cognitive models", en el cual el autor encuentra muchos conceptos ocultos en el discurso profesional de la Genética.

"So, in modern genetic terminology, the whole living bodies and their communities are characterized as mechanical phenomena, while diverse functional nucleotide sequences are perceived as 'the small living things with their own will'".

En este capítulo he intentado destacar la importancia del lenguaje en Biología. La utilización correcta del lengua-

je no sólo atañe a su correcta ortografía y gramática. La adquisición del lenguaje marca el punto clave de la evolución humana, en donde el ser humano adquiere su principal riqueza. El lenguaje no sólo es una herramienta de comunicación sino la clave para entender al ser humano y a su relación con la naturaleza. Determina nuestro comportamiento y marca nuestros objetivos, con los que interacciona bidireccionalmente.

*"El hombre, por la naturaleza indefinida de la mente humana, cuando se sumerge en la ignorancia, hace de sí mismo el centro del Universo."*

Giambattista Vico. *"Principi di scienza nuova"*. Nápoles, 1744.

## 8. BIOLOGÍA Y PSICOLOGÍA

Ya hemos mencionado en el capítulo 5 que el conocimiento no se adquiere de una manera única: Ni sólo en los sueños, ni exclusivamente mediante observaciones, ni únicamente mediante el Método Científico. Hasta en las fases más iniciales del desarrollo del ser humano, cualquier entrada de nueva información se integra de manera compleja en la forma de nuevas conexiones dentro de redes neuronales preformadas. Los modos más complejos de adquirir el conocimiento: La aceptación o el rechazo de teorías como resultado de la observación o de la aplicación del Método Científico, también se integran en estas redes que incluyen, a su vez, elementos primitivos. El desarrollo del sistema nervioso de los animales superiores y del hombre incluye pasos sucesivos que repiten, uno a uno, los estadios del desarrollo característicos de grupos de animales inferiores a lo largo de la historia evolutiva. Los procesos más avanzados del hombre, lo que aprendíamos antiguamente que eran las características principales del espíritu humano: memoria, entendimiento y voluntad; o también facultades del alma: memoria, fantasía e ingenio son el fruto de un desarrollo integrado que incluye pasos correspondientes a todas las escalas. El psiquiatra Antonio Damasio, en su libro *El error de Descartes: La emoción, la razón y el cerebro humano*, discute la base de los procesos superiores de la mente humana, tales como la toma de decisiones. Según la opinión cartesiana, estos serían el

producto del intelecto, que residiría en las estructuras superiores del sistema nervioso características del ser humano. Pero según Damasio, los mecanismos que dirigen dichos procesos no residen exclusivamente en ninguna estructura superior del sistema nervioso, sino que estos procesos complejos están profundamente enraizados en todo el sistema nervioso incluyendo sus estructuras más primitivas y ancestrales. La parte más primitiva de nuestro sistema nervioso tiene un papel importante en la integración y dirección de nuestras actividades superiores. No existe nada parecido a una división entre mente y cuerpo o cuerpo y espíritu y las regiones más evolucionadas del sistema nervioso humano están integradas y conectadas en proximidad con las más primitivas. El desarrollo del intelecto en el ser humano es el último escalón de una serie de procesos de desarrollo como los que tienen lugar en los organismos superiores, plantas y animales, pero en cada paso intervienen todos los anteriores. El desarrollo humano es ejemplo y paradigma de la complejidad de los procesos de desarrollo en general. Se trata de procesos emergentes, llamados también caóticos, en los que un pequeño cambio en una variable puede alterar toda la organización del sistema. En matemáticas este tipo de sistemas han adquirido mucha importancia recientemente (Scott, 2003) y se relacionan con el concepto literario de epifanía, puesto de moda por James Joyce en *Finnegan's wake*, que significa la manifestación repentina o la percepción de la naturaleza esencial o el significado de algo.

Entre los ejemplos más claros que pueden ilustrar este concepto son las obras de arte. Una obra de arte posee un significado en sí que no se debe ni a ninguna de sus partes ni tampoco a la suma de sus partes. Es un sistema emergente, como un ser vivo.

El biólogo Enrico Coen, en su libro *The Art of Genes*, compara los pasos sucesivos del desarrollo de un organismo pluricelular con los pasos dados por un pintor en el proceso que resulta en la creación de un cuadro. Ambos libros, el de Damasio arriba mencionado y el de Coen, tratan con diferentes cuestiones que son las actividades mentales superiores del hombre y el desarrollo de estructuras complejas, pero la conclusión de ambos es semejante y es que la integración es compleja y no se explica nunca en términos de relaciones lineales en los que un sistema sea la suma de sus partes, sino que tiene lugar el fenómeno de emergencia, característico de los sistemas complejos, por el cual las propiedades de un sistema van más allá de la suma de sus partes.

La evolución biológica consiste en un incremento con el tiempo en los niveles de organización y en la complejidad.

Estructuras independientes van agrupándose y formando estructuras de un orden superior (Szathmáry and Maynard Smith, 1995). En cada uno de los pasos principales tiene lugar un fenómeno emergente: átomos se unen para formar moléculas; moléculas se unen para formar células; células se unen para formar organismos. Las fases sucesivas que ocurren a lo largo del proceso de desarrollo de un organismo pluricelular, repiten estas últimas etapas. El desarrollo parte de una sola célula, que, por división forma un grupo de células poco diferenciadas, a partir del cual van apareciendo los distintos tejidos y órganos

En el ser humano el desarrollo, desde un punto de vista biológico, es prácticamente igual al de las especies relacionadas. La aparición del ser humano no es un acontecimiento desde el punto de vista biológico: no supone ninguna transición hacia un orden superior. Por otra parte, la Biología tampoco explica satisfactoriamente los procesos de humanización. El resultado final es complejo y no puede explicarse en términos de una relación directa causa-efecto sino que siempre es susceptible de múltiples explicaciones, todas ellas válidas y todas incompletas.

*"Las plantas más estimadas de las que hablaré, y que son producidas por la tierra con fines medicinales, son causa de admiración por la investigación laboriosa realizada por los antiguos. No hay nada que no hayan intentado experimentar o dejado sin intento; ninguno de sus descubrimientos que no hayan comunicado, o que no hayan deseado dejar para el beneficio de la posteridad. Por el contrario, nosotros, en el día presente, hacemos nuestro objetivo el ocultar los resultados de nuestro trabajo y el privar a nuestros camaradas de beneficios que incluso han sido alcanzados por otros. Más allá de toda duda, es cierto que todos aquellos que han ganado una pequeña accesión al conocimiento, la guardan para ellos mismos y envidian que pueda ser disfrutada por otros. Dejar a la humanidad sin instrucción es hoy la principal prerrogativa del aprendizaje. Tan lejos estamos de aquella costumbre de penetrar en nuevos campos del descubrimiento con la intención de beneficiar a la humanidad, en un sentido amplio, que por un largo tiempo pasado ha sido el mayor esfuerzo de cada uno guardar para sí mismo los resultados de la experiencia de épocas anteriores y así enterrarlos para siempre."*

Plinio el viejo

## 9. BIOLOGÍA Y EDUCACIÓN

Hemos visto la importante diferencia entre información y conocimiento. La educación se refiere a la transmisión del conocimiento entre dos polos: donante y receptor. Pero es algo más complicado.

La educación implica necesariamente el desarrollo de la personalidad en el recipiente y esto recuerda dos puntos que surgieron en el capítulo anterior sobre Psicología: El desarrollo de los organismos superiores y la adquisición de la conciencia y las propiedades del intelecto, representados ambos en los dos libros allí comentados.

El desarrollo de los organismos superiores y la adquisición de la conciencia así como la educación son procesos complejos, que siguen dinámicas no lineales y abiertas, es decir extremadamente sensibles a las variaciones ambientales y externas. Es por este motivo que la educación necesita ser holística, globalizante, necesita tener en consideración a las diferentes disciplinas de las ciencias junto con las artes y la cultura. Tradicionalmente, las disciplinas de humanidades se han considerado esenciales para que el ser humano se conozca a sí mismo. La Historia es necesaria para entender el mundo, La Filosofía es necesaria para saber qué tipo de cosas debemos saber. Sin la Historia el hombre es ignorante, sin la Filosofía se convierte en un ser manipulable, como dejó escrito Julián Marías en un breve ensayo acerca de la educación:

*"El pensamiento riguroso, el único que realmente merece llamarse pensamiento, es el pensamiento filosófico; todas las demás formas de pensamiento tienen en él sus orígenes; olvidar o peor aún, suplantarlo tiene consecuencias devastadoras..."*

*... La literatura es la expresión de la realidad humana, de la complejidad, y en ella es necesario el dominio del lenguaje, que permite la instalación en la realidad que conduce y guía el pensamiento. Aunque pueda parecer increíble, todo esto*

*se olvida e ignora y así se produce en gran parte del mundo un tipo humano que es el bárbaro cargado con informaciones, con las cuales no sabe qué hacer. La justificación para ello es la ciencia y, más aún la técnica".*

Estas opiniones de Julián Marías son muy semejantes a las de Verene en su libro *The art of Humane Education* (2002). En él, el autor recuerda que, en la educación, más allá del conocimiento están los conceptos de sabiduría y virtud los cuales han perdido la importancia que tuvieron en la Edad Media. Para este autor, la educación es el primer compromiso y necesidad del ser humano e implica la comprensión de otras maneras de vida, de la condición humana y la preocupación por principios morales, el respeto por otras personas, por la libertad y por los valores morales, en particular la verdad. Sin educación, esto desaparece. Pero sin Filosofía, sin un conocimiento integrado, no hay educación.

En este breve capítulo hemos vuelto a tocar algunos de los aspectos que habían surgido en el anterior. De la mano de dos humanistas Marías y Verene hemos vuelto a ver la importancia de un conocimiento holístico, integrado, la importancia de la Filosofía. En la Edad Media, el período que ahora consideramos oscuro, a las personas que habían tenido el privilegio de tener una educación, no se les escapaba su importancia y sabían bien en qué consistía ésta.

*Love is not in the little houses  
But outside in that storm  
Playing with the mountains  
With long fingers of light*

Charles Frisbie

## 10. BIOLOGÍA Y FILOSOFÍA. PERSPECTIVAS

### 1.

Para los filósofos de la antigüedad, la naturaleza era el objeto de estudio. Sus planteamientos partían de preguntas muy generales: ¿qué es el ser humano?, ¿cuál es su relación con la naturaleza? Para responderlas, recurrían

a aproximaciones globales, intentando tener en cuenta todos los puntos de vista posibles. Así, Aristóteles escribió ampliamente acerca de los fenómenos de la naturaleza, de las plantas y de los animales. En la Alta Edad Media, Juan Escoto Erígena escribió *De divisione naturae*, y más adelante, Alberto Magno se ocupó ampliamente en sus estudios acerca de animales y plantas. Como un docente ejemplar, sacerdote y miembro de la Universidad de París,

en sus trabajos intentó definir los contenidos y reglas del mundo real revisando los tratados de los clásicos e intentando poner un orden y señalar la diferencia entre lo real y lo imaginario (Steib y Popp, 2004). En la Edad Media, como veíamos en el capítulo tercero, la relación entre ficción y realidad era diferente a como es hoy. La ficción y la realidad se mezclaban con frecuencia. La falta de conocimientos en cartografía, meteorología, climatología y otras ciencias daba lugar a que cualquiera pudiese pensar que, en un momento dado, podría ocurrir cualquier cosa: una lluvia de fuego, naves circulando por el aire. Por supuesto, el riesgo aumentaba al viajar, ya que uno podía acabar en cualquier lugar, real o imaginario. Por eso hemos empezado nuestro relato a partir de una historia ocurrida en 1250 y relacionada con un viaje. Porque en aquellas circunstancias no existía un concepto de realidad tan predecible y consensuada como hoy existe. Tal vez sin quererlo, Alfonso X el Sabio y Alberto Magno estuvieron entre los primeros en poner los cimientos para la construcción de una realidad predecible y consensuada. Mediante su trabajo, en buena parte consiguieron poner por escrito la descripción del mundo real, las bases con las que todos debemos estar de acuerdo, so pena de caer en el aislamiento e incompreensión. Esta necesidad de describir la naturaleza basándose en una distinción neta entre lo real y lo fantástico constituye la base sobre la que se asentaría posteriormente la actividad científica. Como todo, tiene su lado positivo y su lado negativo. Predecir algo es positivo; admitir que algo es predecible, limita su componente desconocido y misterioso, reduce su interés.

La Ciencia, entendida como el conjunto de aplicaciones del Método Científico se asentó sobre la base de una descripción del mundo aceptada. Consecuencia de las ideas de una élite de intelectuales y clérigos que, en buena medida, fue desarrollada por la Iglesia católica. Cuando Descartes y Francis Bacon publicaron sus escritos, ya existía una serie de universidades, conventos y bibliotecas en donde la necesidad de llegar a una descripción consensuada de la naturaleza estaba profundamente arraigada. En esta descripción de la naturaleza tradicional se admite la discusión acerca de conceptos sobre los cuales se ha podido dudar a lo largo de la historia. ¿Qué es la verdad?, ¿tienen las ideas algún modo de existencia propio? O ¿existe el infierno?, pero no se ha dudado de su base, de su sustrato; es decir, la sociedad occidental no duda que existen unos principios, unas reglas del juego que han sido aceptadas

como el respeto a unas instituciones establecidas hace más de mil años y la posibilidad de hacer una descripción correcta y única de la naturaleza. Pero no sólo se trata de la aceptación de reglas, sino también la aceptación de algunos conceptos. Entre ellos, por ejemplo la idea de identidad. Para realizar cualquier tipo de estudio e investigación se parte de un objeto de estudio, que se aísla del medio circundante. Yo soy yo y existo como entidad independiente, igual que la princesa Cristina o Alfonso X. Otras entidades independientes son una planta o un animal, o una especie. Además, se admite la idea de causa y las relaciones causa-efecto. Todo se tiende a explicar como consecuencia de una causa previa y esto es la aceptación de la doctrina aristotélico-tomista que llega hoy a sus extensiones más avanzadas. Pero no necesariamente tiene que haber causas puntuales responsables de las cosas. Como decía Parménides el ser, es.

## 2.

Con el desarrollo del Método Científico, el avance de la tecnología y después de la Revolución Francesa, la Ilustración y la extensión y diversificación del conocimiento, cada disciplina científica tiene sus objetos de estudio preferentes; cada rama del conocimiento ocupa un espacio bien definido y que, con el tiempo, se ha ido haciendo inaccesible a las demás. La Filosofía debe ceder una buena parte de su terreno. A partir del siglo XX, para los filósofos, el objeto de estudio no es ya la naturaleza en su totalidad, porque son conscientes de que su capacidad para comprender determinados aspectos es limitada.

Las ideas de Kant, Hegel, Schopenhauer y Nietzsche, que resultaron en cambios importantes, no sólo en la Filosofía, sino en la manera de contemplar el mundo, son también el canto del cisne de la Filosofía como una disciplina que se ocupa de todo el conocimiento. Demuestran que el hombre no puede abarcar en su conocimiento a la naturaleza, porque todo el conocimiento que podemos tener acerca del mundo y su realidad es una representación, siempre sometida a nuestros sentidos y gobernada por los mecanismos de la razón. Quizás también de manera involuntaria, su trabajo contribuyó a la tarea en marcha que consistía en hacer de la Filosofía una disciplina especializada, la cual tiene unos puntos de vista completamente diferentes de las disciplinas basadas en el Método Científico. Los filósofos románticos alemanes son, tal vez, los representantes

de la última escuela empeñada en mantener la unidad de los clásicos, el afán por comprender a la naturaleza de una manera global en la que tan necesaria es la Ciencia como la Poesía. Desde entonces, la unidad entre Filosofía y Ciencia se rompe y ambas disciplinas toman caminos divergentes. En Filosofía, la realidad no tiene importancia porque no existe, tan sólo existe la percepción de esa realidad (Fenomenología); por lo tanto, la Filosofía se asocia con la Psicología y ambas se separan del estudio de la naturaleza (Biología). Los biólogos miramos a los seres vivos como sistemas complejos, pero, sin embargo, los consideramos entidades reales, individuales e independientes pertenecientes al mundo real y no productos de nuestra percepción, sino externos a ella. No nos preocupamos de preguntarnos por los mecanismos de observación o los métodos de análisis que hemos utilizado para observarlos. El planteamiento del filósofo moderno no tiene nada que ver. Sabe que todo lo observado es una representación (Schopenhauer), la consecuencia de una mente en acción (Kant). Para el biólogo, los genomas son entidades reales del mundo real, mientras que para el filósofo no hay nada que merezca esa consideración (real) fuera de nuestra percepción. Si yo, biólogo, intento hablar con un filósofo acerca del genoma, en primer lugar tengo que empezar por describir en detalle el origen del concepto genoma, los métodos y tecnología utilizados en su descripción, pero esto requiere tal cantidad de detalles que el diálogo en común terminará por ser imposible. Los puntos de vista del Biólogo (científico, inductivo) y del Filósofo (descriptivo), representan posiciones casi opuestas e irreconciliables. Los biólogos necesitan darse cuenta de que están tratando con conceptos abstractos, muchos de los cuales derivan de la utilización de tecnologías complejas, otros son productos de la aceptación de maneras de razonamiento con poca base experimental y todos ellos productos de la historia de la biología que se enreda en la Historia.

El genoma es el conjunto de genes y secuencias de ADN que existen en cada una de las células de los seres vivos y constituyen su material hereditario pero también es un concepto abstracto derivado de la aplicación de la tecnología al análisis molecular de los seres vivos. Nunca existe aislado de los demás componentes del ser vivo, con los cuales interacciona. Aunque se habla del genoma humano o del genoma de *Arabidopsis*, la idea de una correspondencia biunívoca entre una especie y un genoma o un individuo y un genoma es imprecisa. Según la definición

anterior, existirá un genoma en cada célula. Pero ese genoma propio de la célula es una entidad dinámica y siempre que haya actividad celular, podrá haber cambios en el genoma. Las variaciones entre genomas de distintas especies seguramente se corresponderán con diferencias mayores que entre genomas de individuos de la misma especie pero se desconoce en qué consisten estas diferencias.

La Biología surge como la disciplina del conocimiento encargada de explicar los seres vivos, pero en su explicación sigue las normas que rigen el pensamiento en general. Los principales procesos y cuestiones que la Biología debe explicar se ven como una sucesión de acontecimientos en el tiempo; series de relaciones causa-efecto. Pero a partir de resultados recientes de la Biología, esta causalidad, esta necesidad de explicar la causa de cada proceso y de cada fenómeno observado, necesita ahora ser remplazada por el reconocimiento de una sincronicidad. La regulación de cualquier proceso biológico ocurre a diferentes niveles de los cuales no hay ninguno más importante o que excluya a los demás. A lo largo del desarrollo de un organismo, la diferenciación celular se dirige por factores de transcripción específicos de tejido, pero los factores de transcripción se regulan a múltiples niveles: Transcripción, traducción, estabilidad del RNA, estabilidad de la proteína, con la participación de mecanismos reguladores diversos (micro RNAs, el proteasoma,...) y todo esto ocurre a la vez, de manera perfectamente sincronizada en millones de células. Nuestra representación del sistema dependerá siempre de los métodos utilizados en el análisis y, principalmente, del lenguaje utilizado, siendo siempre multidimensional y compleja, pero,... incompleta, y siempre tenemos que darnos cuenta de que será eso, una representación.

La realidad puede contener aspectos importantes que permanecen fuera del cuadro, bien porque no hemos utilizado los instrumentos necesarios para su observación, bien porque nuestra observación no ha sido lo suficientemente paciente o porque no preguntamos la pregunta adecuada. El cambio de mentalidad requerido para entender los procesos de desarrollo y evolución de los seres vivos debería comenzar por la atenta lectura del poema de Parménides.

### 3.

Al analizar en detalle el funcionamiento de las unidades fundamentales de los seres vivos, las células, la Biología

ha encontrado que nada es estable. A pesar de las opiniones mantenidas durante siglos, la importancia de los individuos en la naturaleza, la importancia de las especies, son cuestiones de consenso. El individuo no está bien definido biológicamente y la especie menos; sólo lo están mediante consensos, pero en los consensos que se han adoptado en genómica aparecen lagunas que demuestran cuán peligroso es confiar en consensos y en generalizaciones. Por ejemplo, hablando del genoma humano se acepta la existencia de un 5% de regiones desconocidas y una fracción mucho mayor aún de regiones variables. Pero un 5% puede ser muy importante en este caso. ¿Qué hay en el genoma humano que lo define como humano?, no lo sabemos. Tan sólo el hecho de que se ha obtenido a partir de seres humanos. En cualquier caso, lo esencialmente humano no reside en el genoma, ni en el cerebro, sino en la vida, sorprendente, impregnada de convivencia, y en la educación.

La Biología analiza, describe e interpreta a los seres vivos, pero de la Filosofía aprendemos que todo el conocimiento es una representación. Hemos visto en los capítulos precedentes que la observación de la naturaleza y la aplicación del Método Científico han dado sus resultados en el desarrollo de ideas para el avance de esta ciencia. Las ideas, incluso las principales son vistas parciales de la realidad que deben integrarse en el conocimiento para cumplir los objetivos de la Biología: Entender la evolución y el desarrollo de los seres vivos; explicar la vida. Pero la integración de nuevas ideas ocurre siempre sobre las bases de ideas anteriores y hemos visto también como a pesar de la gran capacidad del Método Científico, que permite verificar hipótesis y repetir experimentos hasta confirmarlas o rechazarlas, a menudo la interpretación de resultados depende de conceptos establecidos. No solamente las hipótesis y explicaciones que se refieren a disciplinas más alejadas del terreno experimental están sometidas a la influencia de ideas preestablecidas, sino que paradójicamente, el lenguaje consolidado en las disciplinas menos experimentales impregna a las experimentales. Ocurre como si, cuanto más poderoso es el Método Científico, paradójicamente, la interpretación de sus resultados tiene que estar más sometida al lenguaje admitido (Sandín, 2005).

La evolución es un hecho establecido. Como todo en la superficie de la tierra, los seres vivos han cambiado con el tiempo. Pero en el entorno pragmático y especializado de

la ciencia de hoy se considera casi como sinónimo de aceptación de la evolución de los seres vivos, la aceptación de la Teoría de Evolución por Selección Natural (Gould, 2002) y hay un abismo entre decir que los seres vivos evolucionan y decir que lo hacen por causa de la selección natural. La selección natural no es la causa de la especiación porque si existe una competición siempre sobrevivirán los más aptos, pero la especie seguirá siendo la misma y el cambio será siempre gradual. La selección natural no puede explicar la diversidad existente en la naturaleza. Uno de los motivos por los cuales comenzábamos esta historia con el relato de la princesa Cristina era el indicar la relación entre la Historia y la Biología, otro motivo era destacar el hecho de que Alfonso X, con quien la princesa iba a casarse había tenido intereses amplios, se había preocupado por el conocimiento en general. Otro motivo para dedicar el libro a la princesa Cristina y contar su historia es destacar el hecho de que en su viaje y en su tiempo la Cartografía era completamente distinta a como es hoy y poder discutir así acerca de la evolución de la Ciencia y de la Biología, pero éstos no son los únicos motivos. Es absurdo preguntarse si los nombres de Alfonso X o de la princesa Cristina están escritos en los libros de historia porque ellos eran los más aptos entre los personajes de su época. Ellos tuvieron su función en la Historia y ahora la nuestra es interpretarla. Cualquier lector que haya leído el texto con atención y ahora reflexione, podrá descubrir otros motivos por los que la historia de la princesa Cristina se colocó al principio de este texto y ahora que estamos llegando al final del mismo, puedo confesar que, al comenzar a escribir, cuando por primera vez redacté los primeros párrafos acerca de la princesa, no tenía ninguna idea de cuál iba a ser su relación con el texto.

La Biología está vinculada a las Ciencias Sociales y a la Historia y, por eso, es previsible que veamos surgir teorías y modelos matemáticos que se apliquen indistinta- y simultáneamente a estas disciplinas; recientemente hay tendencias interdisciplinarias en este sentido como las denominadas "análisis de sistemas emergentes" y "procesos no-lineales" (Scott, 2003). Si la evolución de los seres vivos es sólo una parte de la evolución del Universo, ¿es posible que haya una teoría unificante que pueda explicar ambas de una forma integrada? Admitiendo que la teoría de evolución por selección natural pudiese explicar parcialmente la evolución (que no puede), no hay ninguna dificultad en ampliarla en el tiempo tanto hacia atrás (evolución

prebiótica) como hacia delante (Historia). En definitiva, las estructuras sociales más adaptadas, organismos, comunidades, países, empresas, son las que prevalecen. Incluso es posible hacer esto compatible con el segundo principio de la termodinámica. Tales estructuras organizadas, complejas y adaptadas pueden existir porque esta es la manera más eficaz para que el desorden global aumente. Pero estas explicaciones son reduccionistas e insuficientes. Aunque se admita que la selección natural es una explicación de la evolución, esto no significa que se tengan que rechazar otras muchas hipótesis, teorías y explicaciones. Entramos en el terreno siempre cambiante de la Filosofía. La Teoría de Evolución por Selección Natural no ha explicado los acontecimientos principales en la Evolución: La formación de especies y la discontinuidad en el registro fósil. Si queremos encontrar una extensión de la Teoría de Evolución por Selección Natural a otros procesos, la encontraremos, pero la Teoría no explicará esos procesos en su totalidad, no será su causa única. Podríamos encontrar múltiples causas para la evolución y ninguna de ellas explicará la evolución plenamente. En el fondo la cuestión permanente es una cuestión filosófica, es una cuestión de satisfacción personal con una descripción, con un relato. Si el relato nos satisface, si tiene un carácter propio, si colma nuestras necesidades, entonces lo aceptaremos con gusto; pero no será el único posible.

Para construir un relato aceptable, la Biología necesita interdisciplinariedad, integración. La especialización llevada a su extremo resulta en la pérdida de la riqueza cultural necesaria para la interdisciplinariedad. Más importante que la obtención de objetivos aplicados es, en la Ciencia, la adquisición de esa riqueza cultural, la implicación personal en un lenguaje común. Algunos estudiantes, profesores y personas responsables de la investigación y de la educación parecen haber olvidado completamente este aspecto. Algunas voces independientes se han alzado en este contexto para sugerir metáforas descriptivas. Se ha hablado de la mercantilización de la Ciencia, significando el subrayar todos los aspectos materiales de la Ciencia olvidando los más importantes, los que antiguamente se llamaban "espirituales". Las universidades y los centros de investigación dan hoy mucha más importancia a los resultados aplicados y a la colaboración con empresas. De acuerdo, la aplicación del conocimiento es un importante aspecto del mismo, pero la aplicación no es el origen del conocimiento. El origen del conocimiento está en hacerse

preguntas y responderlas con relatos acertados y emocionantes. Esto es Filosofía y la Filosofía está en el origen de la Ciencia. Hoy, en Biología es importante la integración con la Filosofía y con otras disciplinas científicas y la búsqueda de un lenguaje común. No es difícil, pero la base para ello consiste en la ilusión, en lo que a veces se ha llamado la razón vital, como dice Julián Marías en su libro *Antropología Metafísica*:

*"Razón es la aprehensión de la realidad en su conexión. No bastan las notas sueltas, ni ligadas por adición,... Se trata de la aprehensión de la realidad en su conexión, no en ninguna que yo le imponga".*

La realidad en su conexión recuerda aquí al concepto de Voluntad de Schopenhauer en su libro "El mundo como voluntad y como representación". La participación en esta voluntad del mundo es la sensación que describía Barbara MacClintock al mirar por el microscopio:

*"you forget yourself –it surprised me that I actually felt that– these were my friends. As I looked at the genes they became part of me.–The main thing about it is that you forget yourself."*

## REFERENCIAS

- Avery, O. T.; C. M. MacLeod y Maclyn McCarty (1944): "Studies on the Chemical Nature of the Substance Inducing Transformation of Pneumococcal Types", *Journal of Experimental Medicine*, **79**: 137-158.
- Bacon, Francis (1620): *Novum Organum*, Basil Montague, ed. and trans. The Works, 3 vols. (Philadelphia, Parry & MacMillan, 1854), 3: 343-71.
- Baltimore, D. (1970): "RNA-dependant DNA polymerase in virions of RNA tumour viruses", *Nature*, **226** (252): 1209-11.
- Bateson, W. (1894): *Materials for the Study of Variation*.
- Bateson, W. (1900): "Problems of heredity as a subject for horticultural investigation", *Journal of the Royal Horticultural Society*, **25**: 54-61.
- Beadle y Tatum (1941): "Genetic control of biochemical reactions in *Neurospora*", *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **27**: 499-506.
- Beemster, G. T. S.; Fiorani, F. y Inzé, D. (2003): "Cell cycle: The key to plant growth control?", *Trends in Plant Science*, **8** (4), 154-159.

- Bleecker, A. B.; Estelle, M. A.; Somerville, C. y Kende, H. (1988): "Insensitivity to ethylene conferred by a dominant mutation in *Arabidopsis thaliana*", *Science*, **241**, 1086-1089.
- Borges, J. L. (1976): *El Libro de Sueños*, Biblioteca de Autor, Alianza Editorial, Madrid, 2000.
- Carrière, J. (1972): *L'épervier de Maheux*, Ed. Robert Laffont.
- Coen, E. (1999): *The art of genes*, Oxford University Press, New York.
- Cohen, S. N.; Chang, A. C.; Boyer, H. W. y Helling, R. B. (1973): "Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro", *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, **70** (11): 3240-4.
- Correns, C. (1900): "G. Mendels Regel über das Verhalten der Nachkommenschaft der Rassenbastarde", *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, **18**: 158-168.
- Correns, C. (1950): "G. Mendel's law concerning the behavior of progeny of varietal hybrids", *Genetics*, **35** (5): 33-41.
- D'Arcy Thompson (1917): *On growth and form*, Cambridge University Press.
- Damasio, A. (1995): *Descartes Error*, GP Putnam's Sons.
- Doudna, J. A. y Cech, T. R. (2002): "The chemical repertoire of natural ribozymes", *Nature*, **418** (6894): 222-8.
- Doulatov, S.; Hodes, A.; Dai, L.; Mandhana, N.; Liu, M.; Deora, R.; Simons, R. W.; Zimmerly, S. y Miller, J. F. (2004): "Tropism switching in Bordetella bacteriophage defines a family of diversity-generating retroelements", *Nature*, **431**, 476-481.
- Dylan Thomas (2000): *Poemas. Colección Visor de Poesía*, Editorial Visor, Madrid.
- Erickson, C. (1976): *The Medieval Vision, essays in History and perception*, Oxford University Press, New York, 246 pp.
- Gaos, José (1941): *Antología filosófica: La filosofía griega*, México, La Casa de España en México, 215 pp.
- Garrod, A. (1923): *Inborn Errors of Metabolism*, Second Edition, London, Henry.
- Giedion, S. (1991): *El presente eterno. Los principios del arte*, Alianza Editorial, Alianza forma, Madrid.
- Goethe, J. W. (2001): *Viaje a Italia*, edición en español de Ediciones B.
- Gould, S. J. (2002): *The Structure of the Evolutionary Theory*, Harvard University Press, 1.464 pp.
- Griffith, F. (1928): "Significance of pneumococcal types", *J. Hyg. Camb.*, **27**: 113-159.
- Hershey, A. D. y Chase, M. (1952): "Independent Functions of Viral Protein and Nucleic Acid in Growth of Bacteriophage", *Journal of General Physiology*, **36**, 39-56.
- Von Hippel, P. H. (2004): "Completing the View of Transcriptional Regulation", *Science*, **305**, Issue 5682, 350-352.
- Heiddegger (1926): *El ser y el tiempo*, Interamericana.
- Hooke, R. (1665): *Micrographia*, London.
- Hughes, A. L. y Friedman, R. (2003): "Genome-wide survey for genes horizontally transferred from cellular organisms to baculoviruses", *Mol. Biol. Evol.*, **20**, (6): 979-987.
- Hughes, S. S. (2001): "Making dollars out of DNA. The first major patent in biotechnology and the commercialization of molecular biology, 1974-1980," *Isis*, **92** (3): 541-75.
- Jackson, R. J. y Kaminski, A. (1995): "Internal initiation of translation in eukaryotes: The picornavirus paradigm and beyond", *RNA*, **1**, 985-1000.
- Jacob, F. y Monod, J. (1961): "Genetic regulatory mechanisms in the synthesis of proteins", *J. Mol. Biol.*, **3**, 318-356.
- Jung, C. G. (1965): *Memories, dreams, reflections*, Vintage Books, New York.
- Kozak, M. (2003): "Alternative ways to think about mRNA sequences and proteins that appear to promote internal initiation of translation", *Gene*, **318**, 1-23.
- Kretschmer Pregizzer, W. (1967): "Arthur Schopenhauer como precursor del pensamiento físico y biológico del presente", *Folia humanistica*, vol. 5, 53, pp. 425-434.
- Kuhn, T. S. (1962): *La estructura de las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, Madrid, Buenos Aires.
- Levi-Strauss (1962): *El Pensamiento Salvaje*, Edición en español: Fondo de Cultura Económica, Breviarios (2005).
- Liu, M.; Deora, R.; Doulatov, S. R.; Gingery, M.; Eiserling, F. A.; Preston, A.; Maskell, D. J.; Simons, R. W.; Cotter, P. A.; Parkhill, J. y Miller, J. F. (2002): "Reverse transcriptase-mediated tropism switching in Bordetella bacteriophage", *Science*, **295**, 2091-4.
- Marias, J. (1983): *Antropología Metafísica*, Alianza, Madrid.
- Marias, J. (1998): "La Educación en España", 184-187, en *El Curso del Tiempo*, 1, Alianza Editorial, Madrid.
- Mather, K. (1942): "Polygenic inheritance and natural selection", *Biological Review*, **18**, 32-64.
- Maxam, A. M. y Gilbert, W. (1980): "Sequencing end-labeled DNA with base-specific chemical cleavages", *Methods Enzymol.*, **65** (1): 499-560.
- Mayr, E. (2003): *The growth of Biological thought*, The Belknap press of Harvard University Press, Cambridge, MA USA, Twelfth printing.
- Melamed, P.; Chong, K. L. y Johansen, M. V. (2004): "Evidence for lateral gene transfer from salmonids to two Schistosoma species", *Nature Gen.*, **8** (36), 786-787.
- Mendel, G. (1865): "Versuche über Pflanzenhybriden", *Verh. des Naturf. Vereins*, Brünn **10**.
- Morrow, J. F.; Cohen, S. N.; Chang, A. C.; Boyer, H. W.; Goodman, H. M. y Helling, R. B. (1974): "Replication and transcription

- of eukaryotic DNA in *Escherichia coli*", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **71** (5): 1743-7.
- Mullis, K. B. y Faloona, F. A. (1987): "Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction", *Methods Enzymol*, **155**, 335-50.
- Nirenberg, M. W.; Matthaei, J. H.; Jones, O. W.; Martin, R. G. y Barondes, S. H. (1963): "Approximation of genetic code via cell-free protein synthesis directed by template RNA", *Fed. Proc.*, **22**, 55-61.
- Nirenberg, M. (2004): "Historical review: Deciphering the genetic code - a personal account", *Trends Biochemical Sci.*, **29**, 46-54.
- Nurse P. (1990): "Universal control mechanism regulating onset of M-phase", *Nature*, **344** (6266), 503-8.
- Onodera, Y.; Haag, J. R.; Ream, T.; Costa Nunes, P.; Pontes, O. y Pikaard, C. S. (2005): "Plant Nuclear RNA Polymerase IV Mediates siRNA and DNA Methylation-Dependent Heterochromatin Formation", *Cell*, **120** (5), 2005.
- Pardee, A. B.; Jacob, F. y Monod, J. (1959): "The genetic control and cytoplasmic expression of inducibility in the synthesis of  $\beta$ -galactosidase by *E. coli*", *J. Mol. Biol.*, **1**, 165.
- Peaston, A. E.; Esvikov, A. V.; Graber, J. H.; De Vries, W. N.; Holbrook, A. E.; Solter, D. y Knowles, B. B. (2004): "Retrotransposons regulate host genes in mouse oocytes and preimplantation embryos", *Developmental Cell*, **7**, 597-606.
- Radl, E. M. (1988): *Historia de las teorías biológicas*, Alianza editorial, Madrid.
- Ramón y Cajal, S. (1899-1905): *Textura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados. Estudios sobre el plan estructural y composición histológica de los centros nerviosos, adicionados de consideraciones fisiológicas fundadas en los nuevos descubrimientos*, 2 tomos en 3 volúmenes, Imprenta y Librería de Nicolás Moya, Madrid.
- Rappoport, Y. y Savage Smith, E. (2004): "Medieval Islamic view of the Cosmos: The newly discovered book of curiosities", *The Cartographic Journal*, **42** (3), 253-259.
- Riddle, O. (1924): "Any hereditary character and the kinds of things we need to know about it", *The American Naturalist*, **58**.
- Russo, E. (2003): "Special Report: The birth of biotechnology", *Nature*, **421**, J456-J457.
- Saiki, R. K.; Gelfand, D. H.; Stoffel, S.; Scharf, S. J.; Higuchi, R.; Horn, G. T.; Mullis, K. B. y Erlich, H. A. (1988): "Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase", *Science*, **29**, 239, 487-91.
- Sandín, M. (2005): "La Transformación de la Evolución", *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural, Sección Biológica*, **100** (1-4).
- Sanger, F.; Nicklen, S. y Coulson, A. R. (1977): "DNA sequencing with chain-terminating inhibitors", *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **74** (12): 5463-7.
- Schleiden, M. (1838): *Contributions of phylogenesis*.
- Schopenhauer, A. (2003): *El mundo como voluntad y como representación*, Edición en francés, Quadrige (Presses Universitaire de France, PUF).
- Schwann, T. (1839): *Microscopical Researches in the Structure and Growth of Animals and Plants*.
- Scott, A. (2003): *Nonlinear Science: Emergence and Dynamics of Coherent Structures* (Oxford Texts in Applied and Engineering Mathematics, 8).
- Sedov, A. E. (1999): "Genetics as developing hypertext: sets of metaphors in multilevel cognitive models.//The 7th World Congress of the International Association for Semiotic Studies (IASS/AIS) @Sign processes in complex systems", Technical University of Dresden, Germany, oct. 6-12, 347.
- Steib, B. y Popp, R. (2004): "Alberto Magno, el gran curioso", *Investigación y Ciencia* (Spanish edition of *Scientific American*) **333**, 68-75.
- Szathmáry, E. y Maynard Smith, J. (1995): *The Major Transitions in Evolution*, Oxford, Freeman.
- Temin, H. M. y Mizutani, S. (1970): "RNA-dependant DNA polymerase in virions of Rous sarcoma virus", *Nature*, **226** (252): 1211-3.
- Tolstoi, L. (2003): *Guerra y Paz*, Taller de Mario Muchnick.
- Tschermak, E. (1900): "Über Künstliche Kreuzung bei *Pisum sativum*", *Berichte der Deutsche Botanischen Gesellschaft*, **18**: 232-239.
- Tschermak, E. (1950): "Concerning artificial crossing in *Pisum sativum*", *Genetics*, **35** (5): 42-47.
- Uetz, P.; Giot, L.; Cagney, G.; Mansfield, T. A.; Judson, R. S.; Knight, J. R.; Lockshon, D.; Narayan, V.; Srinivasan, M. y Pochart, P. et al. (2000): "A comprehensive analysis of protein-protein interactions in *Saccharomyces cerevisiae*", *Nature*, **403**, 623-627.
- Verene, D. P. (2002): *The art of Humane Education*, Cornell University Press, Ithaca and London.
- Von Schelling, F. W. J. (2002): *Bruno, o sobre el principio natural y divino de las cosas*, Ediciones Folio, S.A., Barcelona.
- De Vries, H. (1900): "Sur la loi de disjonction des hybrides", *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences* (Paris), **130**: 845-847.
- De Vries, H. (1950): "Concerning the law of segregation of hybrids", *Genetics*, **35** (5): 30-32.

Watson, J. D. y Crick, F. H. C. (1953): "A structure for Deoxyribose Nucleic Acid", *Nature*, **171**, 737.

Wei, N. y Deng, X. W. (2002): "The COP9 Signalosome", *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, **19**: 261-286.

Wittgenstein, L. (1974): *Tractatus Logico-Philosophicus*, Londres, Routledge & Kegan Ltd.

Zimmer, C. (2005): "How and Where Did Life on Earth Arise?", *Science*, **309** (5731), 89.

### **AGRADECIMIENTOS**

**Recibido:** 20 de junio de 2007  
**Aceptado:** 28 de septiembre de 2007

Agradezco a Elena Becker y Máximo Sandín la lectura crítica del manuscrito, a Ana Agud por discusiones lingüísticas y filosóficas y su ayuda en la elaboración de la Figu-

ra 8; a Luis Valdés las fotos de Covarrubias y comentarios; a Alberto Sánchez, editor de *Arbor*, por incluir este texto en un número de contenido literario y a Juana Gutiérrez de Diego, como siempre, por su paciencia y su constante apoyo.