



# GenoMus como aproximación a la creatividad asistida por computadora.

---

José López Montes

# **GenoMus como aproximación a la creatividad asistida por computadora.**

José López-Montes

Real Conservatorio Superior de Música Victoria Eugenia de Granada

[contacto@lopezmontes.es](mailto:contacto@lopezmontes.es)

¿Gramáticas de la música?

Tenemos luego la música. Se trata de un dominio del cual se puede suponer, en una primera consideración, que se prestaría admirablemente a ser codificado en una gramática RTA<sup>1</sup>, o en otro programa. [...]

No hay referencias a cosas de “allí afuera” en los sonidos musicales; estos no son sino solamente una sintaxis. [...]

Pero, un momento. Hay algo que no está bien en este análisis. ¿Por qué hay música que es mucho más profunda y más bella que otra? Porque la forma, en música, es expresiva, expresiva de algunas extrañas regiones subconscientes de nuestras mentes. [...] No, la gran música no surgirá de un formalismo tan sencillo como una gramática RTA. [...]

La gramática habrá de definir no solamente estructuras musicales, sino las estructuras íntegras de la mente del espectador.

La “gramática” será una gramática total del pensamiento y no, exclusivamente, una gramática de la música.

Douglas R. Hofstadter<sup>2</sup>

---

1 RTA es la abreviatura de redes de transición aumentada, un concepto que expande el de RTR (redes de transición recursiva), relativo al conjunto de reglas estudiadas por la gramática generativa. Las RTA son redes integradas por RTR que se apelan unas a otras, por lo que el nivel de complejidad y autorreferencia de éstas puede llegar a ser enormemente complejo.

2 Douglas R. Hofstadter: *Gödel, Escher, Bach: un Eterno y Grácil Buclé*. Mario Arnaldo Usabiaga Bandizzi y Alejandro López Rousseau (trad.). Barcelona, Ed. Tusquets, 2009, [cita: p. 695].

## 1. Marco de esta investigación.

La música tiene una enorme e inevitable capacidad de impregnación. Además de revelarnos aspectos íntimos de la psicología del compositor y del intérprete, cada manifestación musical se impregna del carácter, la filosofía y la ética de su época. Puede encontrarse también una estrecha relación entre la imagen científica que se tiene del mundo en un momento dado y la técnica y estética musical coetáneas. Al margen de las posibilidades materiales que la tecnología va abriendo a la construcción de instrumentos y a la manipulación de la señal sonora, los aspectos más abstractos de la composición musical parecen establecer analogías con los modelos contemporáneos de la realidad física. Podemos, por mencionar algunos ejemplos generales, encontrar un cierto correlato entre las fases de formulación, desarrollo y superación del sistema newtoniano y las etapas históricas de la tonalidad clásico-romántica, entre la teoría de la relatividad y los principios de la atonalidad, o entre el desarrollo de la física cuántica y la incorporación de la combinatoria y la estocástica a la composición.

Al margen de los paralelismos que queramos encontrar entre los relatos históricos de ciencia y arte, cierto sector de compositores y teóricos siempre ha tratado de aplicar directamente los conocimientos en física y matemáticas para organizar y entender el sonido, sea en la síntesis y manipulación de señales de audio o en los campos más formales de la composición y el análisis. En el siglo xx la reunión de artistas e ingenieros se sintió como una necesidad; hoy día numerosas iniciativas institucionales o independientes fomentan este tipo de colaboración.

La irrupción de la computadora marcó un punto de inflexión al posibilitar y estimular la concepción de técnicas compositivas nuevas, surgiendo áreas de investigación recurrentes. Los descubrimientos acerca del caos determinista y la geometría fractal han impactado con fuerza en el imaginario estético y técnico de muchos compositores, convirtiéndose en lugar común. En la actualidad, los hallazgos acerca de la capacidad de autoorganización que emana de sistemas con reglas simples (autómatas,<sup>3</sup> redes

<sup>3</sup> Experimentos con autómatas celulares tratados en varias escalas temporales e instrumentales pueden hallarse en Eduardo Reck Miranda: *Composing Music with Computers*. Ed. Focal Press, 2001.

neuronales,<sup>4</sup> etc.) están siendo explorados y aplicados por numerosos artistas desde una amplísima variedad de tratamientos. Estas relaciones pueden establecerse desde planteamientos más o menos literales, llegando en muchos casos a ser una mera sonificación de procesos lógicos abstractos.

En el área de la composición asistida por computadora (cac) encontramos múltiples sistemas que apoyan al compositor en todo tipo de tareas,<sup>5</sup> desde manipulaciones puramente mecánicas del material musical a otras que implican mayor indeterminación y que sacan partido del ordenador en la exploración de universos computacionales musicales que son difíciles o imposibles de generar de manera manual.<sup>6</sup> En el marco de esta convergencia entre composición y programación<sup>7</sup> los compositores también han aplicado técnicas propias de la ingeniería del conocimiento, o inteligencia artificial (ia), desde muy diferentes aproximaciones.<sup>8</sup> Así como en otras áreas —en especial la del lenguaje y el reconocimiento visual y aural—, la investigación sobre ia y música ha servido para hacernos plenamente conscientes de la complejidad de la cognición y el razonamiento humano.

Nuestro proyecto está orientado a la síntesis automática de material musical simbólico, traducible a partituras convencionales y a otros sistemas de notación. GenoMus hace un uso de la computación focalizado en el propio fenómeno de la creación musical: la computadora no es tanto una asistencia al compositor como una herramienta para investigar acerca de los procesos de los que emerge el pensamiento

<sup>4</sup> Tomasz Oliva y Markus Wagner: “Composing Music with Neural Networks and Probabilistic Finite-State Machines”, en Mario Giacobini et al.: *Applications of Evolutionary Computing, Evo-Workshops 2008*. Ed. Springer, 2008, pp. 503-509.

<sup>5</sup> Las plataformas más populares son OpenMusic, producida por el IRCAM, y PWGL, desarrollada en la Sibelius Academy y muy relacionada con la anterior por su empleo de los lenguajes PatchWork y LISP. Recientemente ha hecho su aparición la librería bach, que facilita el mismo tipo de tareas de cac en el entorno interactivo de Max.

<sup>6</sup> Una visión global de las diferentes orientaciones de la música algorítmica puede encontrarse en Hanna Järveläinen: “Algorithmic musical composition” [en línea]. URL: <http://www.tml.tkk.fi/Studies/Tik-111.080/2000/papers/hanna/alco.pdf> [Consulta: 8 de enero de 2015].

<sup>7</sup> El serialismo puede entenderse como una prefiguración *manual* de la composición algorítmica, ya que invita a la prospección de mundos sonoros a partir del diseño de sistemas lógicos organizadores del sonido. Sus principios, al hacer *tabula rasa* con la tonalidad, se adaptan mucho mejor al uso de la computación que las sutilezas del sistema tonal.

<sup>8</sup> Un artículo reciente que repasa gran número de los tratamientos abordados hasta la fecha es el publicado por José David Fernández y Francisco Vico: “AI Methods in Algorithmic Composition: A Comprehensive Survey”, en *Journal of Artificial Intelligence Research*. Vol. 48 (2013), pp. 513-582.

creativo.<sup>9</sup> El ámbito de la creatividad artificial, al que se adscribe el proyecto que hemos iniciado, es tratado en la actualidad desde varios enfoques.<sup>10</sup> Resumimos algunos de los aplicados en música:

- En los sistemas expertos multiagente<sup>11</sup> se implementan multitud de conocimientos especializados previos para la extracción de soluciones nuevas a problemas composicionales bien definidos.
- Desde la óptica de la recombinación a partir de ejemplos dados encontramos propuestas academicistas como los Experiments in Musical Intelligence de D. Cope,<sup>12</sup> con notables resultados musicales pero con poca capacidad de creatividad fuera del dominio estilístico elegido; en el polo estético opuesto se encuentran programas como oMax, procedente del IRCAM, abiertos a la sorpresa, la improvisación y al aspecto lúdico, pero difíciles de generalizar conceptualmente.
- Los modelos bioinspirados<sup>13</sup> tales como los algoritmos genéticos basados en el cruce, mutación y selección de fragmentos musicales, entre muchos otros similares, están siendo ampliamente explorados en la actualidad.
- Como en otros campos de la ia, el uso de lenguajes del tipo LISP o Haskell<sup>14</sup> es habitual para indagar en las posibilidades de la metaprogramación,<sup>15</sup> ya sea basada en el paradigma de la programación funcional o en otros principios.

<sup>9</sup> Un estudio desde este punto de vista es la tesis de Juan Jesús Romero Cardala: "Metodología para la construcción de modelos cognitivos complejos: exploración de la 'creatividad artificial' en composición musical". Directores: Alejandro Pazos y Antonino Santos. Universidade da Coruña, Departamento de Tecnoloxías da Información e as Comunicacions, 2001

<sup>10</sup> Un compendio de estas técnicas puede encontrarse en David Cope: *Computer Models of Musical Creativity*. MIT Press, 2005.

<sup>11</sup> Un ejemplo de uso de estas técnicas es el de Miguel Delgado, Waldo Fajardo y Miguel Molina: "INMAMUSYS: Intelligent Multiagent Music System", en *Expert Systems with Applications*, vol. 36, nº. 3 (1) (abril, 2009), pp. 4574-4580.

<sup>12</sup> David Cope: *Experiments in Musical Intelligence*. Madison, A-R Editions, 1996.

<sup>13</sup> Peter Beys: "Selectionist musical automata: Integrating explicit instruction and evolutionary algorithms", en *Proceedings of IX Brazilian Symposium on Computer Music*, 2003.

<sup>14</sup> Documentado en el trabajo de Paul Hudak: *The Haskell School of Music: From Signals to Symphonies*. Ed. Yale University, 2012. [eBook en línea] URL: [www.cs.yale.edu/homes/hudak/Papers/HSoM.pdf](http://www.cs.yale.edu/homes/hudak/Papers/HSoM.pdf) [Consulta: 8 de enero de 2015].

<sup>15</sup> La metaprogramación se da cuando un programa es capaz de crear otros programas a su vez. LISP ha sido uno de los lenguajes preferidos en las investigaciones clásicas en IA por su versatilidad para implementar la metaprogramación.

- Encontramos una panoplia de métodos basados en gramáticas,<sup>16</sup> que parten de los paralelismos entre sintaxis musical y lenguaje para generar fragmentos musicales.

GenoMus integra elementos de todas estas líneas, pero su especificidad reside en la **combinación de un metalenguaje musical** (una gramática de procedimientos compositivos en abstracto) **con la potencialidad de la metaprogramación**. Asimismo, conceptos como la recombinación y los algoritmos evolutivos pueden llegar a ser útiles en la manipulación de los fragmentos musicales generados, aunque por el momento estas técnicas han sido implementadas sólo de manera rudimentaria.

## 2. Necesidad artística e interés científico de la aplicación de la ia a la composición.

Más allá del propósito directo de producir obras musicales de calidad, ya sea de manera autónoma o desde una interacción colaborativa hombre-máquina capaz de suscitar una creatividad aumentada del compositor, el objeto general de esta investigación es el progreso en la comprensión del pensamiento creativo desde una perspectiva abstracta. Se pretende evitar planteamientos mecanicistas de la composición musical para centrarse en la formalización generalizable de los procesos de asimilación, análisis, reutilización y creación de conocimiento.

Hasta finales del siglo XIX la mayoría de compositores usa un estilo personal con relativa estabilidad a lo largo de toda su producción. En el siglo XX las evoluciones estilísticas a lo largo de la vida de los compositores tienen cada vez más recorrido, llegando al punto de que a veces cada obra acuña un estilo único. Actualmente hemos

---

<sup>16</sup> Algunos trabajos interesantes en este campo son el de Horacio Alberto García Salas, Alexander Gelbukh y Hiram Calvo: "Music Composition Based on Linguistic Approach", en Grigori Sidorov, Arturo Hernández Aguirre y Carlos Alberto Reyes García: *Advances in Artificial Intelligence*. Berlín/Heidelberg, Ed. Springer, 2010, pp. 117-128, y el ya clásico de Curtis Roads: "Grammars as Representations for Music" [versión expandida del artículo originalmente publicado en *Computer Music Journal*, Ed. MIT Press (1979), vol. 3 (1), pp. 48-55], en Curtis Roads y John Strawn: *Foundations of Computer Music*. Ed. MIT Press, 1985. Es también reseñable la aplicación de algoritmos evolutivos al uso de gramáticas que proponen Alfonso Ortega, Rafael Sánchez y Manuel Alfonseca: "Automatic composition of music by means of Grammatical Evolution", en *APL'2002 Madrid Proceedings*, pp. 148-155.

llegado al punto en el que una composición se puede crear desde la metacomposición, esto es, desde la formulación de compositores virtuales. Esto supone una redefinición de la idea de autoría: el compositor se convierte en un ingeniero del conocimiento capaz de crear las condiciones para la emergencia de material musical de valor.

En la creación musical se aúnan varias tareas susceptibles de modelización. Algunas de ellas son la lectura y clasificación de fragmentos musicales previos<sup>17</sup> —considerando aspectos emocionales difícilmente cuantificables<sup>18</sup>—, el análisis de un texto musical para inferir los procedimientos de los que procede, la síntesis de nuevos fragmentos musicales, el desarrollo del sentido de coherencia estilística, etc. Cada uno de estos elementos exhibe una enorme complejidad y ha sido objeto de estudios monográficos. Nuestro proyecto se centra en el proceso que los integra y trata de establecer un modelo abstracto —reducido pero completo— de la creatividad musical, extrapolable a otras tareas en las que el pensamiento creativo sea relevante.

Por su naturaleza, la composición musical desde las técnicas de ia es un campo que investigadores como G. Widmer animan a explorar por su interés para la ingeniería del conocimiento en general.<sup>19</sup> Para estos investigadores la composición musical es un excelente medio para experimentar con modelos computacionales de los aspectos más propiamente humanos de la inteligencia.

### 3. Base conceptual e hipótesis central.

GenoMus se centra en la posibilidad de ampliar las posibilidades creativas con un sistema capaz de componer música en función del usuario, pero libre de sus prejuicios y autocensuras. Así, de igual modo que es posible programar un jugador virtual de

<sup>17</sup> Un trabajo que tiene este asunto como cuestión central es el de Otto Laske: “Considering Human Memory in Designing User Interfaces for Computer Music”, en *Computer Music Journal*. Ed. MIT Press (1978), vol. 2 (4), pp. 39-45.

<sup>18</sup> Un trabajo seminal es el texto de Marvin Minsky: “Music, mind and meaning”, en *Computer Music Journal*. Ed. MIT Press (1981), vol. 5 (3), pp. 28-44.

<sup>19</sup> Dos de sus referencias arguyendo esta tesis son: Gerhard Widmer: “The musical expression project: A challenge for machine learning and knowledge discovery”, en *Proceedings of the 12th European Conference on Machine Learning (EMCL 2001)*, pp. 603-614, y Gerhard Widmer: “Why Computers Need to Learn About Music”, en *Proceedings of the 15th International Conference on Inductive Logic Programming (ILP 2005)*, p. 414.

ajedrez que venza a su diseñador, aquí se trata de indagar en la posibilidad de crear sistemas capaces de exhibir destrezas creativas crecientes, ya sea como apoyo al compositor humano o de modo autónomo, alcanzando resultados imprevistos para el propio programador. La tarea no consiste en automatizar métodos de composición bien definidos sino en modelar el mecanismo por el cual los compositores asimilan material, generan otro nuevo con un estilo personal y progresan hacia resultados de mayor calidad artística.

El paradigma propuesto parte de los conceptos de genotipo y fenotipo musical. En biología un genotipo es el conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de un organismo. El fenotipo es la realización visible del genotipo —esto es, el propio ser portador de los genes—, cuyos caracteres son el resultado de la interacción entre el genotipo y el medio. Esto explica que un mismo genotipo pueda dar lugar a fenotipos diferentes, como ocurre con los gemelos monocigóticos, quienes comparten un ADN idéntico pero se desarrollan como individuos bien diferenciados.

El metalenguaje de GenoMus recurre a una analogía con estos conceptos. En el contexto de esta investigación, un genotipo musical es una expresión que combina procedimientos musicales tales como la repetición, la transposición o cualquier otra operación imaginable; un fenotipo musical es el fragmento musical concreto generado por un genotipo. Al igual que en biología, un único genotipo musical puede dar lugar a muchos fenotipos diferentes en función del medio. Los genotipos que incluyen funciones que implican algún grado de aleatoriedad pueden así producir fenotipos diferentes. Bajo este prisma, puede entenderse el genotipo como un programa que al ejecutarse da como salida una pieza musical.<sup>20</sup> El estilo de un compositor —o el de un período histórico— puede visualizarse como un conjunto de genotipos caracterizados por un uso específico de determinados procesos. Si concebimos las obras musicales como productos de una computación, esta investigación es un ejercicio de ingeniería inversa que trata de codificar los programas que las han generado para, desde ese

---

<sup>20</sup> La idea de una semilla generadora de la obra musical reaparece en muchas épocas y compositores. En el siglo XX, Stockhausen usó el concepto de *fórmula*, tal como explica Asbjørn Schaathun: "Formula-composition modernism in music made audible", en: Olav Anton Thommessen: *Inspirator – Tradisjonsbærer – Rabulist*. Oslo, Ed. Norsk Musikforlag, 1996, pp. 132-147.

paradigma modular, modelar los procesos creativos capaces de hacer emerger creatividad artificial.

Con estos presupuestos, la hipótesis de este proyecto puede formularse así:

**Es posible desarrollar técnicas de creatividad musical artificial basadas en dos principios combinados diseñados para optimizar su interacción:**

- **un sistema de representación simbólica del lenguaje musical centrado en los procedimientos compositivos subyacentes** (capaz de representar una pieza musical mediante una expresión computable, denominada genotipo musical), y
- **un grupo de algoritmos capaces de manipular estas expresiones** para acumular conocimiento, extraer generalizaciones y abstracciones, y producir nuevas piezas musicales, ya sea en interacción con usuarios o de manera autónoma.

De este estudio pueden beneficiarse varias áreas de investigación:

- El desarrollo de software basado en este enfoque es aplicable en el ámbito de la composición musical y puede ser fácilmente integrable en otras plataformas de uso común.
- Para la musicología, los conceptos de genotipo y fenotipo musical propuesto vienen a proveer herramientas para la renovación del análisis musicológico habitual, que a menudo se mantiene en un nivel descriptivo y precientífico que apenas profundiza en las estructuras y reglas internas que informan el texto musical. El concepto de genotipo de una pieza musical propicia un tratamiento más sistemático y computacional que dé soporte y unifique teorías analíticas clásicas como el análisis schenkeriano y la teoría generativa de la música tonal<sup>21</sup> con las técnicas posttonales, seriales, algorítmicas, aleatorias, etc.

---

<sup>21</sup> El trabajo de referencia que inauguró la aplicación de la gramática generativa de N. Chomsky a la música es el muy conocido libro de Fred Lerdahl y Ray Jackendoff: *Teoría generativa de la música tonal*. Juan González-Castelao (trad.). Ed. Akal, 2003.

- Para las ciencias de la computación la abstracción de los procesos de creatividad modelados puede resultar generalizable y extrapolable a otras áreas de aplicación de la IA. Los estudios teóricos actuales más ambiciosos sobre inteligencia artificial general han identificado el problema de la creatividad artística como un tópico de interés capital.<sup>22</sup>

#### 4. Ejemplos introductorios de genotipos y fenotipos.

Sin entrar en detalles técnicos, se dará aquí una noción rápida de los conceptos desarrollados en la primera fase de GenoMus.<sup>23</sup>

El genotipo es una expresión en forma de árbol de funciones, el cual constituye en realidad un pequeño programa. Si, por ejemplo, definiésemos la función **acordeM(x)** como las notas del acorde mayor a partir de la nota **x**, al ejecutar el genotipo **acordeM(60)** obtendríamos como fenotipo la serie de alturas **60 64 67**. Las funciones pueden anidarse unas con otras, de modo que si la función **transp(x,y)** transporta el fragmento **x** un número **y** de semitonos, podemos aplicarla al genotipo anterior en una expresión como **transp(acordeM(60),3)** para obtener el fenotipo **63 67 70**.

Los genotipos pueden codificarse también como series de números, de manera que la generación y manipulación de genotipos tenga lugar a un nivel puramente numérico con mucha más agilidad. Así, si las funciones **transp** y **acordeM** tienen asignados los

<sup>22</sup> La inteligencia artificial general es el objetivo a largo plazo de la IA, pues trata de atacar el problema central de la emergencia de una inteligencia adaptable a todas las situaciones y no sólo especializada en áreas concretas de conocimiento. Aquí encontramos trabajos muy interesantes alrededor del problema de la creatividad como el de Ben Goertzel: *From Complexity to Creativity: Computational Models of Evolutionary, Autopoietic and Cognitive Dynamics*. Nueva York, Ed. Plenum, 1997. Son también destacables las posturas provocadoras de Jürgen Schmidhuber: "Gödel machines: self-referential universal problem solvers making provably optimal self-improvements", en: Ben Goertzel y Cassio Pennachin: *Artificial General Intelligence*. Berlín/Heidelberg, Ed. Springer, 2006, pp. 119-226.

<sup>23</sup> El trabajo de máster en que se desarrolla la versión inicial de GenoMus puede encontrarse en la URL: <http://www.lopezmontes.es/genomus.html> [Consulta: 8 de enero de 2015].

números 45 y 32 respectivamente, la expresión anterior puede codificarse como **45 32 1 60 1 3**.

Las expresiones pueden hacerse ilegibles rápidamente, por lo que es preferible imprimirlas tabuladas. La figura 1 muestra un genotipo generado aleatoriamente usando una pequeña librería de funciones a modo de test. La figura 2 muestra el mismo genotipo decodificado en forma de árbol de funciones, de modo que ya pueda ser legible, editable y ejecutable.

```
191 190 105 1 6 3 4 43 100 65 56 190 102 184 103 184 3
4 88 100 51 1496 104 1 6 3 4 41 100 68 183 1 15 101 101
105 1 9 184 101 3 4 69 100 83 820 103 3 4 86 100 80
1752 102 3 4 74 100 84 1706 1 17 1 3 105 1 19 106 1 4 1
17 102 101 100 84 3 4 48 47 66 63 3 1 72 1 11 115 3 3
74 64 46 107 22 3 1 73 1 4 1 5 3 1 48 3 2 46 63 3 4 62
100 55 1472 1 14
```

Figura 1. Genotipo generado aleatoriamente, codificado como array de números.

```
poliphAB (
  twoVoices (
    consonantChord (
      6),
      [43,100,65,56]),
    twoVoices (
      scoreAA (
        scoreABAB (
          scoreABATransp (
            scoreABAB (
              [88,100,51,1496],
              randChord (
                6)),
              [41,100,68,183],
              15),
            scoreABA (
              scoreABA (
                consonantChord (
                  9),
                scoreABAB (
                  scoreABA (
                    [69,100,83,820],
                    scoreABATransp (
                      [86,100,80,1752],
                      scoreAA (
                        [74,100,84,1706],
                        17),
                        3)),
                    consonantChord (
                      19))),
                  blockChord (
                    4))),
                17),
              scoreAA (
                scoreABA (
                  compactScore (
                    piezaABAB (
```

```

[48, 47, 66, 63],
[72],
11),
scoExcerptMulti(
[74, 64, 46],
scoPitchClass(
progresAA(
[73],
4),
5)),
[48],
[46, 63]),
[62, 100, 55, 1472]),
14)))

```

Figura 2. El mismo genotipo de la figura 1, decodificado en forma de expresión funcional computable.

Al ejecutar el genotipo —decodificado como una expresión válida de JavaScript— obtenemos un fenotipo (figura 3), que es la lista de notas generadas. En este ejemplo la secuencia numérica se descompone en grupos de cinco parámetros para cada nota: número de voz, altura, dinámica, duración y articulación.<sup>24</sup>

```

1 24 20 66 2000 1 31 20 76 2000 1 42 20 86 2000 1 47 20 96 2000 2 43 100 65 56 1 88 100 51
1496 1 29 20 26 2000 1 34 20 31 2000 1 88 100 51 1496 1 29 20 26 2000 1 34 20 31 2000 1 41
100 68 183 1 91 100 51 1496 1 32 20 26 2000 1 37 20 31 2000 1 91 100 51 1496 1 32 20 26 2000
1 37 20 31 2000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20 99 2000 1 69 100 83
820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54
20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 69 100 83 820 1 86 100 80 1752
1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89
2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20
99 2000 1 60 0 84 1000 1 65 0 84 1000 1 68 1000 94 1000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70
20 89 2000 1 75 20 99 2000 1 69 100 83 820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706
1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109
2000 1 69 100 83 820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69
100 83 820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 52 20 69 2000 1
59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20 99 2000 1 88 100 51 1496 1 29 20 26 2000 1 34 20 31
2000 1 88 100 51 1496 1 29 20 26 2000 1 34 20 31 2000 1 41 100 68 183 1 91 100 51 1496 1 32
20 26 2000 1 37 20 31 2000 1 91 100 51 1496 1 32 20 26 2000 1 37 20 31 2000 1 52 20 69 2000 1
59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20 99 2000 1 69 100 83 820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84
1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71
20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 69 100 83 820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84
1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20
109 2000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20 99 2000 1 60 0 84 1000 1 65 0
84 1000 1 68 1000 94 1000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70 20 89 2000 1 75 20 99 2000 1
69 100 83 820 1 86 100 80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83
820 1 54 20 79 2000 1 61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 69 100 83 820 1 86 100
80 1752 1 74 100 84 1706 1 91 100 84 1706 1 89 100 80 1752 1 69 100 83 820 1 54 20 79 2000 1
61 20 89 2000 1 71 20 99 2000 1 76 20 109 2000 1 52 20 69 2000 1 59 20 79 2000 1 70 20 89
2000 1 75 20 99 2000 1 105 100 51 1496 1 46 20 26 2000 1 51 20 31 2000 1 105 100 51 1496 1 46
20 26 2000 1 51 20 31 2000 1 58 100 68 183 1 108 100 51 1496 1 49 20 26 2000 1 54 20 31 2000
1 108 100 51 1496 1 49 20 26 2000 1 54 20 31 2000 1 69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89
2000 1 92 20 99 2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1
106 100 80 1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109
2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752
1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 69 20 69
2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20 99 2000 1 77 0 84 1000 1 82 0 84 1000 1 85 1000
94 1000 1 69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20 99 2000 1 86 100 83 820 1 103
100 80 1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79
2000 1 78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91
100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89
2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20
99 2000 1 105 100 51 1496 1 46 20 26 2000 1 51 20 31 2000 1 105 100 51 1496 1 46 20 26 2000 1
51 20 31 2000 1 58 100 68 183 1 108 100 51 1496 1 49 20 26 2000 1 54 20 31 2000 1 108 100 51
1496 1 49 20 26 2000 1 54 20 31 2000 1 69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20
99 2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80
1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 86
100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752 1 86 100
83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 69 20 69 2000 1 76

```

<sup>24</sup> Por simplicidad, en su primera versión GenoMus sólo maneja el parámetro altura. En estos ejemplos se han incluido varios parámetros por evento musical y varias voces simultáneas. No obstante, la estrategia definitiva para el manejo de la polifonía está aún experimentándose y definiéndose.

José López Montes

```
20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20 99 2000 1 77 0 84 1000 1 82 0 84 1000 1 85 1000 94 1000 1
69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20 99 2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80
1752 1 91 100 84 1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1
78 20 89 2000 1 88 20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 86 100 83 820 1 103 100 80 1752 1 91 100 84
1706 1 108 100 84 1706 1 106 100 80 1752 1 86 100 83 820 1 71 20 79 2000 1 78 20 89 2000 1 88
20 99 2000 1 93 20 109 2000 1 69 20 69 2000 1 76 20 79 2000 1 87 20 89 2000 1 92 20 99 2000 2
48 148 48 46 2 47 128 48 <undefined> 2 66 148 48 46 2 63 128 48 <undefined> 2 72 148 48 46 2
59 128 48 <undefined> 2 58 148 48 46 2 77 128 48 <undefined> 2 74 148 48 46 2 83 128 48
<undefined> 2 62 100 55 1472 2 48 148 48 46 2 47 128 48 <undefined> 2 66 148 48 46 2 63 128
48 <undefined> 2 72 148 48 46 2 59 128 48 <undefined> 2 58 148 48 46 2 77 128 48
<undefined> 2 74 148 48 46 2 83 128 48 <undefined> 2 62 148 48 46 2 61 128 48 <undefined>
2 80 148 48 46 2 77 128 48 <undefined> 2 86 148 48 46 2 73 128 48 <undefined> 2 72 148 48 46
2 91 128 48 <undefined> 2 88 148 48 46 2 97 128 48 <undefined> 2 76 100 55 1472 2 62 148 48
46 2 61 128 48 <undefined> 2 80 148 48 46 2 77 128 48 <undefined> 2 86 148 48 46 2 73 128 48
<undefined> 2 72 148 48 46 2 91 128 48 <undefined> 2 88 148 48 46 2 97 128 48 <undefined>
```

Figura 3. Fenotipo en forma de array numérico.

Usando el conversor adecuado, a partir del fenotipo codificado podemos obtener una partitura en cualquier formato. La figura 4 muestra el fenotipo anterior convertido a notación convencional mediante la librería bach<sup>25</sup> para Max.



Figura 4. Fenotipo convertido a notación convencional. La intensidad del gris indica la dinámica de cada nota.

Cada vez que se ejecuta el genotipo se obtiene un fenotipo similar pero diferente, ya que incluye funciones aleatorias. La figura 5 es el resultado de una nueva ejecución del genotipo de la figura 1.



Figura 5. Nuevo fenotipo generado a partir del mismo genotipo anterior.

<sup>25</sup> bach es un acrónimo recursivo de *bach automated composers' helper*, disponible en la URL: <http://www.bachproject.net> [Consulta: 8 de enero de 2015].

## 5. Estado actual del proyecto y pasos siguientes.

La primera parte de la investigación se ha dedicado a crear una sintaxis apropiada para la representación musical de los genotipos musicales; ésta debe sustentarse en una gramática suficientemente expresiva como para capturar una estructura musical compleja, adecuarse a la definición formal de los procesos de generación implicados, y ser simple, recursiva y modular para poder codificarse con facilidad y manipularse mediante metaprogramación. Esta sintaxis debe estar diseñada para ser independiente de lenguajes de programación concretos. No se entra en el problema de la interpretación expresiva automática, cuya modelización entraña otro género de cuestiones y problemas.<sup>26</sup> Esta investigación se concentra en la síntesis y análisis de partituras.

Se ha trabajado en una estructura computacional que permita la codificación de conocimiento musical y su archivo en una biblioteca de genotipos. Esta estructura debe ser generalizable para su aplicación en otros ámbitos creativos. La generación automática de genotipos se sustenta en el paradigma de la programación funcional,<sup>27</sup> la cual se ha usado históricamente desde los primeros estudios de ia, especialmente por su capacidad para la metaprogramación.<sup>28</sup> En nuestro caso la metaprogramación es también el principio para superar la mera fabricación de un mecano cerrado que produce partituras y llegar a la construcción de un sistema flexible capaz de autorreprogramarse durante la acumulación de conocimiento y la interacción con usuarios externos. La búsqueda de máxima apertura y potencialidad de resultados es uno de los presupuestos básicos de GenoMus.

Si bien la primera fase se ha centrado en la arquitectura y definición de los formalismos y mecanismos abstractos, la segunda fase, actualmente en curso, se está dedicando a la implementación de los mismos en un entorno de trabajo que permita la

<sup>26</sup> En España existe investigación puntera en este campo, tal como el trabajo desarrollado en el CSIC por R. López de Mántaras, X. Serra y J. L. Arcos.

<sup>27</sup> La programación funcional procede del *lambda-calculus* y se basa en la definición de funciones cuya entrada y salida no dependen del contexto, por lo que pueden programarse de manera independiente y ser enlazadas con facilidad siempre que se respete el tipo de datos de entrada requerido para cada función. Ya que una función puede ser un parámetro dentro de otra, se pueden construir expresiones funcionales de complejidad arbitraria.

<sup>28</sup> Un ejemplo de aplicación se encuentra en el artículo de Roger Dannenberg: "The canon score language", en *Computer Music Journal*. Ed. MIT Press (1989), vol. 13 (1), pp. 47-56.

experimentación, la visualización y audición del material musical generado, y su exportación a entornos de notación y edición musical para su empleo en piezas musicales reales. Las estrategias de evaluación del material generado serán esenciales en esta nueva fase. De hecho, el diseño de funciones de valoración adecuadas determinará en gran medida los progresos musicales del sistema.

La mayor incógnita que se abre —y tal vez la más interesante— es probar hasta qué punto es productivo y significativo trabajar desde los genotipos, es decir, desde la representación de la música a partir de sus procedimientos subyacentes. Esto arrojaría luz sobre los resortes internos que impulsan al compositor. Sobre esta base, enraizada con el *computing with words*<sup>29</sup> y la lógica difusa, es concebible el desarrollo de herramientas operativas de exploración musical para usuarios sin conocimientos musicales específicos. En lugar de complejos programas de composición que requieren conocimiento experto, se persigue una interfaz sencilla capaz de interactuar, aprender y evolucionar con el usuario partiendo de categorías estéticas simples.

## **6. Implicaciones de la creatividad artificial.**

El previsible perfeccionamiento de las habilidades musicales de las máquinas tiene sin duda muchas consecuencias en varios niveles. Es evidente que este modo de relacionarse con la composición afecta a la propia percepción musical. Los roles clásicos de la partitura, el compositor, el intérprete, el público y la máquina son alterados y desdibujados en este nuevo escenario. La narrativa de la partitura acabada empieza a ser menos interesante en relación a la del propio proceso que lleva hasta ella. La interacción inmediata entre creación y escucha, entre compositor y oyente, propicia nuevas situaciones y soportes para la experiencia musical. La propia exposición a organizaciones nuevas del material sonoro desarrolla una escucha enormemente activa y abierta, donde la fruición musical y nuestro sentido crítico

---

<sup>29</sup> La lógica difusa se ocupa de la traslación de la lógica clásica discreta al manejo de categorías mucho más indeterminadas, propias del lenguaje natural. El concepto de computar a partir de palabras ha sido desarrollado por Lotfi Zadeh: "FuzzyLogic = Computing with words", en *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. Ed. IEEE Press (1996), Vol. 4 (2), pp. 103-111.

toman una actitud bien diferente de la que tenemos frente a una obra precompuesta y cerrada.

Pero aún más, la fascinación por la posibilidad de lograr creatividad artística artificial capaz de emocionarnos nos sitúa como humanos ante la caída de uno de los últimos bastiones en los que poder sustentar nuestra atávica convicción acerca de la supuesta distinción que nos hace seres aparte dentro del mundo biológico. Si la creatividad no es patrimonio exclusivo humano sino un fenómeno natural inevitable, llegamos a la paradoja de desvelar que nosotros mismos sólo somos sofisticadas máquinas lógicas universales, al tiempo que empezamos a vislumbrar el inagotable poder de invención y reprogramación que esos mecanismos que nos articulan pueden llegar a desplegar.

José López Montes



**JOSÉ LÓPEZ-MONTES.** Compositor, improvisador, músico visual, pianista e investigador. Se forma como pianista con J. J. Pérez Torrecillas y en composición con F. González Pastor, M. Jarrell y G. Bennett. Su obra explora la interacción entre procesos algorítmicos,

improvisación, electroacústica y síntesis de vídeo integrada con la composición instrumental, el teatro y la danza. Ha sido compositor invitado en instituciones como el Institute for Computer Music and Sound Technology de Zúrich, el Daegu International New Media Art Festival (Corea del Sur), el Institut International de Musique Electroacoustique de Bourges o el Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía de Madrid. Sus composiciones han sido programadas en escenarios de España, Suiza, Francia, Alemania, Polonia, Estados Unidos, Brasil, México, Argentina, Costa Rica, Colombia, Chile, China y Corea del Sur.

En los últimos años actúa asiduamente como solista con la compañía La Maquiné, actuando en escenarios como el Gran Teatre del Liceu de Barcelona, el Teatro Real de Madrid o el Teatro Arriaga de Bilbao, entre muchos otros. En 2014 su espectáculo *El bosque de Grimm*, con música de Ravel y propia, ha recibido recientemente el prestigioso Premio Max al Mejor Espectáculo Infantil.

Es profesor de armonía, improvisación y matemáticas en el Real Conservatorio Superior de Música Victoria Eugenia de Granada. Actualmente investiga en colaboración con el Departamento de Inteligencia Artificial de la UGR en técnicas de creatividad artificial aplicadas a la composición mediante metaprogramación basada en la evolución de genotipos musicales.