

NADA TIENE SENTIDO EN INGENIERÍA SI NO ES A LA LUZ DE LA EVOLUCIÓN

por FRANCISCO VICO

DEPARTAMENTO DE LENGUAJES Y CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN, UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, 29071 - MÁLAGA (ESPAÑA)

FJVICO@UMA.ES

Palabras clave: computación, bioinspirada, evolutiva, algoritmo, evo-devo

Enviado: 12 octubre 2016

Keywords: computation, bioinspired, evolution, algorithm, evo-devo

Aceptado: 31 octubre 2016

Suele asumirse que la evolución es un proceso exclusivo de la materia viva, sin embargo, tiene valor explicativo en otros campos, y también utilidad en ingeniería. La computación evolutiva es un prometedor campo de la ciencia informática, que se apoya en conceptos como la selección de los más aptos, la codificación genética y su variación por mutación o recombinación sexual. Los algoritmos evolutivos se aplican a problemas de diseño, donde aportan novedad, explorando múltiples soluciones en paralelo, frente a la estrategia «vertical» del cerebro. Esta capacidad inventiva convierte a la computación evolutiva en la estrategia de inteligencia artificial más apta para modelar una de las facetas más humanas: la creatividad artística. *Iamus* es un ordenador diseñado en la Universidad de Málaga y programado por un equipo multidisciplinar de investigadores para que aprendiese el lenguaje musical y las técnicas de composición. El lanzamiento de su primer álbum fue recibido con una mezcla de admiración, escepticismo y temor; iniciando en los medios una profunda discusión en torno a la naturaleza misma del arte. Que *Iamus* pueda componer obras de calidad humana es consecuencia de su origen bioinspirado, donde las estructuras musicales capturan muchos de los atributos propios de la compleja materia viva.

We often take for granted that the evolution occurs only in the substrate of the living matter. However, it can explain phenomena in other fields, and it also has found utility in engineering. Evolutionary computation is among the most promising methodologies in the computer sciences. It is founded on concepts as the selection of the fittests, the genetic encoding, and how mutation or sexual recombination can introduce variation and diversity. Evolutionary algorithms are applied to design problems, where they contribute with novelty: exploring multiple solutions in parallel, as opposed to the “vertical” strategy of the brain. This inventive ability makes evolutionary computation a perfect candidate to model one of the most distinctive aspects of humans: artistic creativity. Iamus is a computer designed at the University of Malaga. It has been programmed by a multidisciplinary research team to learn the musical language and composition techniques. Its first album provoked mixed feelings of awe and skepticism, and started in the media a profound debate around the nature of the arts. The fact that Iamus can compose human-level music derives from its bioinspired grounding, providing the musical structures with some of the attributes responsible of the complexity of the living matter.

Introducción

Aún habrá quien considere presuntuosa la frase que popularizó Dobzhansky^[1]: «*Nothing in biology makes sense but in the light of evolution*». Su objetivo, más que resaltar el papel omnipresente de la evolución en las formas vivas, era rebatir el creacionismo. Hoy sabemos que, si bien incompleta (como todo en ciencia, en todo momento), la teoría de la evolución por selección natural propuesta por Darwin y Wallace, es un hecho científico incontestable, así como un pilar imprescindible para entender la biología, desde el nivel molecular, hasta el de población.

La teoría de la evolución ya era conocida antes de *The origin of species* (libro, por cierto, que explicaba mucho, excepto el origen de las especies). La evolución es un concepto arraigado en la cultura occidental, que se ha utilizado en sociología ligada a

la idea de progreso, tanto para explicar el avance cultural —en humanos y otras especies—, como para justificar ruinosas ideologías racistas. En física, por su parte, se considera que las leyes que gobiernan nuestro universo podrían ser igualmente el resultado de un proceso evolutivo, donde otros tipos de interacciones fundamentales entre partículas habrían originado la actual gravitación o el electromagnetismo. La lingüística también estudia las lenguas desde este punto de vista, en la medida en que unas devienen de otras, o van ligadas a la línea evolutiva del ser humano.

En efecto, podemos considerar la evolución como un proceso general, en absoluto exclusivo de la materia viva. Si observamos, por ejemplo, el desarrollo de un producto industrial, encontraremos fenómenos análogos a los observados en la evolución biológica, como estructuras genealógicas, cambios graduales y saltos evolutivos. Basta comparar vehículos, mobilia-

rio, o dispositivos electrónicos de hace unas décadas con los actuales para comprobar que han sufrido una suerte de evolución artificial. Aquí echamos en falta procesos genéticos, pues aunque el producto está descrito en sus planos de fabricación, estos difieren mucho de la codificación molecular de los seres vivos. Aún así, sin mutaciones, duplicaciones o recombinación sexual, de algún modo ocurre evolución en el sustrato neuronal que codifica un producto: la mente del diseñador.

Al igual que otros procesos biológicos, como la neurocomputación o la inteligencia de enjambres, la evolución fue formalizada y utilizada como método de optimización desde los inicios de la ciencia informática, conocida actualmente como «computación evolutiva». Este tipo de estrategias (calificadas como «*soft computing*») difieren del enfoque tradicional de resolver problemas con ordenadores, por cuanto no se centran en *cómo* obtener la solución, sino en *describir* el problema, para que un proceso de búsqueda aproxime una solución. Y la computación evolutiva ha realizado notables aportaciones: en diseño electrónico (placas y antenas), robótica, arquitectura, y también en campos supuestamente vedados a la inteligencia artificial, como el arte.

Música: ¿creatividad desde la evolución?

En otoño de 2012 se presentaba en la Universidad de Málaga el primer álbum de música contemporánea cuyas obras fueron compuestas por un ordenador en su propio estilo^[2], sin intervención humana, y grabado por intérpretes profesionales, de la talla de la *London Symphony Orchestra*. Naturalmente los ordenadores han creado muchas obras musicales, pero generalmente imitaban estilos de compositores humanos (Mozart o Bach) y su calidad artística no suponía un desafío para un músico. Iamus^[3], el ordenador compositor de la UMA, aprendió la teoría musical y las técnicas de composición como un alumno de conservatorio, y nunca escuchó obras de otros autores, por lo que su estilo puede considerarse original. Sin embargo, una cosa es disponer de la gramática inglesa, y otra muy distinta escribir como Shakespeare; por lo que podríamos preguntarnos: ¿de dónde surge la creatividad de Iamus?

En un tiempo en que la Inteligencia Artificial experimenta uno de sus períodos más dorados, debemos reconocer humildemente que aún desconocemos las bases de la inteligencia. La creatividad, entendida como la capacidad de inventar o innovar, es una manifestación más de la inteligencia humana. Y, como tal, la ingeniería informática busca imitarla, construir artefactos creativos. Sabiendo que la inteligencia se

origina en el cerebro, las redes neuronales artificiales constituyen uno de los modelos utilizados para producir comportamientos inteligentes. Sin embargo, el cerebro no es el único paradigma de creatividad a nuestro alcance. Existen otras fuentes de creatividad más fértiles y en las que, a menudo, el ser humano busca inspiración: la naturaleza y, en particular, la materia viva.

La definición de Iamus es profundamente bioinspirada. En sus circuitos, las piezas musicales se asemejan más a formas vivas que a meros pentagramas; en el sentido de que cada una posee una especie de genoma y la composición se obtiene mediante un proceso de desarrollo (que en ingeniería se asocia al proceso embrionario, aunque difiere notablemente), similar a como una estructura arborizada resulta de la interpretación gráfica de un sistema de Lindenmayer. Así es como Iamus compone, digamos, una obra para orquesta completa: imitando el proceso evolutivo. Inicialmente genera obras extremadamente sencillas, cuyos genomas son simples y los fenotipos apenas contienen un puñado de notas. Si el proceso terminase ahí, la interpretación podría consistir en un fagot dando un fugaz do sostenido, mientras el resto de la orquesta permanece en silencio; nada impresionante. Pero la evolución entra en juego. La selección natural asigna valores de bondad a cada obra, y aunque pobres, en general, unas resultan ligeramente mejores que otras (la que incluye tres notas está mejor adaptada que la que sólo tiene una). Los genes musicales persisten según esta ley biológica: las mejores composiciones dejan más descendientes. Los genomas, además, están expuestos a errores de copia: mutaciones puntuales, duplicaciones, inversiones o translocaciones; que introducen variabilidad y riqueza en la obra. De esta forma, la selección natural, apoyándose en criterios como la validez musical, la densidad de notas, o la duración total, va esculpiendo la forma de la obra resultante, favoreciendo unas alteraciones sobre otras, dejando paso a aquellas con mayor valor artístico y validez interpretativa. Habiendo alcanzado obras que cumplen los requisitos exigidos, termina el proceso evolutivo e Iamus agrega una nueva obra a su repertorio. (Este proceso ocurre en minutos, por lo que la productividad de Iamus supera en órdenes de magnitud a la humana.) Por tanto, la estrategia creativa de Iamus se apoya fuertemente en la dinámica genética y en la evolución por selección. Que esta estrategia funcione no es sorprendente, pues los compositores utilizan a menudo técnicas similares a los procesos de alteración genética^[4] (como la duplicación en el canon, o la inversión de partes de la obra), y la selección simplemente filtra los más prometedores.



Figura 1. Tres individuos en una misma línea filogenética: una estructura musical muy simple (arriba), procedente de una población ancestral en el proceso evolutivo; una composición con una mayor complejidad (partitura central); y el resultado final (abajo), adaptada a los requisitos de duración, instrumentación y validez interpretativa que se entregaron a Iamus.

La técnica evolutiva de Iamus puede ilustrarse con ejemplos tomados del proceso compositivo. Pedimos a Iamus que crease un audio logo con una determinada duración e instrumentación. La Figura 1 muestra tres partituras extraídas de la misma línea evolutiva. La partitura de abajo y más a la derecha es el resultado final; arriba se muestra uno de sus ancestros primitivos, y en el centro una composición en un estadio evolutivo intermedio. Puede apreciarse que la partitura intermedia guarda un parecido estructural con su antecesor (arriba), y que la última también conserva rasgos de la intermedia. Este parentesco, plasmado en el pentagrama, resulta aún más evidente en su interpretación: [escuchar audio/[ancestro](#), [intermedio](#) y [moderno](#).]

Como se ha apuntado anteriormente, Iamus no trabaja con una única obra, sino que mantiene una población de individuos, que son potenciales soluciones y están sometidos a la presión selectiva. Por esto, cuando el proceso termina, Iamus dispone de múltiples composiciones que cumplen los requisitos. Escuchemos ejemplos de versiones en estilo [escuchar audio/[moderno](#) y [acústico](#)] de la partitura resultante en la Figura 1, pertenecientes a ramas evolutivas diferentes.

Por último, la representación de las obras musicales en esta especie de genomas artificiales (que poco tienen que ver con los ácidos nucleicos), abre la posibilidad de manipular voluntariamente la información que contienen. Es decir, si conocemos el efecto que una parte de este genoma produce en la composición final, puede pensarse en nuevos métodos de composición mediante ingeniería genética musical. Bastaría alterar el gen del tempo para que la partitura (o síntesis) resultante sea más lenta, o más

rápida; retocar el gen del ritmo para añadir percusión; articulaciones, instrumentación, etc., cualquier parámetro compositivo es susceptible de ser codificado (y manipulado). Con esta técnica, Beethoven habría podido evaluar distintas formas del motivo principal en su quinta sinfonía (ta-ta-ta-taa), sin necesidad de reescribir la obra. También es de gran interés la posibilidad de crear variaciones sobre un tema (variantes sin plagio), o de insertar genes en los genomas de otras obras; como en este ejemplo, en que los genes del audio logo han sido incorporados al genoma de una obra de música electrónica, produciendo un resultado [escuchar audio/[híbrido](#)] (apreciamos la melodía anterior en 0:23 y 1:58). Esta tecnología abre enormes posibilidades en el campo del audio branding (logotipos musicales) y la publicidad por emplazamiento (incrustar un logo en otro producto).

En un futuro inmediato

La fertilización de ingeniería y biología está siendo fructífera en ambos sentidos: tanto por la aplicación de técnicas informáticas al procesamiento y comprensión de los datos biológicos, como en la creación de diseños, materiales y algoritmos bioinspirados^[5]. Es en la comprensión de los mecanismos del cerebro y de la genética donde esperamos las aportaciones más sorprendentes a la ingeniería. El aprendizaje profundo (*deep learning*) y las técnicas «evo-devo» (evolución y desarrollo) lideran actualmente esta tendencia. Resulta tentador pensar en un futuro donde los planos sean sustituidos por genomas artificiales, y la manufactura por procesos de desarrollo, donde los diseños se recombinen entre sí para generar descendencia, y sufran múltiples mutaciones para estimular la creatividad del diseñador con variantes de una idea. Este procedimiento mejora la originalidad y acelerará extraordinariamente los procesos de diseño, prototipado y fabricación, pudiendo poner en marcha una revolución comparable a la que la medicina regenerativa está suponiendo en el área de la salud. Si éste es un futuro plausible para la ingeniería, el eslogan que da título a esta contribución podría llegar a ser tan válido como lo es para la biología.

Referencias

- ¹Dobzhansky T. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *American Biology Teacher* 35 (3): 125-129, 1973.
- ²Ball P. Algorithmic rapture. *Nature* 188: 456, 2012.
- ³Wikipedia contributors. Iamus (computer). Wikipedia, The Free Encyclopedia.
- ⁴Ohno S. Repetition as the essence of life on this earth: music and genes. *Haematol Blood Transfus* 31: 511-8, 1987.
- ⁵Vico F. Biomimetic engineering. *Acta Hort (ISHS)* 802: 21-32, 2008.