

La **música** de

Pedro Miramontes



la vida

*La inspiración es un visitante
que no suele frecuentar
a los perezosos.*

P. I. CHAIKOVSKI

Oliver Messiaen fue un compositor francés del siglo XX (nacido en 1908 y muerto en 1992). De entre los cientos o miles de compositores de música culta que aparecen en la historiografía de este arte, he elegido a Messiaen para ilustrar algunos rasgos interesantes que intervienen en el proceso de la creación musical. Pude haber elegido algún otro, pero como se verá más adelante, el caso de este singular compositor es aleccionador.

El compositor inglés George Benjamin, discípulo de Messiaen, declaró una vez, refiriéndose a éste: “pienso que el color prístino —palabra que él adoraba— ha sido sumamente importante. La gente, los compositores, han descubierto que el color, en lugar de ser un componente decorativo, puede ser un elemento fundamental en la estructura [musical]. No solamente el color de manera superficial, no únicamente en la manera de orquestarlo, no, el color como material fundamental de la música en sí”.

Benjamin elabora estas ideas a partir de las repetidas afirmaciones de Messiaen acerca de su capacidad de observar o sentir diversos colores cuando escuchaba algunos acordes específicos. Si Messiaen percibía o no los colores en la realidad, como afirma Benjamin, o si empleaba esta imagen como metáfora es inmaterial (la música también puede tener “formas”; cuando los críticos atacaron a Éric Satie por la falta de forma en sus composiciones, éste replicó



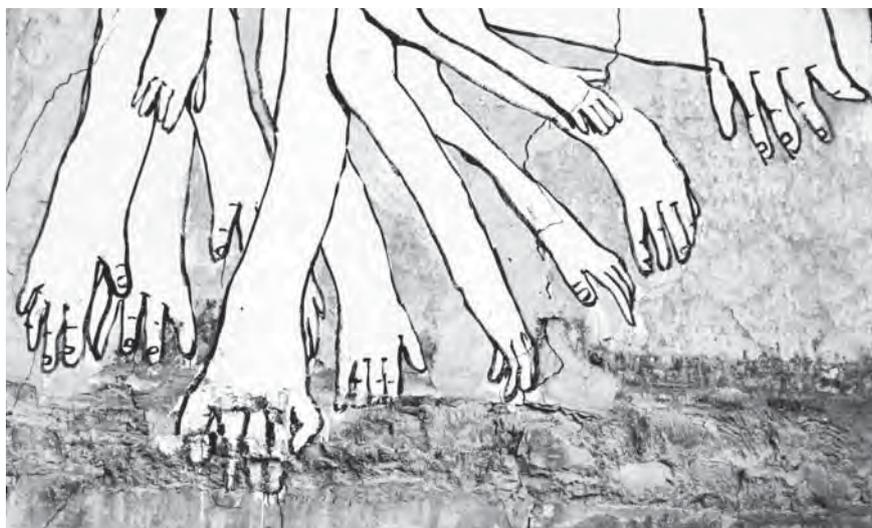
tasía cromática del hasta ahora insuperado Johann Sebastian Bach.

Volvamos a Oliver Messiaen. La gama del arcoiris no era su única fuente de inspiración. También tuvo como motivación el canto de las aves para trabajar una buena parte de sus obras. Acompañado de su esposa, emprendió viajes y, en ellos, largas caminatas por la campiña con la finalidad de registrar y grabar el canto de las aves. Uno de los resultados de estas experiencias es la colección de trece piezas para piano *Catalogue d'oiseaux*. Su acendrada fe

objeto o fuente de la inspiración y otra el *proceso mental* de la inspiración. Como a casi todos los fenómenos intangibles e inmateriales para los cuales no se tiene todavía una explicación científica, se les suele achacar a las deidades o a fuerzas sobrenaturales. Ya lo hacían los griegos; pensaban que la inspiración era un don temporal que los dioses le otorgaban a cierta gente privilegiada. Para llegar a un estado de frenesí creativo hacía falta que el vehículo de los dioses, las musas, lo visitasen a uno. Luego de la derrota de los tita-

escribiendo *Tres piezas en forma de pera*). Después de todo existe un curioso fenómeno neurológico en el cual una persona puede recibir un estímulo sensorial y percibirlo como otro de una naturaleza distinta (el roce de una tela puede disparar la sensación de un aroma). Lo importante es que el maravilloso mundo de las combinaciones cromáticas le servía no solamente para percibir la música mediante canales distintos al auditivo (él opinaba, haciendo gala de gran convicción, que tanto Monteverdi como Mozart habían escrito música de colores intensos y abigarrados) le era de utilidad para organizar su mente y que la escritura musical fluyera de manera ordenada, proceso que algunos llamamos inspiración.

En todo caso, la palabra *cromático* antecede por mucho la época de Messiaen. Los antiguos griegos distinguían tres tipos de tetracordios (arreglos de cuatro notas): el diatónico, el enarmónico y el cromático. Dejando los detalles a los especialistas, podemos decir adicionalmente que una escala cromática consiste en doce notas igualmente espaciadas y separadas por un semitono. Escuchen, por favor, la *Fan-*



católica le sirvió también de fundamento. Traducía “los maravillosos aspectos de la fe” (en sus palabras), como la natividad, la epifanía y la resurrección, en aspectos de gozo moral como la redención y el perdón, para finalmente usarlas a manera de fuente de inspiración musical. Un ejemplo es su ópera *Saint-François d'Assise*, en la cual, por cierto, abundan los pasajes de cantos de aves.

Existen compositores para quienes, por ejemplo, el mar es la inspiración de su música, para otros lo será la patria o una mujer. Pero una cosa es el

nes a manos de Zeus, los dioses primigenios —Gaia y Urano— le piden que conciba una progenie que cante por siempre alabanzas a su victoria. Zeus, obediente, yace en el tálamo amoroso por nueve noches consecutivas con Mnemosine (la diosa de la memoria) y procrea a las nueve musas: las hay para la danza, la comedia, la tragedia y algunas otras. La musa de la música es Euterpe (*eu-terpe*, buen-deleite), quien fue preñada por las aguas del río Estrimón y concibió a Reso, rey de Tracia, al que se recuerda porque fue a morir en una guerra que no era suya,

la de Troya, y porque legó su nombre a una especie de macacos. 27-Euterpe es uno de los asteroides más brillantes en el firmamento. Algunas personas piensan erróneamente que la musa de la música es Erato, pues se le suele representar portando una lira, pero es la musa de la poesía amorosa y erótica, que se acostumbraba declamar acompañándose de un instrumento musical. Un *museo* es la casa de las musas.

Si bien cualquier persona podía invocar a los dioses para solicitar la visita de las musas, en sus notas acerca de la filosofía epicúrea, Karl Marx nos dice que vale más la naturalidad por sobre el rebuscamiento: “los pitagóricos acostumbran decir que aunque se da por descontado que existe una parte divina, algunos hombres reciben, para bien o para mal, una inspiración y en consecuencia, algunos son felices y otros no. Pero es obvio que quienes actúan de manera espontánea son a menudo exitosos mientras que, aquellos que reflexionan de antemano acerca de cómo ser exitosos, fallan”.

En nuestros tiempos existen algunas teorías de la inspiración pero nada que sea convincente para todos. Decir, como Sigmund Freud, que la inspiración proviene de un conflicto no resuelto de la niñez y que se origina en el subconsciente, es lo mismo que no decir nada.

En resumidas cuentas; desconocemos el proceso mental de la inspiración y si la fuente de la misma puede ser cualquier cosa; veamos entonces lo que ha hecho un grupo de personas a partir del trabajo pionero de un bioquímico japonés llamado Susumu Ohno quien propuso como fuente de inspiración las secuencias de ADN que todos los seres vivos (los virus no están vivos) tienen en su interior. Pero antes, revisemos un

poco los modos en los que se cifra o codifica la música.

Do-Mi-Sol-Sol-Sol...

Seikilos, un ciudadano griego, vivió en las vecindades de Efeso, en las costas de Anatolia occidental, en lo que hoy es la república de Turquía. No sabemos nada de la vida del mencionado Seikilos a no ser por una inscripción en piedra que colocó en la tumba de su esposa en algún momento del primer siglo de nuestra era. Se trata de un pequeño epitafio, sólo cuatro líneas, que tiene un valor enorme en la historia de la música, pues se trata del caso más antiguo que se ha encontrado de un ejemplo completo de un texto con una notación musical que lo acompaña; es decir, una canción. Aunque existen algunos hallazgos de escritura musical más antiguos, estos son sólo fragmentos. El epitafio está escrito en un compás de $6/8$ (como la jota aragonesa o *That's How Strong My Love Is* de los Rolling Stones). La notación utiliza las letras del alfabeto griego para representar las notas musicales, mientras que la duración de las mismas, así como el tempo y el com-

pás, se indican mediante símbolos que se escriben sobre de éstas (figura 1). Si alguien tiene curiosidad, puede escuchar una interpretación moderna de esta bella canción buscando “the song of Seikilos” en su buscador de videos favorito.

En el siglo X se sentaron las bases de la notación musical moderna que se usa hoy día. No quiere decir que entre Seikilos y Guido d'Arezzo, el autor de ésta, no haya habido progresos al respecto. Hubo notaciones musicales buenas y funcionales, como en Bizancio, lo cual permitió que llegaran a nosotros los bellos cantos gregorianos que son representativos de ese lugar y época. Tampoco es correcto soslayar, como se hace a menudo, los sofisticados sistemas musicales que se desarrollaron en el mundo “no occidental”, como los de los árabes durante la edad media europea y los de las civilizaciones china, japonesa e india, por mencionar algunas, a lo largo de toda su historia. Es una lástima que éste no sea el punto central del ensayo y por ello no me extenderé más en este aspecto.

Volviendo a Guido d'Arezzo. Este monje benedictino le puso a las notas





puede ser de cuatro tipos distintos, y la parte constante se compone del azúcar desoxirribosa y un grupo fosfato. El conjunto de la base nitrogenada, más el azúcar, se llama nucleósido. En el ADN hay cuatro bases nitrogenadas distintas, por lo que se habla de cuatro nucleótidos como bloques constituyentes del ADN. Las bases pueden ser adenina, citosina, guanina y timina (A,C,G y T).

Gracias a la geometría y a las propiedades fisicoquímicas de las bases nitrogenadas es posible la formación de parejas o pares de bases que se unen mediante puentes de hidrógeno. Los pares de bases que existen son de adenina con timina, mediante dos puentes de hidrógeno, y de citosina con guanina mediante tres puentes de hidrógeno. Debido a este principio de complementariedad, una vez que se tiene un polímero de nucleótidos, éste se puede acoplar con el complementario y formar un bipolímero o doble polímero en forma de escalera, en el cual los pasamanos son los grupos fosfato y la desoxirribosa, mientras los peldaños son las bases nitrogenadas en pares (figura 4a). A la secuencia de nucleótidos en una de las ramas de la escalera, y que

determina la complementaria, se le llama estructura primaria del ADN. Como se aprecia, la escalera se tuerce formando un helicoide, es la famosa doble hélice del ADN. Fueron James Watson y Francis Crick quienes dilucidaron la geometría del ADN, descubrimiento que los llevó a obtener el Premio Nobel.

El ADN se abre como un zipper descompuesto durante el proceso de duplicación a fin de que cada una de las hebras sueltas sirva de molde para la síntesis de su complemento, de lo que resultan dos cadenas de ADN idénticas a la original; la célula se puede duplicar, quedando entonces una copia del ADN en cada célula hija. Pero la doble hélice también se abre con otro propósito: que en las hebras sueltas se sintetice una copia del complemento pero en forma de ARN y no de ADN. Para esta descripción tan simplificada, basta decir que el ARN se diferencia del ADN únicamente por el hecho de tener *uracilo (U)* en lugar de *T*. La cadena de ARN así formada se llama ARNm (ARN mensajero) y viaja a un complejo molecular muy grande llamado ribosoma. En el ribosoma entra un hilo de ARN y se lee como si fuera un mensaje escrito

en una tira de papel, y por cada paquete de tres letras del hilo (un "codón", del inglés *to code*) se agrega un aminoácido a una hebra nueva que se sintetiza ahí mismo. Posteriormente, cada rosario de aminoácidos, en un proceso que se desconoce todavía, adopta una estructura tridimensional muy complicada que se llama proteína (figura 4.b).

Músculo, piel, cabellos, casi todo de lo que están hechos los animales, por ejemplo, son proteínas. También nuestro funcionamiento depende de hormonas, neurotransmisores, feromonas, etcétera. En pocas palabras, sin proteínas no funcionamos ni somos. El proceso recién descrito de manera somera es la forma como cada célula fabrica sus proteínas. Se llama gen a cada pedazo de ADN que da lugar al ARN, el cual a su vez produce una cadena de aminoácidos que luego formaran una proteína.

Buena parte de la historia evolutiva de los seres vivos se puede inferir a partir del estudio comparativo de los genes. Una vez que dos especies divergen a partir de un ancestro común, las secuencias que codifican un mismo gen —por ejemplo, la -hemoglobina—, po-

HUMANOCBR1 ATCTAGGCACATGGCCACTAGGAATGGTTCTTCACTGCCACGTGGGCAGC
 RATÓN*Cbr1* AGATAACAGACAACCTG ACCTTTCGTTGCATGGTAACTT ATTTAA

Figura 3. Alienación de dos secuencias de ADN. Aquí se muestra el gen *Cbr1* tanto del humano como del ratón.

siblemente también diverjan debido a posibles mutaciones (cambios de una letra de ADN por otra) acumuladas a lo largo del tiempo. Una técnica muy socorrida para indagar las relaciones entre varias especies consiste en medir las distancias evolutivas entre ellas para después representar como un árbol sus relaciones. Primero se baja de las bases de datos de la red las secuencias de un gen que sea el responsable de la misma proteína en un grupo de especies, después se alinean; es decir, se coloca cada una en un renglón y se busca maximizar el número de coincidencias de letras o grupos de letras (figura 3).

Cada discrepancia (incluso la necesidad de introducir espacios en blanco para lograr mayor coincidencia) es penalizada y se define una distancia como función de la penalización. Cuando se lleva a cabo este procedimiento para más de dos secuencias, se obtiene una matriz de distancias entre especies

que se puede dibujar como un árbol de relaciones filogenéticas (figura 4.c).

A lo largo de la historia de la vida en la Tierra han ocurrido duplicaciones de genes por errores en la recombinación, y donde antes había un solo gen, posteriormente puede quedar una pareja de ellos o incluso una repetición en tándem de varios de ellos. Como los genes pueden estar sujetos a tasas de mutación distintas, estos conjuntos de repeticiones pueden dar lugar a proteínas nuevas. En 1970, el ya mencionado Susumu Ohno, postuló que la repetición de genes sería una de las mayores fuentes de variabilidad en el proceso evolutivo. De hecho, llegó a afirmar que “es la mayor fuerza en la evolución desde la aparición del ancestro común universal”.

Fue el mismo Susumu Ohno, conjuntamente con Midori Ohno, quienes en 1986 publicaron en la revista *Immunogenetics* un artículo que propuso la

secuencia de ADN y de las proteínas como fuente de inspiración musical.

La música de la vida

Recordemos que la escritura de la música occidental se basa en siete notas que se identifican por bolitas que ocupan posiciones específicas con respecto de las cinco líneas horizontales de una hoja de papel pautado. Su duración se indica con su color (negrita, blanca) y símbolos especiales; el compás y el tempo se señalan al principio de la partitura, aunque luego se puedan modificar, y también hay símbolos especiales para los embellecimientos y anotaciones para instrumentos específicos. Se propondría de manera natural identificar cada una de las bases nitrogenadas con una nota musical, de manera que al ir leyendo secuencialmente un genoma (el contenido completo de ADN en cada célula) se

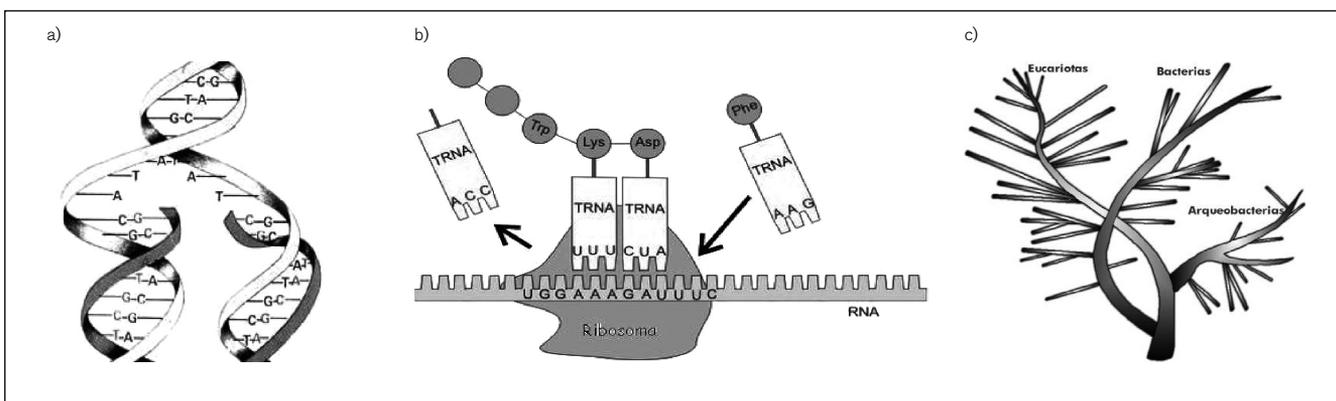


Figura 4. a) La doble hélice del ADN b) El proceso de traducción del ARN (UGGAAA...) en el ribosoma para dar lugar a una cadena de aminoácidos (Trp, Lys, Asp) que eventualmente formará una proteína. c) Árbol filogenético dibujado a partir de una matriz de distancias luego de alinear un conjunto de secuencias de ADN.

produzca una secuencia sonora. Sin embargo, la asignación del compás, tempo y duración de las notas tendría que ser arbitraria, sin contar que una tonada con cuatro notas no daría para gran cosa. Esta última restricción se puede subsanar de inmediato si en lugar de leer el ADN letra por letra, se van registrando pares de letras (dímeros, en lenguaje técnico) y de esa manera se tienen 16 posibles notas.

Disminuir el grado de arbitrariedad en la asignación de las notas, en la elección del ritmo e instrumentación, es una tarea cuyas bases sentó Ohno en el artículo ya mencionado. Ohno justifica que el ADN y sus productos, las proteínas, sean su fuente de inspiración, recordándonos que el origen de la música se puede separar en dos aspectos: el del ritmo y el de la melodía. El ritmo, siempre según Ohno, aparece como golpeteos sobre cualquier material —madera, roca— para acompañar actividades humanas que tienen un buen grado de periodicidad (caminar, correr), mientras que la melodía —recordemos



a Messiaen— aparece posteriormente como imitación del canto de las aves. Para Ohno, el ritmo del ADN viene dado por la naturaleza repetitiva de muchos genes (casi todos los factores de coagulación de la sangre vienen de genes que evolucionaron por múltiples duplicaciones). Pero Ohno va más allá, para él no sólo los genes se han duplicado, sino que toda obra mayor en la historia humana es la repetición de un patrón original con variantes. Según es-

to, la inmensa riqueza arquitectónica de las catedrales góticas no es más que la imitación de la primera, de la original, de la catedral de Saint-Étienne en Sens, Francia. Esta línea platónica de razonamiento nos llevaría a la conclusión de que en la historia de la cultura ha habido pocas ideas originales y que las civilizaciones han crecido plagiándose a sí mismas.

Inspirándose en las repeticiones de un patrón de nucleótidos que aparecen

GENÓMICA MESTIZA, UNA COMPOSICIÓN CREADA CON BASE EN ADN DE LA POBLACIÓN MEXICANA

En la Sala Nezahualcóyotl de la UNAM, el 3 de septiembre del presente, la Orquesta Filarmónica de las Américas interpretó *Genómica mestiza*, del compositor Enrico Chapela, quien en el programa explica el origen de ésta: "México es producto del encuentro de dos mundos; su cultura surge de la fusión de América con Europa y su población nace del mestizaje entre los pobladores originales, los conquistadores ibéricos y sus esclavos africanos.

Estos grupos se han mezclado durante 500 años, dando como resultado el numeroso grupo de mestizos que representan más del 80% de la población mexicana actual. En búsqueda de un material apropiado para la composición de una obra dedicada a celebrar los 200 años de vida independiente de México, busqué inspiración en el reciente estudio realizado al respecto de la diversidad genética de los mexicanos, llevado a cabo por el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN).

Este proyecto analizó muestras de más de 300 individuos no relacionados entre sí, de diferentes regiones de México, mismas que fueron comparadas con estudios internacionales de europeos, africanos y asiáticos en búsqueda de posibles variantes. Dicho estudio identificó 89 variaciones del genoma sólo presente en mexicanos que resultaron ser de origen americano.

Así pues, decidí utilizar este estudio como material para determinar las diferentes variables de la obra. Para ello me puse en contacto con investigadores del Inmegen, quienes amablemente accedieron a proveerme información sobre las 89 variantes mexicanas (no sin antes hacerme jurar total confidencialidad).

Esta valiosa información incluyó el número de cada variante, el cromosoma donde está localizada y su posición exacta dentro del mismo.

El número de posición de las 89 variaciones nunca es mayor al número de permutaciones de 12 notas. Por lo tanto, se puede hacer una correspondencia entre los 89 números de posición con 89 series dodecafónicas distintas, definiendo con ello todas las notas de la obra.

Cada cromosoma tiene un número bien conocido de bases que fueron escaladas para corresponder a la duración total, lo que estableció la ubicación de las notas en 23 secciones diferentes, cada una correspondiente a un cromosoma.

En lo referente al ritmo, las 89 variantes aparecen con una frecuencia diferente en cada cromosoma. Estas diferentes frecuencias de aparición fueron utilizadas para determinar los valores y los querbrados rítmicos".

en el gen de la quinasa del fosfoglicerato (una proteína que existe en todos los seres vivos, que tiene que ver con la producción de energía en las células, por lo que se considera muy antigua), Ohno toma un patrón rítmico y, luego de hacer una asignación un poquitín arbitraria entre las letras del ADN y las notas musicales, “compone” una pieza para violín en Re mayor, con compás de $\frac{9}{8}$ (el mismo que en *I hung my head* de Sting) cuya primera línea aparece en la figura 5.

El hecho de que haya un cierto grado de arbitrariedad en esta “composición” no es algo para reprobar *a priori*. El proceso creativo lo requiere. El ADN, al igual que cualquier sucesión de símbolos, no contiene una música implícita, Ohno simplemente toma los patrones de esa sucesión como “moldes” para sugerir piezas musicales. Es importante aclarar este punto pues a partir de la publicación del artículo de Ohno se desató un auténtico tsunami de representantes de diversas escuelas de esoterismo *new age* que claman que la música del ADN forma parte de una armonía universal pues entra en resonancia con otra música, a nivel superior, que es la “música cósmica” o “música del Universo”. Ohno resbala y cae un poco en estos terrenos al afirmar que en la balada de la quinasa del fosfoglicerato se observa un sentimiento de “una inquietante tristeza cósmica, se-

guramente debida a que se trata de un gen que ha estado ahí cientos de millones de años (*sic*)”.

Ohno presenta varios ejemplos adicionales en el artículo ya mencionado, por ejemplo, un nocturno para piano de la polimerasa de ARN de ratón (al lector interesado en descubrir como suena la música del ADN se le recomienda



visitar en la red la página de Wentian Li (www.nslj-genetics.org/ADNmusic/).

Finale presto

Desde la labor de Ohno, mucho se ha escrito y contribuido a extraer música tanto del ADN como de las proteínas. De entre la avalancha de publicaciones se puede destacar una que agrega aspectos novedosos e interesantes al trabajo del pionero, escrita por Todd Ingalls, de la Universidad de Arizona, y un grupo de colaboradores de las uni-



versidades de Gotinga y Leipzig. Gran parte de la originalidad de su trabajo consiste en que ya no se basan en una única secuencia que eventualmente daría una o un par de líneas melódicas. En su trabajo, este grupo toma un grupo grande de secuencias, cada una proveniente de una especie. Con las técnicas de alineación de secuencias que comentamos más arriba, estas especies —sus secuencias— se arreglan en forma de un árbol filogenético. A especies próximas se les asignan instrumentos cercanos y de esta manera se puede “componer” toda una pieza orquestal. Los detalles técnicos del mapeo de las secuencias a las notas son demasiado elaborados para mostrarlos aquí, pero se pueden consultar en la red en la página de Ingalls. El equipo diseñó un sistema de programas llamado ComposAlign, que automatiza el proceso desde la alimentación de las secuencias de ADN hasta el resultado final, que es una partitura orquestal. Para la prueba que mostramos enseguida, ellos tomaron doce especies de moscas e hicieron un dendrograma o árbol jerárquico. Cinco especies formaron un grupo y les fueron asignados instrumentos de cuerda y de aliento de madera; a otras tantas les tocaron los metales, y a las que quedaron más lejanas del resto se les identificó con instru-



Figura 5. Primera línea de la composición “Quinasa del fosfoglicerato” de Susumu Ohno. Bajo la línea melódica —concebida para violín— se encuentran los aminoácidos codificados por este gen así como la secuencia de ADN que los genera. El patrón repetitivo principal está subrayado.



mentos rítmicos que normalmente no tienen líneas melódicas como los tambores y los timbales. Una vez que se tomaron 345 genes de las doce especies, se obtuvo una pieza instrumental con piano, violín, clarinete, violonchelo, flauta, xilófono, trompeta, corno, timbales, platillos y tambores. Dicha pieza tiene una duración de once minutos

y medio y, a juicio de los autores, resulta agradable al oído. El sistema es muy sofisticado; en aquellos segmentos de ADN en donde no hay mucha diferencia entre las especies —sitios conservados— se producen cambios en la armonía como preparación para la riqueza de sonidos que viene en las partes donde el ADN es muy variable entre las especies.

En www.matematicas.unam.mx/biomat/musica_ADN.mp3 se puede escuchar un trozo de la composición preparado por Daniel G. Koppen, quien gentilmente lo produjo especialmente para este ensayo.



Colofón

El desarrollo de la música ha acompañado la evolución de las civilizaciones. Aunque los instrumentos han tenido un avance técnico impresionante —del golpe de dos varas de madera hasta los modernos sintetizadores computarizados—, la música ha descansado más en el talento que en la técnica: un compositor e intérprete dotado de inspiración puede más que el técnico más diestro en el manejo instrumental. Como hemos visto, es posible emplear diferentes aspectos del mundo que nos rodea para alimentar el proceso de creación musical. Este proceso difícilmente hubiera podido librarse de la influencia de la revolución científica que vivimos en el campo de la genómica. Que esta música llegue un día a ser popular, eso... sólo el tiempo lo dirá. 🎧

Pedro Miramontes
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México.

IMÁGENES
Pp. 44-45: París; Pp. 46-49: Arte Urbano en la Red; P. 50:
Nueva York; P. 51: Estonia; Pp. 52-53: Banský; P. 53:
Erik Prozes.

THE MUSIC OF LIFE

Palabras clave: Notación musical, Messiaen, Susumu Ohno, modeARN, música de la vida.

Key words: Musical notation, Messiaen, Susumu Ohno, modeRNA, music of life.

Resumen: A partir de un recuento sobre diversas fuentes de inspiración musical, el autor discurre sobre el trabajo de Susumu Ohno, quien propone las secuencias de ADN y proteínas como fuente de inspiración musical y termina con una reflexión sobre la concomitancia de talento y técnica en la música.

Abstract: Starting from an overview of various sources of musical inspiration, the author discusses the work of Susumu Ohno, who proposes DNA and protein sequences as a source of musical inspiration, and concludes with a reflection on the concomitance between talent and technique in music.

Pedro Miramontes es doctor en ciencias por el Instituto de Física de la UNAM y realizó estudios de postdoctorado en Département de Biochimie de la Université de Montréal. Actualmente es profesor titular de tiempo completo en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Entre sus temas de interés se encuentran los sistemas complejos, la evolución y la biología molecular computacional.

Recibido el 15 de agosto de 2010, aceptado el 19 de agosto de 2010.