
LA BIOLOGÍA COMO FORMA
DE REPRESENTACIÓN:
WITTGENSTEIN Y LA PARTITURA
DE LA VIDA

FERNANDO BAQUERO ^{a,b}
JOSÉ AGUILAR-RODRÍGUEZ ^c
ANDRÉS MOYA ^{b,c}

ABSTRACT. We consider here that the metaphor life's score is more complex yet more precise than the classic book of life when facing the real difficulties in studying the predictive relevance of the decoding process of genetic language. One key epistemological problem lies on our capacity to clarify the relationships between the structure of a possible language (genetic and genomic sequences) and the vital characteristics of particular organisms that seem to be determined by such language. This is a typical reductionist problem: can life be understood by being reduced to a genetic-genomic language?

KEY WORDS. Book of life, musical score, life's score, syntax, semantics, complexity, representation.

INTRODUCCIÓN

La vida es un sistema altamente complejo, que incluye a los objetos más complejos del universo conocido (Bedau 1996). La revolución genómica ha catapultado a la biología molecular y, particularmente, a la microbiología molecular (Westerhoff y Palsson 2004) al terreno de las aproximaciones que desarrolla la biología de sistemas en el estudio de los sistemas complejos. Este hecho se ha basado en la creciente e irresistible intuición de la necesidad de reajustar (*scale-up*) a la biología molecular en una nueva era de síntesis que requiere nuevas herramientas integrativas formales (Ba-

^a Departamento de Microbiología, IRYCIS, Hospital Universitario Ramón y Cajal, y División de Extremófilos y Biología Evolutiva, Centro de Astrobiología, INTA-CSIC, 28034 Madrid, España.

^b Centro de Investigación en Red en Epidemiología y Salud Pública (CIBERESP), Madrid, España.

^c Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Universidad de Valencia y Área de Genómica y Salud, Centro Superior de Investigación en Salud Pública (CSISP), Consellería de Sanitat, 46071 Valencia, España. / andresmoya@uv.es

quero 2004, 2009, 2011). La bioquímica, y más tarde la biología molecular, han mostrado que ciertas macromoléculas orgánicas distintivas juegan un papel crucial en los procesos vitales de todas las entidades vivas conocidas, pero la vida en su conjunto parece poseer la naturaleza de un proceso complejo (Bedau 1996). El problema epistemológico que se nos plantea es el de cómo atravesar los intervalos transicionales entre los sucesivos niveles de comprensión correspondientes a los diferentes niveles jerárquicos del complejo sistema de la vida. El reto no reside sólo en lidiar con la integración de elementos a través de las principales transiciones en biología (Maynard-Smith y Szathmari 1995), sino también en descubrir eventualmente los principios generales de la vida más que quedarnos tan solo en las descripciones (Westerhoff y Palsson 2004). El tránsito entre los procesos de conocimiento descriptivo hacia la comprensión de conjuntos complejos se asemeja a la escala que va de las *formas* del lenguaje (como léxico o sintáctico) a su *significado* (semántica). De manera por demás interesante, la interacción entre estos niveles jerárquicos de conocimiento, ambos mutuamente dependientes, se ha definido como *inteligibilidad* en teoría lingüística (Komarova y Niyogi 2004). En su sentido primario, el término inteligibilidad refleja la posibilidad de semejante comprensión transjerárquica. Significativamente, Santo Tomás deriva la palabra latina *intellegere* de *intus legere* ("leer dentro de"). Incluso si el origen de la palabra fuera *inter legere* ("leer entre") el término acentúa la necesidad de leer más allá de las palabras y oraciones, en otra dimensión cognitiva, para alcanzar el significado. La clásica expresión española "leer entre líneas" expresa también la idea de buscar significados en otro nivel que el literal, esto es, comprender. Según la sentencia clásica de Cato, *Legere, et non intelligere, negligere est*, esto es, "Leer sin comprender es como no leer".

Los biólogos han recurrido desde hace tiempo al uso de metáforas lingüísticas para describir y denominar procesos celulares, y particularmente a la que considera al DNA como lenguaje y al genoma como *libro de la vida*. Las cuestiones actuales son: i) Si estas analogías, aparentemente inmediatas, podrían dar lugar a una más profunda posibilidad de análisis de estructuras genético-genómicas mediante el empleo de métodos desarrollados en la investigación lingüística. ii) Si semejante análisis podría capacitarnos para comprender los principios generales y los procesos de la vida e incluso (no entrando aquí de nuevo en el problema de los universales) la vida misma como una entidad inteligible.

La imagen de los genomas como *libros de la vida* ha atraído la imaginación popular, pero resulta obvio que la determinación de la secuencia genómica completa de *Haemophilus influenzae* (en 1995) o la de *Homo sapiens* (en 2001) no han resultado en una mayor y más profunda comprensión de las claves vitales de estos organismos. Esto no se debe sólo a las lagunas en nuestra comprensión de la función de todos los genes y las complejidades

de las interacciones regulatorias y epigenéticas entre genes y otras secuencias significativas. Probablemente el modo humano de leer un texto es más simple que el modo celular de leer. Los textos escritos en lenguaje humano son leídos de forma única, secuencialmente e implicando todos los caracteres. Por el contrario, los textos genéticos son *leídos* de varias formas distintas, cada vez empleando una selección diferente de caracteres del mismo texto y evitando otros. De hecho, la *partitura de la vida* puede resultar una mejor imagen del lenguaje genómico. Una partitura es una serie de pentagramas en los que están escritas las diferentes partes instrumentales y/o vocales de una pieza musical, una bajo la otra en un alineamiento vertical, de forma que las partes puedan ser leídas de forma simultánea.

En el pensamiento filosófico de Wittgenstein, e incluso más claramente en el de su amigo y comentarista Schlick, el significado de la palabra *vida* sólo puede ser *mostrado*, no entendido y, consecuentemente, no es expresable *claramente* en proposiciones. Puede sonar paradójico adscribirse a esta afirmación en la época gloriosa de la genómica, proteómica y metabolómica. La vida es un *hecho* que puede ser *mostrado* (pero no definido) como algo similar a un complejo móvil de estructuras contingentes, integradas de forma flexible, cada una de las cuales (y el mismo complejo) con la tendencia a ser secuencialmente remplazada por formas similares, y presentando además variabilidad y complejidad cambiante, con transformaciones casi instantáneas, o que se producen a lo largo de largos periodos. Nótese que debido a que aquí sólo estamos *mostrando* la vida, esta descripción no asegura que no nos enfrentemos con estructuras no vivas con propiedades similares, y que ciertamente no se puede considerar implícito a este hecho *vital* cualquier noción de progreso o propósito. No obstante, en calidad de observadores humanos, no podemos permanecer neutrales en el proceso de seleccionar qué nos gustaría *mostrar*, ya que frecuentemente nos vemos confrontados a un sentimiento no describible de hacer compartir una cualidad común (*animación*) presente en todos los seres que queremos mostrar como seres vivos.

LA METÁFORA DE LA PARTITURA DE LA VIDA

El *Tractatus logico-philosophicus* de Wittgenstein es reconocido como una de las principales aproximaciones poskantianas dedicadas a explorar las posibilidades del conocimiento humano del mundo natural. En su teorema 4.0141, Wittgenstein compara las partituras musicales y los gramófonos (DVDs en nuestros días) con la música:

In the fact that there is a general rule by which the musician is able to read the symphony out of the score, and that there is a rule by which one could

reconstruct the symphony from the line on a gramophone record and from this again—by means of the first rule—construct the score, herein lies the internal similarity between these things which at first sight seem to be entirely different. And the rule is the law of projection which projects the symphony into the language of the musical score. It is the rule of translation of this language into the language of the gramophone record.

El orden y las cualidades de las notas musicales en la partitura, los surcos en un disco de gramófono, en resumen, el *lenguaje* a partir del cual la música puede ser reproducida, no es música, pero guarda una *similitud interna* con ésta. Mucho antes del descubrimiento del código genético, el teorema 4.0141 de Wittgenstein recuerda la principal característica estructural de los seres vivos. El proceso de lectura de la partitura (lenguaje genético), produce música (vida); a la inversa, la música puede ser convertida, traducida, por una *ley de proyección*, en una partitura musical, y a partir de ésta puede reconstruirse de nuevo la música. Sin similitudes internas, estas transiciones entre series de objetos *que a primera vista parecen ser totalmente diferentes*, sería simplemente imposible.

Es interesante que tanto en la música como en la vida, la descripción de lo *que es transmitido más allá de los sonidos individuales* es oscura. De la misma manera que la cuestión clásica de Schrödinger, *What is Life?*, la pregunta, ¿qué es la música? evita respuestas precisas. La música no transmite proposiciones para describir hechos claros y distintos, capaces de ser pensados (considerados lógicamente) por la mente humana. Existe, como en la genética, un cierto *orden aritmético* de las notas que se requiere para producir efectos finales oscuros. En palabras de Leibniz: *exercitium arithmeticae occultum nesciendis se numere animi* (*Leibnitii epistolae, collectio*, Kortholdt, ep. 154), esto es, la música es un ejercicio aritmético inconsciente, en el que la mente no conoce lo que se está transmitiendo.

Quizás una de las dificultades del pensar acerca de la vida usando estructuras lingüísticas sea su naturaleza fluida y dinámica. Los lenguajes, las partituras musicales y las secuencias genético-genómicas son esencialmente estáticas. Un libro, o una partitura musical, o una secuencia genómica pueden ser almacenadas indefinidamente sin ninguna alteración, e incluso sin generar ningún efecto (excepto ocupar una pequeña parcela de espacio físico). Por el contrario, el habla, la música, o la vida, son esencialmente dinámicos: sin movimiento dejan de existir. El hecho de que las estructuras lingüísticas *contienen* dinamismo potencial no las hace para nada dinámicas; de hecho, prácticamente no son nada por sí mismas. El hecho clave es el de que entre lenguajes y fenómenos dinámicos se debe interponer un *intermediario interpretativo*. La partitura musical sólo da lugar a música si hay intérpretes disponibles, músicos (cuatro en un cuarteto de cuerdas) capaces de leer el lenguaje y convertirlo en sonidos. De hecho, una partitura musical tiene una estructura interna ordenada, que está

obligada a seguir las reglas de la armonía, pero, a primera vista, podemos concluir que en ausencia de una interpretación ajustada, una partitura musical no puede diferenciarse de una secuencia aleatoria de notas.

LAS FORMAS DE LA REPRESENTACIÓN

Imaginemos ahora a un científico extraterrestre examinando una partitura musical. No tiene la menor idea acerca de notas, instrumentos o sonidos, incluso sobre la existencia de la música misma. Sin embargo, probablemente será capaz de diferenciar una partitura musical de una secuencia aleatoria de notas. Algunas notaciones (notas) se encuentran más ligadas a otras, pueden reconocerse algunas secuencias conservadas o repetidas, la distribución de notas blancas y negras no parece idéntica, y algunas aparecen con más frecuencia que otras cuando acompañan el nombre de un particular instrumento (desconocido). La frecuencia de notas por decímetro de partitura aparentemente depende de algunas misteriosas palabras en el margen como *Andante scherzoso quasi allegretto*, que no obstante podrían proporcionar una intuición de la presencia de un *equivalente vivo*. Este científico extraterrestre debe concluir que la partitura musical tiene una estructura lingüística, potencialmente conducente a un desconocido tipo de comportamiento dinámico. Si el científico extraterrestre pudiese tener acceso a otras partituras, podría incluso trazar diferentes escuelas, autores, influencias, incluso una historia de este lenguaje desconocido —y probablemente sin alejarse mucho de la realidad. En resumen, podría desarrollarse una ciencia *analítica* de dicho lenguaje en la total ausencia de conocimiento sobre la naturaleza de la música.

Ahora nótese que el proceso especular de análisis es también posible. En ese caso, un segundo científico extraterrestre observa la actuación de un grupo de música que toca el *Trío para piano* en Si bemol, D. 898, de Schubert. Desafortunadamente, desconoce la existencia de la música, ya que es incapaz de escuchar cualquier sonido, aunque es capaz de distinguir las teclas, arcos y cuerdas de los instrumentos y puede registrar precisamente cualquier movimiento de los brazos y dedos de los músicos sobre dichas estructuras. Una representación de dichos movimientos en el tiempo debería producir algo similar a la partitura musical del trío para piano. De hecho, el registro preciso de dichos movimientos puede sustituir a la partitura musical, y cuando se aplicase a los instrumentos que podrían ser contruidos (sin saber qué son) dicho registro debería permitir la reproducción de la música. Al igual que en el caso previo, una colección de estos tipos de registro podría conducir a diferenciar escuelas o autores, o una historia, o incluso podría dar lugar a una ciencia de este lenguaje —sin conocer para nada qué es la música.

Podemos concebir también a un tercer científico extraterrestre, este último capaz de escuchar los sonidos y correlacionarlos con los instrumentos y los movimientos de las personas que los tocan. Podría suceder que el científico pudiera percibir los sonidos separados, pero ser incapaz de unirlos en su mente como conjuntos (melodías), o que los sonidos fuesen tan diferentes en su cerebro a como nosotros los percibimos, que nuestra armonía resultase totalmente inútil para su sensibilidad y al margen de toda posibilidad estética. Como en los casos previos, el científico podría ser capaz de estudiar la historia de la música, sin entender para nada lo que es la música.

Por último, y puesto que los científicos terrestres o extraterrestres no están necesariamente desprovistos de sensibilidad estética, cabe la posibilidad de que un cuarto científico extraterrestre, incapaz de escuchar sonidos o de encontrar armonías en las secuencias musicales, llegase, sin embargo, a encontrar un placer estético en los ritmos y movimientos de los dedos y los arcos, y de la cambiante imagen de las teclas percutidas del piano durante la ejecución del *Trío* de Schubert, como si de un ballet se tratase. ¿Qué estaría llegando a su sensibilidad? Sin duda, algo con una relación formal muy estrecha con el *Trío* D. 898, que no es música, pero sí una forma de representación de la música, y que podría llegar a producir análogos efectos.

Estos cuatro científicos son capaces de *pensar* y estudiar la música en distintas formas de representación (*Form der Abbildung* en Wittgenstein), aun sin conocer la música misma. Lo mismo ocurre con los biólogos y la vida.

LA PENSABILIDAD DE LA VIDA

Resultaría esencial discutir si una secuencia particular de notaciones musicales escritas o sonidos, o movimientos de manos y dedos, tiene sólo el significado de *música* cuando es entendido por un particular tipo de sensibilidad. Incluso podemos remplazar los científicos de fuera de la Tierra por músicos, que serán capaces de reproducir la música sin conocer nada sobre su naturaleza, y sin experimentar ninguno de los efectos que la música puede causar en una sensibilidad apropiada. Se encuentran en una situación de *habitación china*, en la que un intermediario inteligente situado dentro de una habitación cerrada recibe por debajo de la puerta mensajes en un idioma desconocido, a los cuales, aplicando un conjunto de reglas, es capaz de producir respuestas en el mismo lenguaje desconocido. Resulta obvio que la partitura musical, o la secuencia genómica, es totalmente ignorante de su función en el proceso de la vida, y lo mismo es cierto para otros posibles intermediarios, implicados por ejemplo en la traducción proteica.

Por lo tanto, ni desde fuera, donde la vida sólo puede ser mostrada (e incluso eso sin total certidumbre de éxito), ni desde el interior (la vida es invisible para las estructuras que la determinan), la vida parece ser pensable (cognoscible). “We feel that even if all *possible* scientific questions be answered, the problems of life have still not been touched at all. Of course there is then no question left, and just this is the answer” (6.52). En otras palabras, la respuesta es que preguntarnos a nosotros mismos por el significado de la vida es una pregunta falsa, esto es, no hay nada sobre lo que pensar. “For an answer which cannot be expressed, the question too cannot be expressed” (6.5). Incluso la pregunta no debería ser expresada, por lo que lo más honrado es ni preguntar ni contestar, esto es, callar acerca de todo lo que no se puede hablar. Esta es la afirmación de la última sentencia del *Tractatus*, “Where of one cannot speak, thereof one must be silent” (6.54). El principal interés de la metáfora de la *partitura de la vida* es probablemente hacernos conscientes de que tanto la vida como la música pueden *mostrarse* (como algo que parece imponer una realidad), *pero no pensarse* (no podemos decir nada sobre su realidad), ya que las secuencias genómicas o las partituras musicales son meras representaciones de estas oscuras realidades, sin capacidad explicativa.

Si la vida sólo puede ser mostrada, y no pensada (reflexionada), ¿está Wittgenstein en lo cierto?, ¿tienen los términos *biología* y sus derivados, como *microbiología* contradicciones epistemológicas intrínsecas?, ¿son propuestas sin sentido? De esta forma llegamos a una aparente contradicción. Por un lado, podemos llegar a la noción de que la vida es impensable. Pero, como se afirma en 3.02: “the thought contains the possibility of the state of affairs which it thinks. What is thinkable is also possible”. Por otro lado, la vida es *percibida* como una forma de existencia, un *hecho*, por lo tanto intuitiva no sólo posible, sino como una entidad fáctica, real y realizada. Obviamente, si existe, debería ser pensable. Si la vida no es pensable, o bien la vida no existe, o bien contiene una realidad oculta, velada. Esta antinomia es una variación clara de las kantianas, basada en la confusión entre las esferas de los *phenomena* y los *noumena*, y encapsula el principal problema que se discute en este trabajo. La vida es percibida, incluso *experimentada*, como un hecho, pero no es un hecho, no es una entidad. Si esa proposición fuese cierta, la vida no debería ser un objeto de la ciencia natural. Limitando lo pensable y por lo tanto lo impensable, la filosofía limita la disputable esfera de la ciencia natural (4.113-4.114).

La ciencia natural debería ser pensable y expresable, hablable. Todo lo que puede ser pensado puede ser pensado claramente. Todo lo que puede ser dicho puede ser dicho claramente (4.116). Si la vida es impensable, pero posee una realidad, deberíamos, sin embargo, poder pensar en algo como *imágenes de vida*, usando proposiciones articuladas (expresables), que serían como andamiajes lógicos, *modelos de la realidad como pensamos que es*

(4.01). “The proposition constructs a world with the help of a logical scaffolding, and therefore one can actually see in the proposition all the logical features possessed by reality *if it is true*” (4.023). Las proposiciones o modelos lógicos a los que se refiere Wittgenstein poseerían una naturaleza ordenada y combinatoria de elementos, como las partituras musicales (3.141) o las secuencias genómicas. Las partituras y las secuencias genómicas *representan* la (sospechada, o mostrada) realidad, pero son *incapaces de representar lo que tienen en común* con la realidad (4.12). Se mantiene la distancia entre la impensable pero presumida realidad (vida) y la pensable imagen de ella (proposición).

La vida es tan pensable como la música. Confrontados con la vida o con la música, poseemos lo que Wittgenstein denomina una cierta *experiencia de significado* (*experience of meaning*). Comprender la vida y la música es percibir *delgadas sombras* (*fine shades*) de significado. Intuitivamente, tanto la música como la vida parecen estar cargadas de significado, pero en ambos casos parece ser resistente a cualquier tratamiento semántico. Siempre ha resultado difícil ver cómo la noción de *significado* podía ser fructíferamente adscrita a la música, al menos de la misma forma que se extrae significado del lenguaje (Bar-Elli 2006). Obviamente, la comprensión de la música no tiene nada que ver con recrear en la mente una melodía memorizada, o con preveer en un auditorio la próxima variación de un tema musical. Podemos decir lo mismo de la vida. Podemos predecir, con cierta confianza, qué pasará en el próximo paso, basándonos en nuestras experiencias, pero eso no significa entender —ni incluso pensar sobre la vida. Estamos simplemente siguiendo algo que sólo podemos *mostrar*, en un sentido similar al de cómo el director de orquesta muestra con su batuta una especie de mezcla de interpretación (ejecución) y materia impensable.

Esta simultánea experimentabilidad e impensabilidad de la música fue analizada en detalle por Schopenhauer en uno de los capítulos de su obra seminal *The World as Will and Representation* (1833). Afirmó que la música ignora el mundo de los fenómenos concretos, y por lo tanto, sólo *se parece* a cierta realidad original que no puede ser copiada. Schopenhauer cree que la música se asemeja, representa a la *voluntad*, “is a copy of the will itself, the objectivity of which are the Ideas”. Subrayará, tras algunos párrafos, su convergencia con Leibniz. Como se comentó anteriormente, “*Musica est exercitium metaphysics occultum nesciendis se philosophari animi*”, esto es, la música es un ejercicio inconsciente de metafísica en el que la mente no sabe qué es en lo que está pensando. Por supuesto, Schopenhauer es un vitalista, y los biólogos reconocerán aquí inmediatamente la relación entre *voluntad* y la oscura dinámica de la vida, y podrán inmediatamente intuir que la *voluntad* de la música puede ser una copia, una representación de la *voluntad* de la vida. Los efectos de la música sobre los humanos pueden derivarse del *reconocimiento* (iaceptemos aquí este térmi-

no platónico!) de algo común entre nuestra oscura percepción de la música y la música misma. Reinterpretando a Schopenhauer, la *voluntad* representada en la música es una representación de la *voluntad* de la vida, esto es, una calidad única, una *voluntad* común es percibida con independencia (pudiendo *mostrarse*) tanto en la música como en la vida. En principio, no podemos hablar de representaciones entre dos entidades del mismo nivel jerárquico, en nuestro caso, dos entidades igualmente impensables. Puede sugerirse que entre ambas entidades impensables puede también existir una jerarquía, de forma que las entidades que ocupan una posición baja en la jerarquía (música), pueden ser capaces de representar también entidades que ocupan posiciones más elevadas (vida).

LAS GRANDES TRANSICIONES:
UN CICLO TRANSJERÁRQUICO DE REPRESENTACIONES
Y ENTIDADES REPRESENTADAS

Entre los surcos de un disco de vinilo y la música existe una *major transition*, esencialmente una transición cualitativa. De forma similar, entre los genes y la vida de una célula bacteriana, o entre organismos unicelulares y las expresiones vivas complejas de comunidades ecológicamente integradas de células, hay grandes transiciones, como aquellas identificadas por Maynard-Smith y Szathmàry (1995) en procesos evolutivos. En ambos casos, existe una colección de pequeñas partes o piezas que se ensamblan para producir conjuntos mayores cualitativamente diferentes. Resulta obviamente tentador proponer que los niveles bajos de la jerarquía representan de algún modo a los niveles superiores, debido a que el modo en el que se ensamblan (su orden) tiene algo formalmente común, una cierta correspondencia con la actividad de los niveles superiores. Los biólogos evolutivos estarán predispuestos a aceptar que existen distintos *niveles de vida* ya que la vida parece poder reconocerse en los niveles básicos de simples moléculas replicativas, que a su vez proporcionan las bases para la reproducción de los niveles superiores, como células y organismos, en una serie sucesiva de grandes transiciones evolutivas. Pero les resultará difícil aceptar que los niveles bajos son capaces de *representar* a los niveles superiores. Esto se debe a que si existe un flujo evolutivo general desde los niveles jerárquicos inferiores a los superiores, las distintas entidades en los niveles altos imponen de forma categórica organizaciones particulares a los niveles bajos. De hecho, procesos como el de especiación dependen de imperativos de los niveles jerárquicos superiores sobre niveles bajos.

La continua interacción entre niveles jerárquicos constituye una marca característica de la vida. Sin duda se puede intuir algún tipo de unidad entre lo que se representa y la misma representación, basada en los efectos transjerárquicos característicos de la vida. De hecho, es fácil imaginar que la vida de un organismo bacteriano particular está representada hasta

cierto punto en la organización de su genoma, a modo como la música de determinado cuarteto de cuerda de Mozart está representada en la organización de su partitura musical. Pero nótese que en ambos casos la representación es una *representación generacional* de la entidad representada, esto es, la re-producción de un particular organismo bacteriano o de un cuarteto de cuerda es totalmente dependiente de la representación, el genoma o la partitura, respectivamente. Por otro lado, la partitura carece de sentido a la hora de producir música en la ausencia de un instrumento. En los tiempos biológicos (en el origen de la vida podría ser otro el caso), las secuencias genéticas (la representación) sólo tienen sentido si un sistema vivo específico (lo que es representado) está presente. El significado de la representación debería ser percibido por el sistema vivo, que produce un andamio biológico (un instrumento) que a su vez genera su propia representación, como requiere la continuidad del proceso reproductivo. El nivel jerárquico superior (el sistema vivo) dirige el proceso, ya que no hay representación en la ausencia de algo que pueda ser representado. Eso coincide con lo que es conocimiento común en biología: el contenido y el orden de las secuencias en un genoma se corresponden con lo que la propia vida ha seleccionado, la compleja y dinámica interacción viva entre la célula y su ambiente. Por ejemplo, la especiación requiere el dominio de *lo que es representado*, el fenotipo adaptado, sobre un genoma particular. Esencialmente, la plasticidad genética y la modularidad expresan dicha subordinación. Encontramos aquí una interesante correlación cíclica transjerárquica entre representación y reproducción, una correlación que se produce ciegamente en los dos sentidos, como en la metáfora de los mensajes cruzando una habitación china (véase más arriba). De hecho, sospechamos que en tiempos evolutivos pasados no hubo diferencia entre lo representado y la misma representación, consistiendo la evolución de la vida en excavar una *gran transición jerárquica* entre ambas entidades.

¿Cómo se aplica dicho modelo a la partitura musical? Deberíamos admitir que la partitura, siendo la representación de la música, produce sólo música si hay un instrumento capaz de convertir las notas en sonidos, y además, sólo si hay alguien capaz de entender (incluso de un modo impensable) el *significado* de la música. A causa de la experiencia de comprensión de dicho sujeto, con relación a los efectos que determinados sonidos y conjuntos de sonidos son capaces de producir, el ser humano capaz de escuchar música (impensable) es capaz de producir instrumentos adecuados para reproducir de nuevo algo *de sí mismo*, quizás la oscura *voluntad* de Schopenhauer. La metáfora resiste: la partitura musical representa algo impensable, esta voluntad, y el sujeto de la voluntad (la vida en general o una mente humana) produce representaciones que perpetúan la re-presencia de los efectos asociados con la voluntad.

BIOLOGÍA: LA BÚSQUEDA DE LAS FORMAS
CAPACES DE REPRESENTAR LA VIDA

La principal tarea de la ciencia es explorar y expandir los límites de la inteligibilidad. La principal tarea actual de la biología es extender la correspondencia entre los genomas y la vida. Una representación está basada en la *correspondencia* entre lo que representa y la propia representación. La representación no puede encontrarse en el mismo nivel jerárquico que aquello que está siendo representado. ¿Cuáles pueden ser las correspondencias entre la vida o la música, y las representaciones artefactuales de esas supuestas realidades, como secuencias genómicas o partituras musicales? Volvamos al *Tractatus*: “It is clear that however different from the real one an imagined world may be, it must have something—a form—in common with the real world” (2.022). Lo que es común entre lo real y lo imaginado son las formas lógicas con las que representamos lo que percibimos como hechos. “We make (our logic, our language) to ourselves pictures of facts” (2.1). La imagen imaginada es una representación de los hechos, en la que los elementos de la imagen se corresponden a los objetos (2.13), ligados de forma definida de acuerdo con lo que es impuesto por sus formas (2.14) y, lógicamente, indica la posible no existencia de algunos hechos (2.11). La imagen, la representación de la realidad, se constituye en sí misma como un hecho (2.141), “as the elements of the picture are combined with another in a definite way, representing that real things are so combined with another” (2.15; 2.15.14). Estas *coordenaciones* son como si fuesen los órganos sensoriales de sus elementos con los que la imagen toca la realidad (2.1515). “What the picture must have in common with reality in order to be able to represent it after its manner—rightly or falsely—is its form of representation” (2.17). En resumen, la representación posee una forma lógica común con lo representado, “the picture has the logical form of representation in common with what it pictures” (2.2). De nuevo, todo ello tiene claramente un cierto sabor platónico, ya que la imagen, la representación, puede ser algo hecho dibujando la sombra de la realidad en la pantalla de nuestras mentes. La biología es el arte y la ciencia de encontrar las *formas* capaces de *representar* la vida.

Como cualquier otro tipo de conocimiento, la biología debería basarse en proposiciones. Sólo las proposiciones tienen sentido; solamente en el contexto de la proposición adquiere un término su significado (3.3). Las proposiciones no tienen significado, sino sentido, reflejando todas las posibles situaciones que representan. Sólo las relaciones y el orden importan, no las cosas, los mismos objetos. La posibilidad de representación de la realidad (la tarea de las ciencias) está basada, según Wittgenstein, en el teorema (1.1) del *Tractatus*: el mundo está constituido por la totalidad de los hechos, no por las cosas (teorema 1.1) El hecho, si se da el caso, existe

como un hecho elemental (atómico) (1.21-2), resultando de una combinación particular (mínima) de objetos (2.01). Los objetos son simples (2.02) entidades fijas, elementales (2.026). Pero los objetos por sí mismos, fuera de los hechos, son sólo posibilidades de hechos, nada reales (2.011) excepto sus formas, cualidades que son parte de los hechos (2.0141). Estas cualidades determinan la posibilidad de todas las formas de aparición (estados) de los hechos (2.012): “objects contain the possibility of all states of affairs” (2.014). El objeto es el punto fijo, lo existente; la configuración es lo cambiante, la variable (2.0271). En el hecho elemental los objetos cuelgan unos de otros, como los eslabones de una cadena (2.03), combinados de forma determinada (2.031). El modo en el que los objetos permanecen unidos en el hecho constituye la estructura del hecho (2.032). Y finalmente: la forma (de los objetos) determina la posibilidad de la estructura a la que dan lugar (2.033).

Examinando estos teoremas de Wittgenstein, un biólogo inmediatamente se verá atraído e incluso conmovido por la idea de que el filósofo está hablando sobre la vida, con todas sus veladas posibilidades evolutivas, basadas en configuraciones moleculares alternativas que dan lugar a diferentes hechos, un juego en el que las mismas moléculas son nada sin los hechos vitales a los que pueden dar lugar: “the objects by themselves, outside facts, are only possibilities of facts”. Si la biología es el arte y la ciencia de *representar* la vida, tal representación debería ser lo suficiente fiel como para reflejar la complejidad y la dinámica de los hechos en la impensable vida real y, comprendiendo los vínculos en la representación (el modelo), deberíamos asumir que algo “similar” debería ocurrir, al menos en parte, en la vida real.

LOS EFECTOS DE LAS REPRESENTACIONES:
ZEUXIS, SCHUBERT

En un párrafo anterior imaginábamos un cuarto científico extraterrestre capaz de extasiarse con representaciones (¿proyecciones?) de la música pese a ser incapaz de oírla o apreciar sus armonías. En el siglo quinto antes de Cristo, Zeuxis representó de forma tan realista unas uvas que los pájaros descendían a picotearlas: *Ars simiae Naturae*. En esta referencia clásica de la *Historia Naturalis* de Plinio el Viejo, las uvas son consideradas por los pájaros como uvas reales, uvas vivas, de modo que la representación no sólo se corresponde fielmente con la vida, sino que produce los *mismos efectos*. Modificando en el modelo (la pintura) la forma o el color de las uvas, los pájaros dejarían de verse atraídos, de modo que podemos suponer cuáles son las propiedades atractivas de las uvas reales. Por supuesto, habría que incluir los necesarios controles para asegurar la veracidad del resultado del experimento. Por ejemplo, los pájaros se pueden ver atraídos a la pintura por el olor del aceite o del huevo usado como disolvente de

un determinado pigmento empleado para pintar las uvas, y no por su color realista. Aunque el experimento puede ser cierto, y los pájaros pueden verse efectivamente atraídos por las uvas pintadas. La representación tiene un *efecto*, que puede ser similar, o incluso idéntico, al efecto causado por lo que representa. Ahora bien, si los pájaros examinaran con un poco más de tiempo las famosas uvas de Zeuxis seguramente quedarían decepcionados rápidamente, y al verse retados de nuevo por la imagen ya no volverían a verse atraídos. Como en la famosa metáfora de Turing, la vida acaba reconociendo a la vida, dado un suficiente periodo de examen.

La idea de la *música de la vida* ha sido desarrollada recientemente por el famoso fisiólogo Dennis Noble (2006). Los autores del presente trabajo quedamos decepcionados, y halagados al mismo tiempo, cuando descubrimos que Noble, en su libro *The Music of Life*, emplea casi exactamente el mismo ejemplo que de forma absolutamente independiente había utilizado uno de nosotros en la primera versión de este manuscrito, producido hace años: el *Trío* para piano de Schubert in Mi Bemol mayor, D.929; la elección del autor fue el *Trío* para piano in Si Bemol, D.898. Noble incluso considera la metáfora de los viajeros espaciales, aunque no exactamente de la misma forma. Lo importante es que todos nosotros fuimos emocionalmente *impresionados* por dicha pieza de música. “Cuando la música empezó a fluir en el movimiento lento, no pude contener el llanto”, confiesa Noble. Más allá de cualquier duda, la música produce experiencias y *efectos*. Si la música fuese una impensable representación de la vida, estaríamos experimentando efectos porque esta representación proporciona una oscura percepción de la *voluntad* de la vida, en el sentido de Schopenhauer. Pero nótese que esta percepción sería difícil o incluso imposible de obtener mirando solamente la partitura o las irregularidades de los surcos de un vinilo.

MEDIO-PENSANDO, MEDIO-VIENDO
(HALF-THINKING, HALF-SEEING)

Wittgenstein derivó en su libro (1953), póstumamente publicado, hacia la propuesta de algunas formas posibles de comprender las realidades que pueden ser *mostradas*, pero no *pensadas*, o al menos, no enteramente pensadas. La experiencia de ver algo es convertida en una experiencia perceptual y de ese modo considerada como indistinguible del pensamiento (Bar-Elli 2006). Como dice Wittgenstein, “is it a case of seeing and thinking? Or an amalgam of the two, as I should almost like to say?” (pag. 197). ¿Es posible una amalgama entre el ver, el constatar un hecho, y el pensar? Imaginemos una característica compleja que pueda ser sólo mostrada, como un rostro humano. La imagen de la cara depende de una enorme red de interacciones anatómicas implicando la forma de los hue-

sos, el volumen de los músculos, la cantidad y distribución de grasa subcutánea, la vascularización de la piel, la distribución de los folículos pilosos, y de muchos otros factores. Pero estos factores reflejan también la edad, el sexo, la etnia, la dieta o incluso el carácter de ser humano que subyace a dicho rostro, de modo que mirar un rostro puede producir *efectos*. Una completa descripción de la red dinámica de elementos que dan lugar a una cara particular reconocible sería casi imposible. Por supuesto, se pueden intentar aproximaciones burdas, como las de los paleoantropólogos tratando de reconstruir a partir de los huesos y la supuesta dieta el rostro de Lucy, nuestra querida homínida ancestral. Pero el ejemplo que estamos discutiendo aquí es el de si el aspecto de un rostro que *vemos* es la *información condensada* de una compleja red de hechos elementales. Incluso sin la necesidad de conocer casi nada de la red generacional de interacciones que produce el resultado de una cara, ésta puede ser recordada y comparada con otras caras con un elevado nivel específico de discriminación. La persona que reconoce una cara tiene una *experiencia de significado* . Debido a que la cara puede revelar semejanzas familiares, Wittgenstein sugiere un parentesco entre *ver* un aspecto y la *experiencia de significado* . La experiencia de significado es medio-pensar (Bar-Elli 2006).

Por supuesto, la metáfora musical es explotada por el Wittgenstein tardío de *Last Writings on the Philosophy of Psychology* en un sentido idéntico. La música resulta de una interacción compleja dinámica de elementos, no tiene una estructura semántica clara y, como la cara, produce efectos, una *experiencia de significado* que posibilita *conexiones* y *comparaciones* , por ejemplo, en cuanto al ritmo, sobre un tema musical: "I could compare it with something else which has the same rhythm (I mean the same pattern) (pag. 382)". La comprensión de un tema musical está basada en la experiencia de lo que define como *relaciones internas* que ocurren, por el otro lado, en el impensable material musical. Bar-Elli (2006) ha señalado la importancia crítica del concepto de *experiencia de significado* en Wittgenstein como parte de una visión sinóptica (*übersicht*) de comprensión.

La música constituye un equivalente excelente de la vida en lo que respecta a la exploración de la inteligibilidad de sistemas complejos, probablemente superior al lenguaje, precisamente porque la inteligibilidad musical no requiere el conocimiento de la significación de unidades semánticas, que son a menudo concebidas como la base de la analogía lingüística. Debido a que el libro de la música no puede reducirse a una partitura musical, el libro de la vida es la vida misma, y no sus representaciones, una conclusión que acerca a Noble ("my central argument is that the book of life is life itself") a las tesis de Wittgenstein.

En conclusión, nuestra comprensión de los sistemas complejos como la vida o la música depende tanto de: i) La comprensión de sus formas de representación (como genomas o partituras. ii) La comprensión (bajo la

forma de *experiencia de significado*) de algo que puede ser sólo visto o mostrado, pero también comparado y situado en redes relacionales: medio-pensar y medio-ver, la estrategia, HT-HS (*half-thinking, half-seeing*), a la vez epistemológica y heurística.

IMPLEMENTANDO LA ESTRATEGIA HT-HS:
FORMAS DE REPRESENTACIÓN (MODELOS)
COMPLEJOS DE SISTEMAS COMPLEJOS

¿Cómo la estrategia HT-HS puede aplicarse a un incremento de la inteligibilidad de los sistemas complejos biológicos, y a la vida en general? Por lo que respecta al estadio del medio-pensar, *half-thinking*, resulta obvio que deberíamos mantener la investigación descriptiva de alto nivel como se ha venido haciendo en genómica, proteómica, metabolómica o transcriptómica en organismos particulares, o en comunidades biológicas (metagenómica, metaproteómica, etc.) complementada por la aproximación dinámica proporcionada por la fluxómica, todo ello dentro del marco de una biología de sistemas computacional cada vez más avanzada. Todo ello es investigación en la composición de los *hechos atómicos* y *proposiciones* de Wittgenstein; por supuesto, incluye cierto nivel de síntesis, lo que Moya, et al. (2009) propusieron en llamar “visión sintética uno”. Este es el nivel de la anatomía y la fisiología o, en términos lingüísticos, el que permite la *legibilidad*. Estas aproximaciones descriptivas sirven de hecho para proporcionar material (material organizado) para alimentar modelos complejos, capaces de moverse a la “visión sintética dos” (Moya, et al. 2009). El estadio del medio-ver, *half-seeing*, podría empezar cuando fuésemos capaces de desarrollar herramientas más potentes para modelizar y poder considerar simultáneamente todos los datos y procesos generados por estas –ómicas, de una forma comprensiva e integrada. Si fuésemos capaces de representar holísticamente el resultado de semejante aproximación sintética, estaríamos cerca de algo similar a una imagen compleja de una estructura viva, capaz de ser vista o mostrada. Y lo que es más importante, capaz de ser comparada *fisionómicamente* y relacionada con otras imágenes obtenidas de otros organismos. En este estado deberíamos alcanzar la *imaginabilidad* del sistema complejo. La parte más avanzada del estadio del medio-ver debería basarse en una comprensión multijerárquica de la vida, y la esperada aparición de cualidades *emergentes*, particularmente si las estrategias de *comunicación* entre niveles están aseguradas. Modelizar niveles complejos transjerárquicos es quizás uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos. Esos modelos deberían proporcionarnos los diferentes niveles de predicibilidad. De hecho, la predicibilidad es probablemente la mejor piedra de toque para validar la realidad de modelos complejos de sistemas complejos (Baquero 2009).

Como Noble (2006) ha expresado, la vida debería ser considerada en una variedad de niveles, como una interpretación orquestal en la que interactúan genes, células, órganos, cuerpos y medio ambiente y que, por tanto, puede examinarse sólo bajo la perspectiva de la biología sintética. Los microbiólogos se encuentran entre los científicos mejor situados para madurar estos conceptos, ya que tienen una experiencia diaria de las complejas interacciones entre secuencias genéticas y dominios, operones, genes, proteínas, complejos macromoleculares, redes de señalización, funciones adaptativas y reguladoras, diferentes clases anidadas de elementos genéticos móviles, clones, especies, comunidades, comunidades microbianas integradas y la ecología microbiana a gran escala. Tenemos que lidiar con una enorme diversidad de hechos o piezas, que constantemente ofrecen de un modo transjerárquico nuevos patrones complejos a los procesos evolutivos (Baquero 2004, 2009). Brevemente, esperamos que el futuro permitirá a los científicos cubrir las tres fases de este futuro proceso epistemológico: legibilidad, imaginabilidad e inteligibilidad de los sistemas complejos biológicos. Mezclando medio-pensar y medio-ver, *half-thinking* y *half-seeing*.

CONCLUSIONES

1) La música puede considerarse una representación de la vida, con un nivel de representación que permanece tan impensable como la vida misma.

2) La música y la vida pueden ser representadas en niveles jerárquicos bajos por partituras musicales y secuencias genómicas, y tales representaciones tienen una influencia generacional en la reproducción de la música y la vida.

3) El análisis de partituras y secuencias genómicas puede proporcionar claves mecánicas, filogenéticas y evolutivas sobre la música y la vida, pero no sobre su verdadera naturaleza, que se mantiene impensable.

4) La interpretación con un instrumento de una partitura musical o la reproducción de la vida por síntesis química completa de un genoma dentro de un andamio artificial no incrementa la pensabilidad de la vida o de la música.

5) Una de las principales tareas de la ciencia es tratar de escalar las formas de representación en modelos complejos inteligibles, esto es, expandir los límites de la pensabilidad o inteligibilidad.

6) Los sistemas complejos, como la vida o la música, están compuestos de partes pensables y partes sólo mostrables, y por tanto una estrategia de medio-pensar, medio-ver es necesaria para expandir el conocimiento.

7) Deberían desarrollarse modelos complejos de sistemas complejos, basados en la modelización integrativa transjerárquica, para proporcionar

una mezcla de legibilidad e imaginabilidad de los procesos biológicos, que debería conducir a mayores niveles la inteligibilidad de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de la Unión Europea EvoTAR-HEALTH-F3-2011-282004 para F. B. y por las ayudas SAF2009-13032-C02-01 del Ministerio de Ciencia e Innovación y Prometeo /2009/092 de la Generalitat Valenciana, España, en el caso de A. M.

REFERENCIAS

- Baquero, F. (2004), "From pieces to patterns: evolutionary engineering in bacterial pathogens", *Nature Reviews Microbiology* 2: 510-8.
- Baquero, F. (2009), "Predictions: evolutionary trajectories and planet medicine", *Microbial Biotechnology* 2: 130-132.
- Baquero, F. (2011), "The 2010 Garrod Lecture: The dimensions of evolution in antibiotic resistance: *ex unibus plurum et ex pluribus unum*," *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 66: 1659-1672.
- Bedau, M. A. (1996), "The nature of life," in Margaret Boden (ed.), *The Philosophy of Artificial Life*, Oxford: Oxford University Press, pp. 332-357.
- Bar-Elli, G. (2006), "Wittgenstein on the experience of meaning and the meaning of music," *Philosophical Investigations* 29: 217-249.
- Komarova, N.; Niyogi, P. (2004), "Optimizing the mutual intelligibility of linguistic agents in a shared world", *Artificial Intelligence* 154: 1-42.
- Maynard Smith, J.; Szathmáry, E. (1995), *The Major Transitions in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Moya, A.; Krasnogor, N.; Peretó, J.; Latorre, A. (2009), "Synthetic biology: Goethe's dream. Challenges and opportunities for synthetic biology", *EMBO Reports* 10: S28-S32.
- Noble, D. (2006), *The Music of Life: Biology Beyond the Genome*. Oxford: Oxford University Press.
- Westerhoff, H. V.; Palsson, B. O. (2004), "The evolution of molecular biology into systems biology", *Nature Biotechnology* 22: 1249-1252.
- Wittgenstein, L. (1921), *Tractatus Logico-Philosophicus*. Versiones: <http://www.kfs.org/~jonathan/witt/mapen.html>; y la traducción de Luckhard, C. G. y Aue, M. A. E., London: Basil Blackwell, 1980.
- Wittgenstein, L. (1949-1951). *Last Writings on the Philosophy of Psychology*, traducción de Luckhard, C. G. y Aue, M. A. E., London: Basil Blackwell, 1982.
- Wittgenstein, L. (1953), *Philosophical Investigations*. Traducción de Anscombe, G. E. M., London: Basil Blackwell.