

Futuro sonoro

APROXIMACIÓN TEÓRICA EMERGENTE TRANSDISCIPLINAR AL FUTURO DE LA MÚSICA
A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EVOLUTIVA HACIA NUEVOS CAMPOS
SONOROS DE CREACIÓN ABIERTA EN EL MARCO DE LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

ANDRÉS ISAIÁS RAMÍREZ BARRERA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE BELLAS ARTES

LICENCIATURA EN MÚSICA

BOGOTÁ D.C. – COLOMBIA

2019

Futuro sonoro

APROXIMACIÓN TEÓRICA EMERGENTE TRANSDISCIPLINAR AL FUTURO DE LA MÚSICA
A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EVOLUTIVA HACIA NUEVOS CAMPOS
SONOROS DE CREACIÓN ABIERTA EN EL MARCO DE LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE
LICENCIADO EN MÚSICA

ANDRÉS ISAÍAS RAMÍREZ BARRERA

CÓDIGO: 2013275035

MG. FRANCISCO ABELARDO JAIMES CARVAJAL

ASESOR


UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE BELLAS ARTES

LICENCIATURA EN MÚSICA

BOGOTÁ D.C. – COLOMBIA

2019


 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 2

1. Información General	
Tipo de documento	TRABAJO DE GRADO
Acceso al documento	UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL. BIBLIOTECA FACULTAD DE BELLAS ARTES
Título del documento	FUTURO SONORO APROXIMACIÓN TEÓRICA EMERGENTE TRANSDISCIPLINAR AL FUTURO DE LA MÚSICA A PARTIR DE LA APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EVOLUTIVA HACIA NUEVOS CAMPOS SONOROS DE CREACIÓN ABIERTA EN EL MARCO DE LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD
Autor(es)	RAMÍREZ BARRERA, ANDRÉS ISAÍAS
Director	JAIMES CARVAJAL, FRANCISCO ABELARDO
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2019. 67 p.
Unidad Patrocinante	UNIVERSIDAD PEDAGOGICA NACIONAL. UPN
Palabras Claves	Emergencia, autoorganización, ciencias de la complejidad, inteligencia artificial, vida artificial, inteligencia artificial evolutiva y estética de la complejidad.

2. Descripción
<p>Trabajo de grado que se propone plantear una estructura teórica de carácter propositivo y anticipativo donde se visione la magnitud, excepcionalidad y singularidad de las futuras creaciones sonoras en espacios de exploración no lineal a partir de la aplicación de los paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva a la creación musical hacia posibles futuros fenómenos musicales de complejidad creciente basados en el comportamiento emergente y la auto-organización de los sistemas complejos no-lineales al interior de la estética de la complejidad. Arte y ciencia hacia el futuro de la música desde la revisión de teorías, estudios, técnicas, experimentos, aplicaciones, modelos y líneas de investigación de la nueva inteligencia artificial.</p>

3. Fuentes
<p>Duque, R. (2017). <i>La investigación como biosfera autoorganizada: diálogos entre psicología clínica, ciencias de la complejidad y estética de los mundos posibles</i>. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.</p> <p>García, A. (2017). <i>Inteligencia Artificial: Fundamentos, práctica y aplicaciones</i>. Madrid: Alfaomega.</p> <p>Gómez-Cruz, N. (2013). <i>Vida artificial: Ciencia e ingeniería de sistemas complejos</i>. Bogotá: Universidad del Rosario.</p> <p>Harari, Y. (2016). <i>Homo Deus. Breve historia del mañana</i>. Bogotá: Debate.</p> <p>Hernández, I. (Ed.). (2016). <i>Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas</i>. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.</p> <p>Hodges, A. (1998). <i>Alan Turing: Un filósofo natural</i>. Bogotá: Norma.</p> <p>Hofstadter, D. (1995). <i>Gödel, Escher, Bach: un eterno y grácil bucle</i>. Barcelona: Tusquets.</p> <p>Johnson, S. (2003). <i>Sistemas emergentes. O qué tiene en común hormigas, neuronas, ciudades y software</i>. Madrid: Fondo de Cultura Económica.</p> <p>LaRue, J. (2004). <i>Análisis del estilo musical</i>. Barcelona: Ideas books, S.A.</p> <p>Maldonado, C. y Gómez, N. (2011). <i>El mundo de las ciencias de la complejidad</i>. Bogotá: Universidad del Rosario.</p>

4. Contenidos
<p>Primera parte. <i>Perspectiva teórica de la aplicación de inteligencia artificial a la creación musical.</i> Revisión documental de los principales paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva, estética de la complejidad y análisis de aproximaciones artísticas emergentes de la convergencia sonido y computación.</p> <p>Segunda parte. <i>Posibles futuros fenómenos musicales de complejidad creciente.</i> Teorización hacia futuras transformaciones del fenómeno musical soportado en: simulaciones computacionales de la vida artificial, hibridación paradigmática de la inteligencia artificial evolutiva e integración de redes complejas de comunicaciones.</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 2	

5. Metodología
<p>El método de la investigación es <i>teoría fundamentada</i>: un diseño y un producto basado en el interaccionismo simbólico, nuevas visiones de un fenómeno. Deriva de datos recopilados de forma sistemática y analizados por medio de un proceso de investigación, un equilibrio entre ciencia y creatividad (Strauss y Corbin, 2002). La investigación se basa en el <i>diseño emergente</i>. Una reformulación de B. Glaser (1992) de la teoría fundamentada de A. Strauss y J. Corbin, donde la teoría surge de los datos directamente, más allá de un esquema fundamentado en sistemas de categorías de análisis prefijadas.</p>

6. Conclusiones
<p>Inteligencia artificial, inteligencia artificial evolutiva, vida artificial, redes complejas y ciencias de la complejidad, representan el inicio de procesos híbridos polivalentes de creatividad creciente de las futuras transformaciones del fenómeno musical dentro de la visión teórica del futuro sonoro: mutación sonora, armonía inmunológica, discursos sonoros flotantes, música rizomática, expansión sonora sin límites y red global de creación sonora, representan un campo visionario propositivo de transgresión a la creación musical desde la hibridación de los paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva basada en la computación suave hacia un meta-sistema adaptativo integrado a las redes complejas de comunicaciones de crecimiento exponencial. Fenómenos sonoros autopoieticos de complejidad creciente flotando en la infinitud del ciberespacio.</p>

Elaborado por:	RAMÍREZ BARRERA, ANDRÉS ISAÍAS
Revisado por:	<i>Abelardo Tabares Cervantes</i>

Fecha de elaboración del Resumen:	08	03	2019
--	----	----	------

Resumen

El proyecto de investigación *futuro sonoro*, es una visión teórica emergente y prospectiva del desarrollo musical. Arte y ciencia hacia el futuro de la música desde la revisión de *teorías, estudios, técnicas, experimentos, aplicaciones, modelos, líneas de investigación...* de la *nueva inteligencia artificial*, para plantear una estructura teórica de carácter propositivo y anticipativo donde se visiona la magnitud, excepcionalidad y singularidad de las futuras creaciones sonoras en espacios de exploración no lineal a partir de la aplicación de los paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva interconectados a los elementos del estilo musical, proceso abierto de adaptación en la creación musical hacia campos sonoros emergentes de la intersección: sonido y computación. Posibles futuros fenómenos musicales de complejidad y creatividad creciente basados en el comportamiento emergente y la auto-organización de los sistemas complejos no-lineales de fronteras difusas desde la estética de la complejidad por medio de la exploración conceptual del potencial de creación abierta de los sistemas bio-inspirados.

Abstract

The *future sound* research project, is an emergent and prospective theoretical vision of musical development. Art and science towards the future of music from the review of *theories, studies, techniques, experiments, applications, models, lines of research ...* of the *new artificial intelligence*, to propose a theoretical structure of a proactive and anticipatory nature where the magnitude, exceptionality and singularity of future sound creations in spaces of nonlinear exploration from the application of the evolutionary artificial intelligence paradigms interconnected to the elements of the musical style, open process of adaptation in the musical creation towards sound fields emerging from the intersection: sound and computation. Possible future musical phenomena of complexity and growing creativity based on the emergent behavior and self-organization of complex non-linear systems of diffuse borders from the aesthetics of complexity through the conceptual exploration of the potential of open creation of bio systems -inspired.

Contenido

Introducción	7
Antecedentes	11
1. Perspectiva teórica de la aplicación de inteligencia artificial a la creación musical	12
1.1. Emergencia	13
1.2. Auto-organización	14
1.3. Ciencias de la complejidad	15
1.3.1. Inteligencia artificial	17
1.3.2. Vida artificial	19
1.4. Inteligencia artificial evolutiva	21
1.4.1. Redes neuronales artificiales	22
1.4.2. Computación evolutiva	23
1.4.3. Inteligencia de enjambres	24
1.4.4. Sistemas inmunes artificiales	25
1.4.5. Sistemas difusos	26
1.5. Estética de la complejidad	27
1.5.1. Aproximaciones artísticas emergentes de la convergencia sonido y computación	28
1.5.2. El reino de la simulación	41
1.5.3. Creación abierta	42
1.5.4. Mundos posibles	43
2. Posibles futuros fenómenos musicales de complejidad creciente	44
2.1. Mutación sonora	45
2.2. Armonía inmunológica	47
2.3. Discursos flotantes sonoros	48
2.4. Música rizomática	49
2.5. Expansión sonora sin límites	50
2.6. Red global de creación sonora	51
Reflexión	57
Referencias	58

Introducción

El proyecto de investigación *futuro sonoro* es una visión teórica emergente prospectiva transdisciplinar del desarrollo musical: arte y ciencia hacia el futuro de la música desde la revisión de teorías, estudios, técnicas, experimentos, aplicaciones, modelos y líneas de investigación de la *nueva inteligencia artificial* para plantear una estructura teórica de carácter propositivo y anticipativo donde se visiona la magnitud, excepcionalidad y singularidad de las futuras creaciones sonoras en espacios de exploración no lineal a partir de la aplicación de los paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva a la creación musical hacia posibles futuros fenómenos musicales de complejidad creciente basados en el comportamiento emergente y la auto-organización de los sistemas complejos no-lineales al interior de la estética de la complejidad.

La transdisciplinariedad es una apertura de límites, más allá de las disciplinas, más allá de la fragmentación; la búsqueda de la unidad del conocimiento para enfrentarse a la incertidumbre en espacios difusos de libertad epistémica y procesos dialógicos hacia lo desconocido y lo híbrido (Yeregui, 2010; y Duque, 2017). El siguiente paso hacia de la visión del *futuro sonoro* del desarrollo musical es la implementación de la inteligencia artificial, proceso abierto de adaptación en la creación musical hacia campos sonoros emergentes de la intersección: sonido y computación, dentro de las ciencias de la complejidad por medio de la exploración conceptual del potencial estético de creación abierta de los sistemas bio-inspirados. ¿Cuál es el estado actual de la inteligencia artificial evolutiva?, ¿Cuál es la relación entre inteligencia artificial y vida artificial?, ¿Hacia dónde se direcciona el desarrollo de los paradigmas de la inteligencia artificial...? y ¿Cuáles posibilidades estéticas son abiertas por los sistemas de inteligencia artificial evolutiva hacia futuros fenómenos musicales de complejidad creciente...?

La construcción del problema radica en el balance teórico y la interconexión conceptual entre: *elementos del estilo musical* (LaRue, 2004); y *paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva* (Engelbrecht, 2007), delimitado por visiones estéticas trascendentes a la percepción y cognición humana: *simulación, creación abierta y mundos posibles*.

Mutación sonora: sonido y computación evolutiva

Armonía inmunológica: armonía y sistemas inmunes artificiales

Discursos flotantes sonoros: melodía y sistemas difusos

Música rizomática: ritmo e inteligencia de enjambres

Expansión sonora sin límites: crecimiento formal y redes neuronales artificiales

La visión del *futuro sonoro* es la búsqueda de posibles fenómenos musicales de complejidad creciente desde la hibridación paradigmática de la inteligencia artificial evolutiva hasta la integración a las redes complejas de comunicaciones en un meta-sistema de adaptación soportado en la vida artificial: *software, hardware y wetware* hacia una *red global de creación sonora*, un proceso descentralizado, abierto y evolutivo de transformación de datos en tiempo real hacia la liberación total del sonido... y la construcción de una *reflexión prospectiva* hacia campos sonoros emergentes y las futuras transformaciones del fenómeno musical.

El enfoque de la investigación es *cualitativo*, un proceso expansivo, no lineal, descriptivo y exploratorio (Strauss y Corbin, 2002). Teorizar de lo particular a lo general entre una diversidad de concepciones, visiones, técnicas y estudios no cuantitativos de las *ciencias de la complejidad*: paradojas e incertidumbres, hacia la construcción del estado teórico actual de la inteligencia artificial, la fundamentación y el diseño de exploraciones conceptuales teóricas de fenómenos sonoros emergentes de enlace a los principales paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva.

El método de la investigación es *teoría fundamentada*: un diseño y un producto basado en el interaccionismo simbólico, nuevas visiones de un fenómeno. Deriva de datos recopilados de forma sistemática y analizados por medio de un proceso de investigación, un equilibrio entre ciencia y creatividad (Strauss y Corbin, 2002; Sandín, 2003, citado por Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

La investigación se basa en el *diseño emergente* (1992), una reformulación de B. Glaser de la teoría fundamentada de A. Strauss y J. Corbin; donde la teoría surge de los datos directamente, más allá de un esquema fundamentado en sistemas de categorías de análisis prefijadas (citado por Hernández-Sampieri, et al., 2014).

Experimento en inteligencia musical (2007) por el musicólogo David Cope (Hararí, 2016); *el lado oscuro de la célula* (2004) por la artista de medios Anne Niemetz y el biólogo Andrew Pelling (Cáceres, 2016); y el proyecto *Datamatics* (2008): *Data.scan*, *Data.flux*, y *Datamatics 2.0*, por el compositor y artista sonoro Ryoji Ikeda (Vega, Hoyos y Cuervo, 2013), constituyen las unidades de análisis: *aproximaciones artísticas emergentes de la convergencia sonido y computación*.

El futuro es inexistente, todo deriva de las acciones ligadas al presente, y el horizonte de posibilidades de construcción es insurgente (De Jesús, 2005; y Hernández-García, 2016).

Somos máquinas de soñar, creadores de modelos virtuales del mundo real.

Rodolfo Llinás, 2002, p. 110

Antecedentes

Los algoritmos existían antes de la invención del computador serial digital... y se definen como un conjunto de reglas o procesos finitos y predeterminados con el objetivo de encontrar un resultado (Manzoli, 1996, 2000). Por consiguiente, el proceso de composición musical es necesariamente algorítmico (Oliveira y Zamprona, 2002).

El compositor americano Lejaren Hiller (1924-1994), un visionario de la transición de conceptos técnicos musicales a lenguajes computacionales y pionero en la utilización del ordenador en procesos de creación musical en la mitad del siglo XX. Su obra más representativa es el cuarteto de cuerda No. 4 programada en el ordenador *Illiad Suite* (Padilla, 2012).

La primera aplicación de algoritmos genéticos ¹en creación musical son los experimentos de Andrew Horner y David Goldberg a finales del siglo XX para generar material melódico por medio del proceso por ordenador aplicado a un patrón inicial de cinco notas: selección, eliminación, rotación y aleatoriedad (Horner, 1994, citado por Padilla, 2012).

En el siglo XXI, Eduardo Reck implementa un sistema algorítmico para generar alturas y duraciones denominado CAMUS, ha compuesto piezas para orquesta y cuarteto de cuerdas... (Padilla, 2012).

En definitiva, la conexión entre ciencia y arte es un espacio de emergencia, una producción de investigación entre artistas y científicos, espacios de reflexión acerca de la construcción de realidades y mundos posibles (Cáceres, 2016; Hernández, Niño y Hernández-García, 2016; y Duque, 2017).

¹ Algoritmo genético. "Un tipo específico de algoritmo evolutivo motivado por las operaciones genéticas de selección, mutación y cruce" (Macal, 2009, p. 113).

Perspectiva teórica de la aplicación de inteligencia artificial a la creación musical

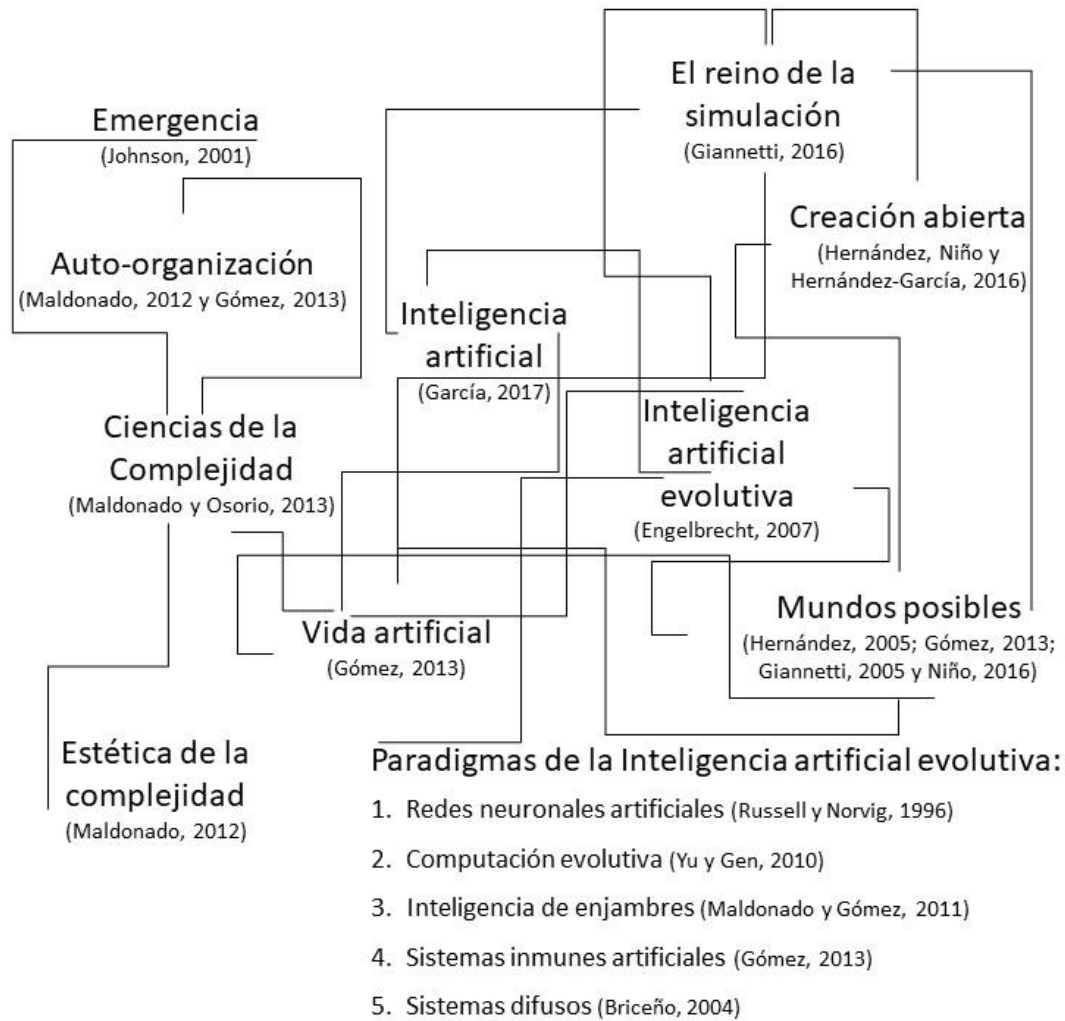


Figura 1. Perspectiva teórica de la aplicación de inteligencia artificial a la creación musical.

Fuente: elaboración por el autor.

Emergencia

Emergencia es lo que sucede cuando un sistema de elementos relativamente simples a partir de interacciones a nivel micro enlazadas por mecanismos retroactivos se organizan de forma descentralizada hasta alcanzar un complejo comportamiento global inteligente no predecible a partir del análisis de las partes constituyentes (Castí, 1997; Johnson, 2001; Holland, 2004; De Wolf & Holvoet, 2005; y Macal, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013). Aparecen *propiedades, estructuras y dinámicas* a nivel macro no-lineales, son sistemas ascendentes, no descendentes, su inteligencia nace desde la base (Johnson, 2001 y Hernández, 2016). Los procesos de abajo hacia arriba imitan el desarrollo biológico donde los agentes individuales se sintetizan en un todo coherente (Langton, 1992; Castí, 1997 y Gómez-Cruz, 2013). Alan Turing en su ensayo *morfogénesis* describe la capacidad de las formas de vida de desarrollarse desde elementos básicos hasta estructuras de alta complejidad manifestando comportamientos emergentes y procesos de auto-organización hacia una compleja red dinámica de información (Langton, 1992), y se caracterizan por resolver problemas a partir de conjuntos de elementos no inteligentes con capacidades individuales limitadas bajo reglas simples de interacción (Johnson, 2001). M. Bedau (2003, citado por Gómez-Cruz, 2013) diferencia entre *propiedades emergentes, entidades emergentes y fenómenos emergentes*: un modelo de propiedad emergente es la *conciencia*, ser consciente emerge de un sistema de neuronas adecuadamente interconectadas (Searle, 1992); una entidad emergente es un organismo, una colonia, un cerebro, una metrópolis, o un *software evolutivo...* y un fenómeno emergente es la exposición de los acontecimientos pasados dentro de la emergencia (Gómez-Cruz, 2013).

El comportamiento emergente es el futuro y no simplemente un descubrimiento científico más (Johnson, 2001).

Auto-organización

La *auto-organización* es el proceso dinámico adaptativo por medio del cual los sistemas complejos sostienen estructuras macroscópicas ordenadas y abiertas alejadas del equilibrio ²en constante intercambio como resultado de interacciones locales de agentes constitutivos para crear propiedades emergentes (Prigogine, 1980; Holland, 2004, citado por Gómez-Cruz, 2013). La totalidad del orden presente en el mundo natural es debido a la auto-organización (Braha, Minai & Bar-Yam, 2006), y es el concepto central de las teorías del constructivismo radical, la sinérgica y la autopoiesis (Maturana, 1996 y Giannetti, 2016). Un sistema eleva su complejidad por procesos de auto-organización para alcanzar mayores grados de libertad (Hernández, 2005 y Hernández-García, 2016), partiendo de la información interna con el objetivo de adaptarse hacia metas elevadas (Kauffman, 2003). La característica más trascendental del proceso de auto-organización es el incremento del orden desde la interacción en la relación interior-exterior de forma autónoma (Muños & De Castro, 2009). Los mecanismos de auto-organización incluyen *formación de patrones, comportamiento y decisiones colectivas* (Theraulaz & Bonabeau, 2003, citado por Gómez-Cruz, 2013). La relación de patrones musicales y el cerebro como sistema complejo influenció la obra *Gödel, Escher, Bach* (Hofstadter, 1987), donde se exploran los bucles auto-referentes de procesos de nuevas configuraciones de información (Duque, 2017); fundamental en el desarrollo de la *inteligencia artificial* (Johnson, 2003).

En definitiva, el orden real sólo es posible por medio de la auto-organización (Maldonado, 2012; y Gómez, 2013).

² “En este sentido, de la dinámica a la termodinámica se replantea la noción de equilibrio como condición general de los sistemas y se introducen nociones como la *entropía*, las *dinámicas inestables*, las *estructuras* disipativas... y los sistemas alejados del equilibrio” (Duque, 2017, p. xx).

Ciencias de la complejidad

La emergencia y la autoorganización son los conceptos teóricos centrales fundamentales para las ciencias de la complejidad, centradas en el estudio de sistemas complejos no-lineales compuestos de elementos en interacción simultánea de comportamiento no repetitivo, aperiódico, y no determinista entre el más preciso orden y el completo caos (Pagels, 1991; Santamaría, 2002; Floreano & Mattiussi, 2008; Maldonado, 2012; Gómez-Cruz, 2013; Maldonado y Osorio, 2013; y Hernández, 2016). Los sistemas son fenómenos con problemas por resolver, la computación es el tiempo necesario para resolver problemas y el mundo contemporáneo está fundado en la idea de *sistema* (Maldonado y Osorio, 2013). Los sistemas complejos son no-lineales: múltiples soluciones posibles (Maldonado y Osorio, 2013), originan comportamientos colectivos emergentes y auto-organizados de adaptación, evolución y aprendizaje mediante extensas redes de elementos sin control centralizado y reglas simples de interacción hacia órdenes de *complejidad creciente* (Langton, 1992; y Mitchel, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013). El orden es necesario para almacenar información y sostener la estabilidad estructural del sistema de complejidad creciente, y el caos provee flexibilidad para adaptarse y evolucionar (Hernández, 2005; Maldonado, 2005; y Luque & Manrubia, 1996).

Las principales características y propiedades de los sistemas complejos no-lineales (Villamil y Gómez-Cruz, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013, pág. 156):

- Son sistemas abiertos sujetos a cambios súbitos.
- Fronteras difusas o no fácilmente deducibles/identificables.
- Presencia de componentes autónomos.
- Predominancia de dinámicas y procesos no lineales.
- Uso de diversos mecanismos de auto-organización.
- Aparición de comportamientos emergentes en escalas superiores.
- Capacidad de generar nuevos sistemas complejos.

El estudio de los sistemas complejos en la segunda mitad del siglo XX expuso problemas imposibles de aproximarse desde un enfoque disciplinar (Gómez-Cruz, 2013). Las estructuras del saber moderno están en crisis, esferas epistemológicas opuestas y fragmentadas y conocimiento hiperespecializado (Wallerstein, 2005; Yeregui, 2010; y Duque, 2017). Y según Morin (1999), generan inadecuaciones frente a la complejidad de los fenómenos sociales y humanos.

Las ciencias de la complejidad, espacios de posibilidades, inter-ciencia, y catalizadores del desarrollo tecnológico, se inician en la expansión de la computación, y por primera vez la humanidad opera con la no-linealidad (Maldonado, 2005; Maldonado y Osorio, 2013; y Duque, 2017). La ciencia y la tecnología contemporánea están basadas en los lenguajes del mundo computacional, una herramienta conceptual: *sintaxis, semántica, memoria y reglas lógicas* para la simulación (Maldonado y Osorio, 2013). Las ciencias de la complejidad son ciencias de frontera a partir de problemas de frontera, amplían los horizontes de la ciencia, y replantean su relación con la filosofía, el arte y la sociedad en un enfoque transversal e interdisciplinario (Maldonado, 2012; y Maldonado y Osorio, 2013). La *vida artificial* es un nuevo programa de investigación hacia la teoría general de sistemas complejos no-lineales, surgió en medio de una crisis de diversas ciencias, en especial de la inteligencia artificial, a finales de la década de los 80 (Maldonado, 2010; Gómez, 2013; y Hernández, 2016). Los principales conceptos de la complejidad se originaron a partir de modelos computacionales de vida artificial, generando avances teóricos y prácticos revolucionarios para las ciencias de la computación (Gómez, 2013).

El científico se interesa por la emergencia de otras realidades, y el artista se interesa por explorar los conceptos planteados por la ciencia. La complejidad integra ciencias y artes en un sistema abierto evolutivo (Hernández, 2005; y Maldonado, 2012).

Inteligencia artificial.

La *inteligencia artificial* es la simulación computacional de procesos cognitivos (Negrete y González, 1992). Un sub-campo de la vida artificial en el marco de las ciencias de la complejidad (Gómez-Cruz, 2013). Su objetivo científico es explicar los mecanismos de la inteligencia (Winston, 1994); y en la práctica resolver problemas de alta *complejidad* (García, 2017). Las investigaciones en inteligencia artificial se extienden por diversas áreas: *simulación de capacidades de percepción, habilidades psicomotoras, aprendizaje de máquina, emulación de comportamientos inteligentes, comprensión del lenguaje, y sistemas expertos* (Negrete y González, 1992). Todo ello está orientado con base en el estudio de los procesos que posibilitan percibir, razonar y actuar en el ser humano (Winston, 1994; Escolano, Cazorla, Alfonso, Colomina y Lozano, 2003). El matemático Alan Turing, el padre de la computación (García, 2017), exploró terrenos desconocidos para su época y fue pionero en campos como el *conexionismo, la inteligencia artificial, la computación evolutiva, la vida artificial y la hipercomputación* (Copeland, 2004). El primero en utilizar simulaciones computacionales para explorar sistemas complejos no-lineales (Copeland, 2004), y sostuvo que todos los procesos de la mente podrían ser realizados por computadoras. Su tesis *Maquinaria Computacional e inteligencia* (1950) es la base de la inteligencia artificial (Hodges, 1998).

Una máquina capaz de pasar el Test de Turing ha de tener las siguientes capacidades (García, 2017):

- Reconocimiento del lenguaje natural
- Razonamiento automático
- Aprendizaje automático
- Representación del conocimiento

Los avances en la formulación teórica de los procesos básicos de la inteligencia se enlazan con los nuevos desarrollos en sistemas inteligentes artificiales (Russel y Norvig, 1996).

Durante la segunda mitad del siglo XX la inteligencia artificial se consolidó como disciplina científica, es resultado de la intersección de diversas corrientes de conocimiento: *teoría de la computación, cibernética, teoría de la información, procesamiento simbólico, lógica y matemática discreta*; (Escolano, et al., 2003).

La inteligencia artificial es extremadamente vital, amplia y multidisciplinar. Así mismo, es posible aplicar las técnicas fundamentales de la IA para resolver problemas transversales a la disciplina (Rich y Knight, 1994).

Las estrategias científicas desarrolladas en la vida artificial están abriendo nuevos horizontes filosóficos y han modificado profundamente la esencia de la inteligencia artificial (Bedau, 1992). La totalidad de las líneas de investigación en inteligencia artificial se ha desplazado hacia modelos y técnicas de la vida artificial (Maldonado y Gómez-Cruz, 2010). El desarrollo tecnológico definirá el futuro, el progreso, la aplicación y transmisión de conocimiento (Barber, 2003). La *nueva inteligencia artificial* integra áreas de la vida artificial como la *computación evolutiva* y los *sistemas bioinspirados* (Gómez-Cruz, 2013), y se anuncian nuevos campos o extensiones: *inteligencia computacional* o *inteligencia artificial evolutiva*.

La intersección entre inteligencia artificial y vida artificial es un área de macro-ciencia³, un proyecto de investigación de construcción del futuro (Couchot, 2005, citado por Hernández, 2005; Maldonado y Osorio, 2013; Maldonado, 2016 y García, 2017).

³ Macro-ciencia. "Grandes programas de investigación científica, en la que confluyen con interés y fortalezas diferentes científicos, ingenieros, empresarios, militares..." (Maldonado y Osorio, 2013, p. 19)

Vida artificial.

La *vida artificial* es una ciencia de frontera, donde desaparecen las distinciones entre *ciencia básica, experimental y aplicada*: busca comprender y explicar la esencia de los procesos fundamentales que exhiben vida como fenómeno emergente de *complejidad creciente* (Maldonado, 2012; y Bedau, 2007, citado por Gómez-Cruz, 2013). Los procesos incluyen: *emergencia, auto-organización, evolución abierta, control descentralizado, flexibilidad, autonomía, metabolización, auto-reproducción, desarrollo, adaptación, aprendizaje y evolución* (Huneman, 2008, citado por Gómez-Cruz, 2013; y Hernández, 2016). El campo transversal de la vida artificial ⁴de síntesis extraordinaria es una revolución científica de tipo interdisciplinar para la innovación radical (Langton, 1995); explora las fronteras de interacciones no lineales, auto-organizadas y complejas mediante un enfoque constructivista basado en *simulación* de sistemas artificiales de características y/o propiedades (estructurales, dinámicas y comportamentales) de los sistemas biológicos, para verificar teorías, ilustrar y explicar fenómenos, sistemas y comportamientos (Levy, 1992; Bedau, 2007; y Banzhaf & McMullin, 2012; citado por Gómez-Cruz, 2013); para el estudio de la emergencia y de los mecanismos por los cuales *propiedades, entidades y fenómenos emergentes* pueden ser generados (Maldonado y Gómez-Cruz, 2012). La vida artificial crea sistemas complejos artificiales evolutivos y abiertos, capaces de crecer, reproducirse y adaptarse en espacios de mundos virtuales complejos en nuevas temporalidades (Hernández y Niño, 2006). Al horizonte de su desarrollo convergen científicos y artistas en un diálogo abierto de magnitud exponencial, una ciencia de la complejidad (Gómez-Cruz, 2013).

⁴ “Organizacionalmente, la vida artificial fue presentada a la comunidad científica en septiembre de 1987, cuando se celebró el primer taller sobre vida artificial, fundado por C. Langton y titulado *Taller Interdisciplinario sobre la Síntesis y la Simulación de Sistemas Vivos*” (Gómez-Cruz, 2013, p. 22).

C. Langton es considerado el padre de la vida artificial, el primero en integrar bajo un marco común diversas investigaciones como las de J. von Neumann (autómatas auto-reproductores), A. Turing (morfogénesis, redes conexionistas...), y J. Holland (algoritmos genéticos, emergencia y adaptación en máquinas) (Gómez-Cruz, 2013). La vida artificial en menos de dos generaciones se ha confirmado como uno de los campos más importantes en la investigación de punta en el mundo, ascendiendo hasta una etapa con más puntos de referencia, más resultados, criterios más estrictos, más aplicaciones... en definitiva, ciencia más sólida (Johnson & Timmis, 2005, citado por Gómez-Cruz, 2013; y Maldonado, 2012). Las áreas de aplicación de la vida artificial abarcan campos diversos: *biología sintética, robótica autónoma, ciencias de la computación, internet y procesamiento de datos, tele-comunicaciones, ingeniería, medicina, ciencias de la salud, economía, ciencias sociales, modelamiento de fenómenos naturales, ciencias ambientales, mundos virtuales y arte* (Banzhaf & McMullin, 2012; y Kim y Cho, 2006; citado por Gómez-Cruz, 2013). Artistas y músicos no buscan representar una realidad biológica o solucionar un problema de ingeniería particular: aplican criterios predominantemente estéticos (Bonabeau & Theraulaz, 1995, citado por Gómez-Cruz, 2013). Las fronteras se desvanecen en un mundo extraño, híbrido, sin denominaciones, un sistema abierto llamado vida artificial, una ampliación epistémica de la libertad al superar las percepciones humanas en el uso automatizado de conjunto de datos (Hernández, 2005; y Hernández-García, 2016); modelos de sistemas complejos analíticamente intratables (Huneman, 2008, citado por Hernández, 2016). Los límites se han abierto, la epistemología ya no es humana y se ha expandido a nuevas direcciones de la condición post-humana (Kauffman, 1995; Humphrey, 2004; y Hernández, Niño, Hernández-García, 2016).

La vida artificial es un estatuto teórico abierto en construcción continua y anuncio de la *era post-biológica* (Hernández, Niño y Hernández-García, 2016).

Inteligencia artificial evolutiva

Comportamiento complejo colectivo, transmisión de señales, procesamiento de información y adaptación, son propiedades de los sistemas biológicos, los de mayor grado de complejidad: *estructural, dinámica, algorítmica, computacional y termodinámica* (Maldonado y Osorio, 2013); y la representación de la multiplicidad de la vida, el fenómeno de máxima complejidad existente; el paradigma de la complejidad (Wagensberg, 2003, citado por Gómez-Cruz, 2013; y Maldonado y Gómez-Cruz, 2010). La tecnología no es exclusivamente humana, es antigua, una realidad de los sistemas vivos a partir del nacimiento de colonias de bacterias (Margulis, citado por Maldonado y Osorio, 2013). La evolución es una historia no-lineal de soluciones singulares, el modo operativo de la complejidad (Maldonado, 2012).

La *inteligencia artificial evolutiva* es una rama de la inteligencia artificial que estudia los mecanismos de adaptación de los sistemas biológicos para diseñar *sistemas bio-inspirados* de carácter evolutivo en pro de soluciones a problemas de complejidad creciente (Coppin, 2004; y Engelbrecht, 2007, citado por Gómez, 2013; y Maldonado, 2012). Los principales paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva son (Engelbrecht, 2007):

1. Computación evolutiva
2. Sistemas inmunes artificiales
3. Sistemas difusos
4. Inteligencia de enjambres
5. Redes neuronales artificiales

La inteligencia artificial evolutiva es un área de investigación emergente del siglo XXI, investigación como dialogo experimental con la naturaleza, de carácter activo en las ciencias de la complejidad (Floreano & Mattiussi, 2008, citado por Gómez-Cruz, 2013; y Duque, 2017).

Redes neuronales artificiales.

Las *redes neuronales artificiales* son un proyecto de emulación del sistema nervioso central, constituyen el paradigma *conexionista* de la inteligencia artificial (Cazorla, et al., 1999; y Caicedo y López, 2009). Una técnica de procesamiento de información, una aproximación a los procesos mentales, para solucionar una amplia gama de problemas complejos con datos iniciales de baja precisión, reconocimiento de patrones, predicción, codificación, gestión, clasificación, control y optimización... de *modo colectivo* para construir estructuras específicas (Briceño, 2004; Olmeda y Barba, 1993; Caicedo y López, 2009; y García, 2017). Es un modo de computación auto-programable, no lineal, distribuida y organizada por capas (Olmeda y Barba, 1993). Elementos simples de proceso interconectados en estado dinámico operando de forma paralela (Hecth, 1988; Briceño, 2004; y Gutiérrez, 2005). Cada red neuronal artificial posee un algoritmo de aprendizaje y la capacidad de aprender aparece de la actualización de los pesos numéricos de cada conexión mediante un proceso de entrenamiento, la interacción de ciclos de aprendizaje hasta alcanzar valores deseados a partir de ejemplos para generar sus propias reglas (Olmeda y Barba, 1993; Russell y Norvig, 1996; Mukesh, 1997; Briceño, 2004; Gutiérrez, 2005; y García, 2017).

Sus principales propiedades son: *aprendizaje adaptativo, generalización, asociación, agrupación, síntesis, auto-organización, soporte de fallos, velocidad de procesamiento y operación en tiempo real* (Olmeda y Barba, 1993; y Caicedo y López, 2009).

Una nueva forma de computación hacia la incertidumbre, su funcionamiento se denomina “comportamiento de caja negra” (Briceño, 2004, pág. 32); un modelo de alto potencial para el masivo paralelismo y la alta conectividad en simulaciones de la inteligencia artificial con infinidad de variantes (Briceño, 2004; y Gutiérrez, 2005).

Computación evolutiva.

La *computación evolutiva* es un paradigma computacional inspirado por la selección natural y la genética (Talbi, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013), representa mecanismos evolutivos de adaptación para los sistemas computacionales (Holland, 2004), un campo relativo a problemas de búsqueda y optimización (Yu y Gen, 2010, citado por Gómez-Cruz, 2013).

La técnica principal de la computación evolutiva son los algoritmos genéticos o evolutivos (Bartz-Beielstein, 2006), un proceso de *aprendizaje colectivo*, altamente paralelo de búsqueda estocástica mediante la *selección, cruce, mutación o inversión* dentro de una población de cromosomas (García, 2017), un intercambio de información estructurado y aleatorio con un conjunto de parámetros de optimización en espacios inmensos de búsqueda en simulación de procesos de evolución (Gómez-Cruz, 2013 y García, 2017) hacia una población en renovación permanente con características de mayor grado de adaptabilidad en dirección a la solución global en ambientes cambiantes (Garzón y Torres, 2008; y Cazorla, et al., 1999).

La construcción de genes artificiales es la base de los algoritmos genéticos (Garzón y Torres, 2008). La *generación automática de conocimiento, los procesos de cambio, el aprendizaje de las máquinas, la auto-reproducción, la computación evolutiva, el hardware evolutivo, la evolución del software, el arte generativo, las dinámicas evolutivas, los agentes inteligentes, y los sistemas abiertos inteligentes...* todo su desarrollo se basa en algoritmos genéticos (Garzón y Torres, 2008).

Los algoritmos genéticos, la simbiosis entre teoría de la evolución, nueva biología y computación (Maldonado, 2011; y Gómez-Cruz, 2013), un enfoque de modelado evolutivo con operadores de aleatoriedad (Hernández, Niño y Hernández-García, 2016).

Inteligencia de enjambres.

La naturaleza no se comporta secuencial, jerárquica o linealmente para intentar resolver problemas, por el contrario, la solidez del comportamiento de los sistemas naturales se basa en series en paralelo, autoorganización y control descentralizado (Muñoz, López y Caicedo, 2008; Maldonado y Gómez, 2011 y Gómez-Cruz, 2013).

La inteligencia de enjambres parte del estudio de los colectivos de organismos sociales, modelos de conducta altamente coordinada y descentralizada (Toca, 2013; y Gómez-Cruz, 2013) para llevar a cabo funciones adaptativas (Engelbrecht, 2007, citado por Gómez-Cruz, 2013); y se origina en la vida artificial, la psicología social, y las ciencias de la computación (De los Cobos, Gutiérrez, Rincón, Lara y Aguilar, 2014).

Las principales técnicas de la inteligencia de enjambres son: la optimización por colonia de hormigas, la optimización por enjambre de partículas (De los Cobos, et al., 2014), la robótica de enjambre (Halgamuge & Wang, 2005, citado por Gómez-Cruz, 2013), la optimización por enjambre de bacterias y algoritmos de abejas (Muñoz, López y Caicedo, 2008). Los sistemas de inteligencia de enjambres están conformados por una población de agentes computacionales simples flotando en el hiperespacio, capaces de interactuar de forma local. Las interacciones locales llevan a la emergencia de un comportamiento global (Muñoz, López y Caicedo, 2008). Los métodos basados en inteligencia de enjambres han sido utilizados exitosamente para resolver diferentes problemas de optimización (De los Cobos, et al., 2014).

La inteligencia de enjambres es la representación computacional de la inteligencia colectiva evolutiva de la naturaleza (Maldonado y Gómez, 2011 y Gómez-Cruz, 2013).

Sistemas inmunes artificiales.

La *computación inmune* es un paradigma computacional basado en el *sistema inmune natural*, un sofisticado sistema complejo adaptativo de procesamiento de información de forma paralela y distribuida (Dasgupta & Attoh-Okine, 1997, citado por Gómez-Cruz, 2013). Las células inmunes categorizan las células de un organismo como propias o no-propias para desencadenar los mecanismos de defensa adecuados, una interacción a escala local para desatar comportamientos a escala global (Dasgupta, 1998, citado por Gómez-Cruz, 2013).

Los principales modelos de los *sistemas inmunes artificiales* y sus conceptos inmunológicos asociados son: *algoritmo de selección negativa*, para el reconocimiento de células propias y no-propias; *teoría de redes inmunes*, hacia la memoria inmune; *algoritmo de selección clonal*, en la expansión por clonación; y *teoría del peligro*, por la inmunidad innata (Forrest, 1994, citado por Gómez-Cruz, 2013, p. 150; Dasgupta & Attoh-Okine, 1997; y Dasgupta & Niño, 2009).

Los campos de aplicación de los sistemas inmunes artificiales son: *detección de cambios, fallas y anomalías, estrategias de defensa, seguridad informática, aprendizaje de máquina; supervisado y no supervisado, búsqueda y optimización, reconocimiento de patrones, robótica, control adaptivo y retroalimentado, minería de datos, diagnósticos, memoria asociativa y programación adaptativa de sistemas computacionales* (Dasgupta & Niño, 2009, y De Castro & Timmis, 2002, citado por Gómez-Cruz, 2013).

El estudio del sistema inmunológico y de los sistemas vivos ha representado una revolución para los sistemas computacionales, un camino inexplorado hacia la construcción del futuro (Maldonado y Gómez-Cruz, 2011).

Sistemas difusos.

Los fenómenos de alta complejidad son imposibles de estudiar con lógicas clásicas (Duque, 2017). La *lógica difusa* es capaz de enfrentarse a comportamientos complejos y buscar soluciones a partir de información aproximada, incompleta, subjetiva o ambivalente basada en reglas descriptivas del lenguaje para la imprecisión intrínseca de los problemas complejos (Briceño, 2004; D'Negri y De Vito, 2006, citado por Cáceres, 2016; y Duque, 2017). Un conocimiento inexacto, una lógica multivaluada, una tercera región más allá de lo verdadero y lo falso, la representación matemática de la incertidumbre (Lejewski, 1967, citado por Briceño, 2004). Zonas grises, valores intermedios, computación con palabras, ambivalencia, indeterminación, un espectro infinito de opciones entre el blanco y el negro (Kosko, 1993), externa al mundo artificial de la lógica clásica, donde predominan los conjuntos difusos sin fronteras definidas, una realidad incierta, y la verdad es un asunto de grados de pertenencia (Briceño, 2004; y D'Negri y De Vito, 2006).

Los sistemas difusos se basan en lógica difusa desde un enfoque conjuntista (García, 2017). Maquinas inteligentes capaces de convertir elementos de entrada en elementos de salida, causas en efectos y preguntas en respuestas. Son utilizados fundamentalmente en el desarrollo de sistemas automatizados (Briceño, 2004). Las características generales de los sistemas difusos son: *flexibilidad hacia niveles superiores, amplio rango de tolerancia con los conceptos dentro del proceso, razonamiento difuso, modelamiento de funciones no-lineales de complejidad arbitraria, técnicas de adaptación, procesamiento de cantidades masivas de información y optimización automática* (Briceño, 2004 y García, 2017).

Los sistemas difusos son el umbral de un nuevo universo de posibilidades, un futuro sin límites hacia la invención de soluciones a problemas complejos (Briceño, 2004; y Duque, 2017).

Estética de la complejidad

Fluctuaciones, cambios súbitos, inestabilidad e irreversibilidad, no-linealidad, asimetría, diversidad creciente, bifurcaciones, no-equilibrio, evolución y catástrofes, turbulencias, ambivalencia, no-predictibilidad, emergencias, auto-organización y caos, representan el lenguaje de la complejidad (Kauffman, 1995; Sheliiepin, 2005; Hernández, 2005; Hernández y Niño, 2013; y Gómez-Cruz, 2013).

La *estética de la complejidad* radica en la creación de mundos posibles por interminables medios y la creación de *emergencias* (Laddaga, 2006), antes de representar y/o transformar una realidad determinada (Maldonado, 2013), donde el arte contemporáneo crea universos posibles en diversos ámbitos de realidades, y el ser humano se enfrenta a la complejidad del mundo abierto, cambiante e inconstante (Bourriaud, 2008; Hernández, Niño y Hernández-García, 2016 y Giannetti, 2016). La verdad se relativiza en el escenario de las ciencias de la complejidad (Giannetti, 2016). El artista no es el especialista, sino el sintetizador entre arte y ciencia, entre la visión poética y la visión lógica (Tiezzi, 2006), cuando la estética, un fenómeno de *complejidad creciente*, no se enfrenta con obras y discursos totalizantes, sino con lo fragmentario y lo plural, y por primera vez, el arte se transforma en un sistema altamente cooperativo, un *aprendizaje colectivo* entre artistas y no artistas (Maldonado, 2013; Hernández y Niño, 2013 y Gómez-Cruz, 2013).

Las conexiones del ser humano, el arte, la sociedad y la ciencia se complejizan hacia nuevas fronteras al *límite del caos* (Langton, 1992); la radicalidad de la no linealidad, historias anticipadoras del futuro en obras abiertas de procesos interminables (Eco, 1962; Giannetti, 2002; Couchot, 2005; Laddaga, 2006; Hernández, 2005, Maldonado, 2013; Gómez-Cruz, 2013; y Hernández y Niño, 2013).

Aproximaciones artísticas emergentes de la convergencia sonido y computación.

Decisión Explorer® es un programa auxiliar de análisis cualitativo y mapeo de categorías, representa gráficamente relaciones de conceptos en diagramas para visualizar hipótesis y asociaciones entre los elementos más importantes de una teoría (Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

Emergencia categórica desde la perspectiva teórica de la aplicación de inteligencia artificial a la creación musical por codificación abierta

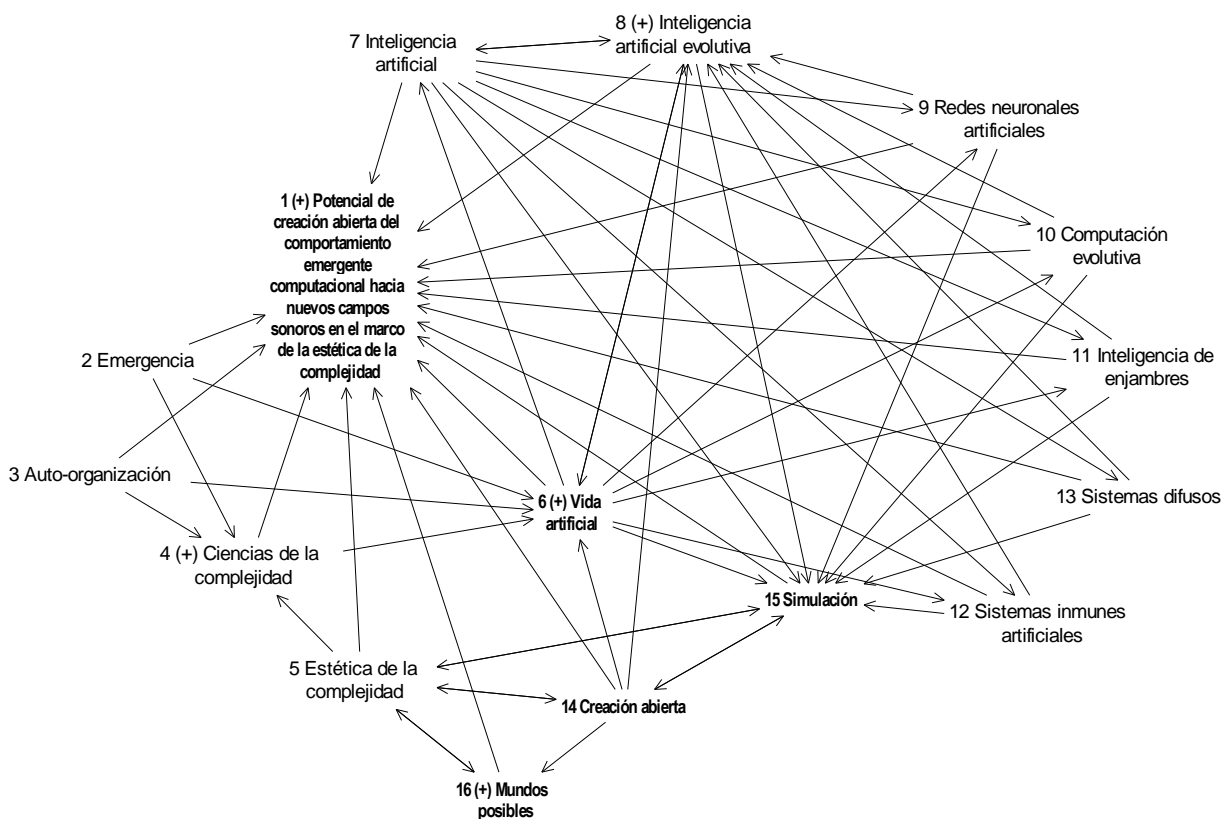


Figura 2. Categoría de análisis emergente de la perspectiva teórica de la visión de futuro sonoro.
Fuente: elaboración por el autor con Decisión Explorer®.

Categoría central de análisis:

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

Experimentos en inteligencia musical por David Cope.

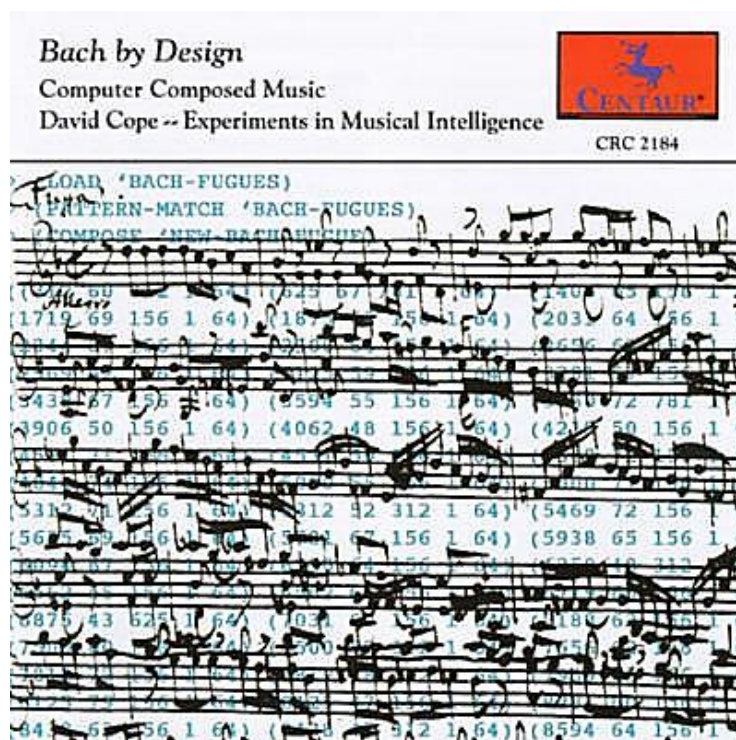


Figura 3. Computer Composed Music. David Cope. *Experiments in Musical Intelligence*.

Fuente: <http://www.computerhistory.org/atcm/algorithmic-music-david-cope-and-emi/>

Los paradigmas de la inteligencia artificial: *computación evolutiva*, *computación evolutiva interactiva* y *computación evolutiva con redes neuronales artificiales*, son utilizados para generar música (Gómez-Cruz, 2013).

David Cope, musicólogo y profesor de la Universidad de California, ha desarrollado programas de composición autónoma de conciertos, corales, sinfonías y óperas. *Experimentos en Inteligencia Musical* (EMI) por David Cope es la primera creación especializada en emular el estilo de Johann Sebastián Bach y con capacidad de componer 5000 obras en 24 horas (Harari, 2016).

Cope continuó desarrollando a EMI, aprendió a imitar a *Mozart, Beethoven, Chopin, Brahms, Stravinski, Bartok, Prokofiev, Rajmáninov, Joplin y Gershwin...* (Harari, 2016). Posteriormente, el musicólogo desarrollo nuevos programas más allá de EMI, basado en reglas predeterminadas, su máximo logro: Annie, un programa basado en aprendizaje automático de la inteligencia artificial, trascendente a la composición musical hacia la creación indeterminada de otras formas de arte (Harari, 2016).

En 2011 Cope edita el libro *Comes the Fiery Night* de poesía japonesa, intercalando sin distinción creaciones humanas y de la máquina (Harari, 2016).



*Comes the
Fiery Night*

D. H. Cope

Figura 4. Portada del libro de poesía japonesa *Comes the Fiery Night* 2.000 Haiku by man and machine.

Fuente: <https://www.amazon.com/Comes-Fiery-Night-D-Cope/dp/1466219157>

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

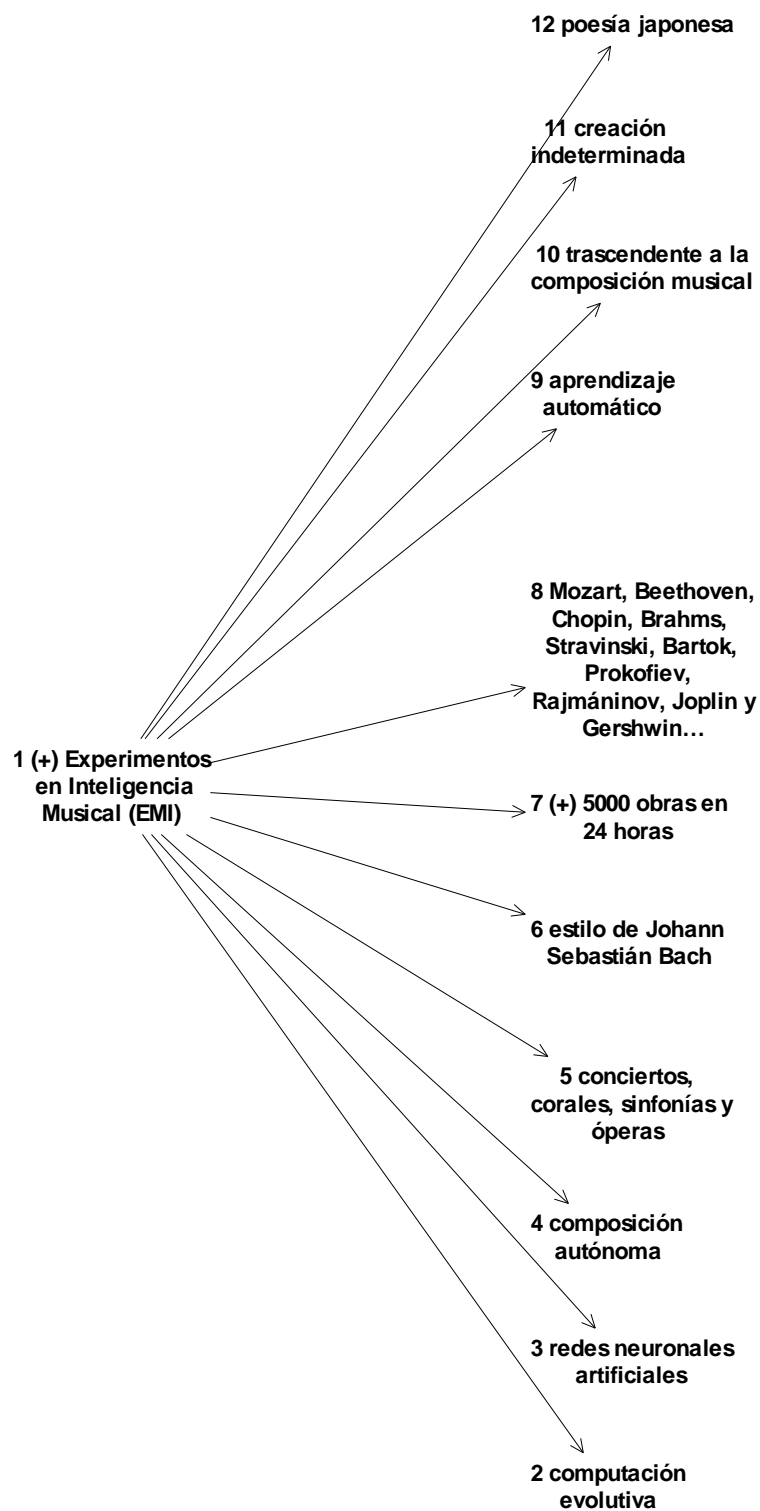


Figura 5. Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de EMI.

Fuente: elaboración por el autor con *Decisión Explorer*®.

El lado oscuro de la célula por Anne Niemetz y Andrew Pelling.

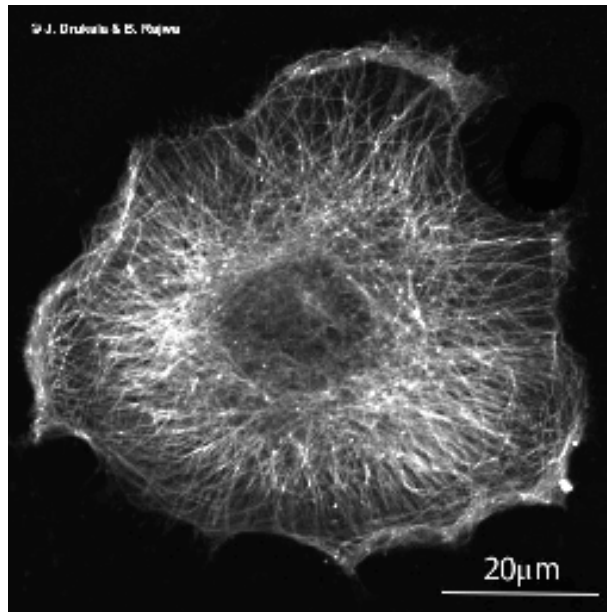


Figura 6. Instalación audiovisual: *el lado oscuro de la célula* por Anne Niemetz y Andrew Pelling
Fuente: <http://www.darksideofcell.info/installation.html>

La nanotecnología, dispositivos de hardware evolutivo ⁵de la vida artificial en nano-escala hacia la síntesis estructural de los procesos de la vida, (Gómez-Cruz, 2013), ha abierto un mundo por descubrir más allá de la percepción humana (Cáceres, 2016, y Hernández, Niño y Hernández-García, 2016). Anne Niemetz, artista de medios, y Andrew Pelling, biólogo, crearon la instalación audiovisual llamada *el lado oscuro de la célula* (2004), una amplificación de los sonidos celulares, sus fluctuaciones de oscilación a escala nanométrica para abrir campos de estudio para científicos, artistas y músicos hacia reflexiones acerca de un sistema de comunicación biológico, una rama de la *computación natural*, la naturaleza en términos de procesamiento de información, un enlace con la vida artificial hacia el futuro, la *computación biológica* y los *sistemas bio-inspirados* (Cáceres, 2016; y Gómez-Cruz, 2013).

⁵ Hardware evolutivo. "Consiste en el diseño y la construcción de microprocesadores genéticos, hardware con capacidades de autorreproducción y autorreparación..." (Gómez-Cruz, 2013, p. 98).

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

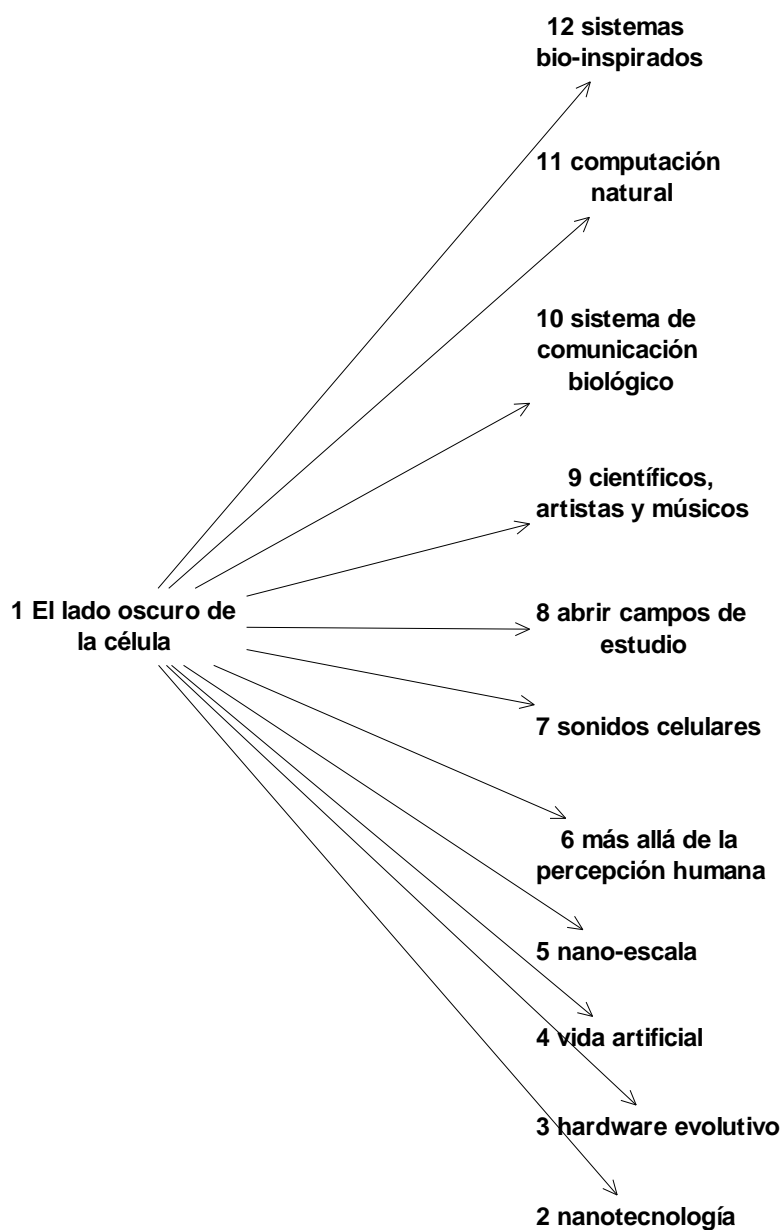


Figura 7. Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de la instalación audiovisual el lado oscuro de la célula por Anne Niemetz y Andrew Pelling.

Fuente: elaboración por el autor con *Decisión Explorer*®.

El proyecto Datamatics por Ryoji Ikeda.

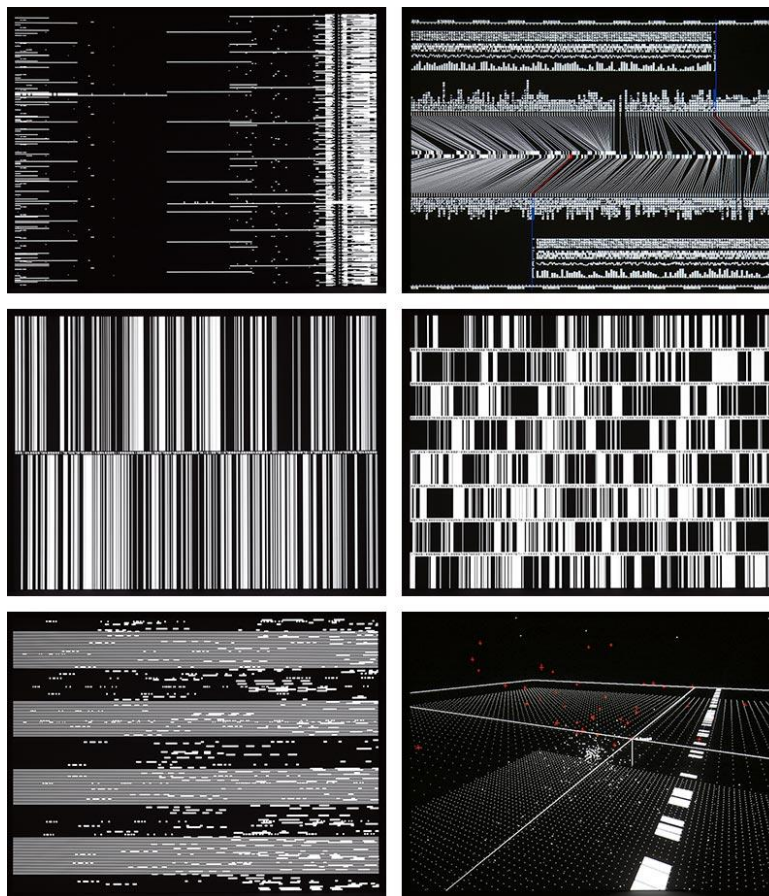


Figura 8. El proyecto Datamatics por Ryoji Ikeda.

Fuente: Ryuichi Maruo, cortesía del Centro de Artes y Medios de Yamaguchi.

Las obras *Data.scan*, *Data.flux*, y *Datamatics 2.0* integran el proyecto *Datamatics*, es una serie de experimentos en multiplicidad de formas: *composiciones*, *conciertos audiovisuales*, *instalaciones* y *producciones*, desarrolladas por el compositor y artista sonoro japonés Ryoji Ikeda, buscan materializar datos puros (Abe, Belen y Weil, 2012; y Vega, et al., 2013).

La transformación de secuencias de datos a datos sonoros por medio de *software* para general material para la composición de piezas musicales donde los datos originales son intercambiables a partir de las versiones sonoras, es un proceso de isomorfismo (Hofstadter, 1995; y Vega, et al., 2013).

Data.scan.

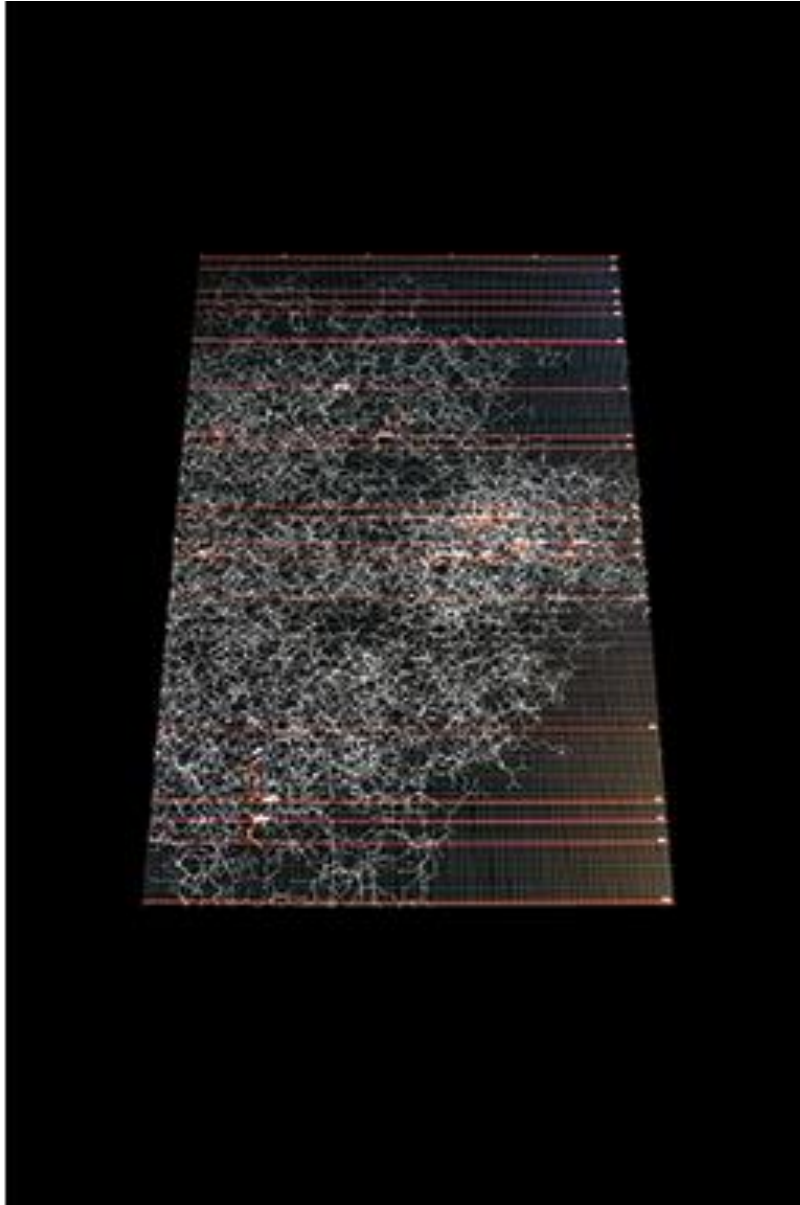


Figura 9. Data.scan por Ryoji Ikeda. Fuente: fotografía de León Darío Peláez, 2011.

Data.scan presenta una integración audiovisual con meta-datos de investigaciones científicas. El mapa del universo y el del cuerpo humano, célula por célula. El diálogo sonoro y visual aborda nociones de aleatoriedad, extremos de escala y binarios de lo visible, invisible, audible e inaudible, es el sonido de datos infinitos (Abe, Belen y Weil, 2012).

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

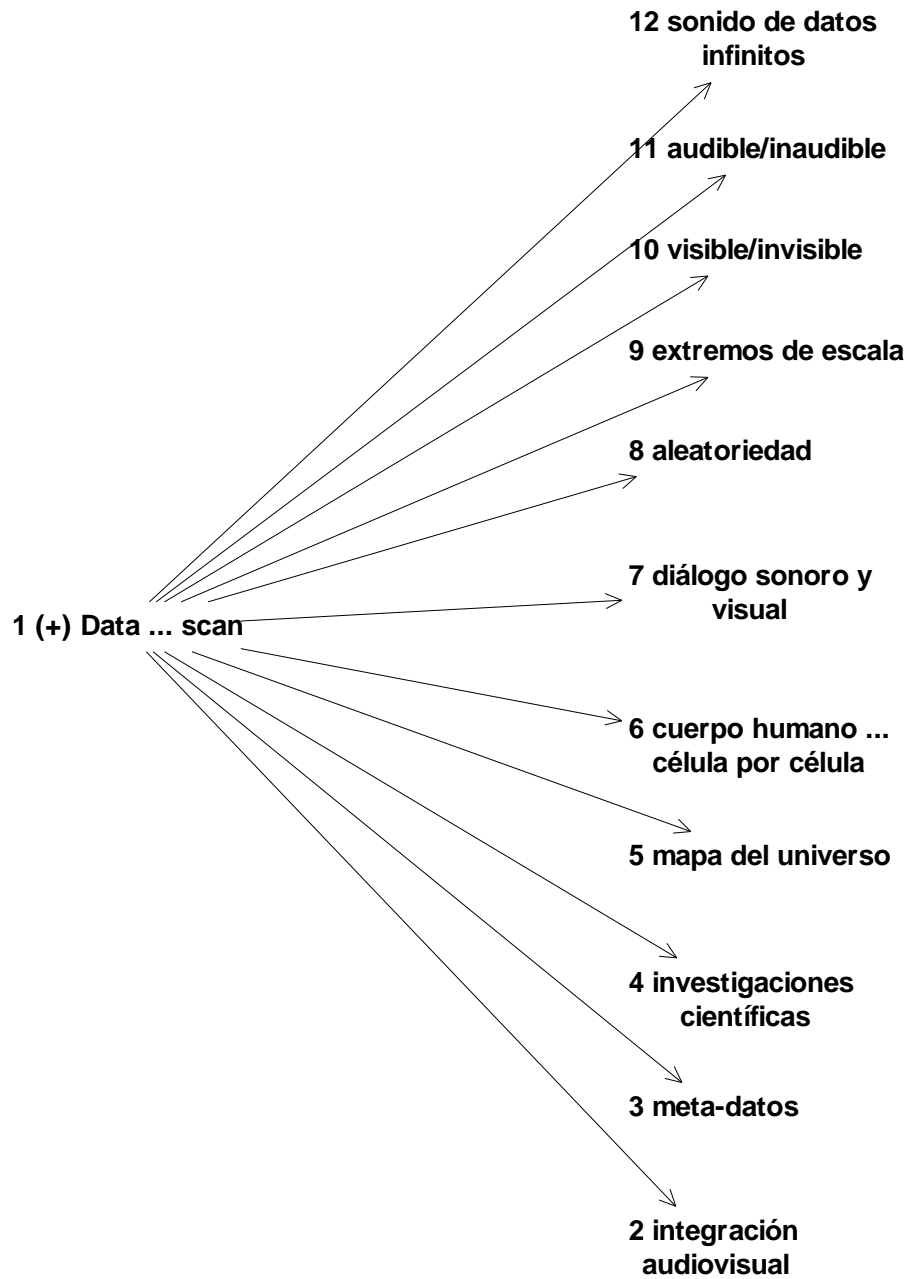


Figura 10. Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de Data.scan.
Fuente: elaboración por el autor con *Decisión Explorer*®.

Data.flux.

Figura 11. Data.flux por Ryoji Ikeda. Fuente: fotografía de Parallax, 2017.

Conjuntos de datos científicos masivos se representan matemáticamente en las pantallas de *Data.flux*: *mapas del cosmos, estructuras moleculares, secuencias de ADN, hipercubos de 4 dimensiones y superposición de datos sin procesar...* sincronizados a componentes sonoros, una *sinfonía de datos*, una experiencia multisensorial total (Abe, Belen y Weil, 2012).

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

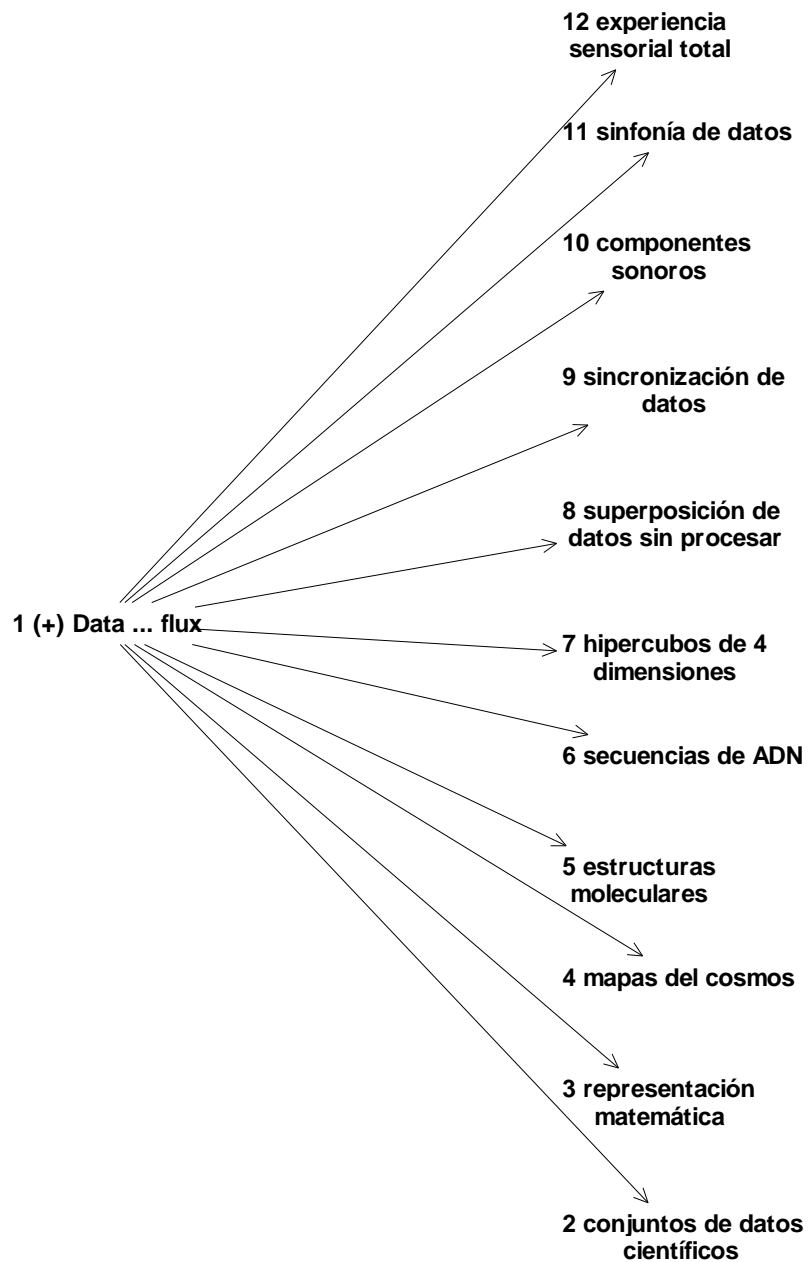


Figura 12. Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de Data.flux.

Fuente: elaboración por el autor con *Decisión Explorer*®.

Datamatics 2.0.

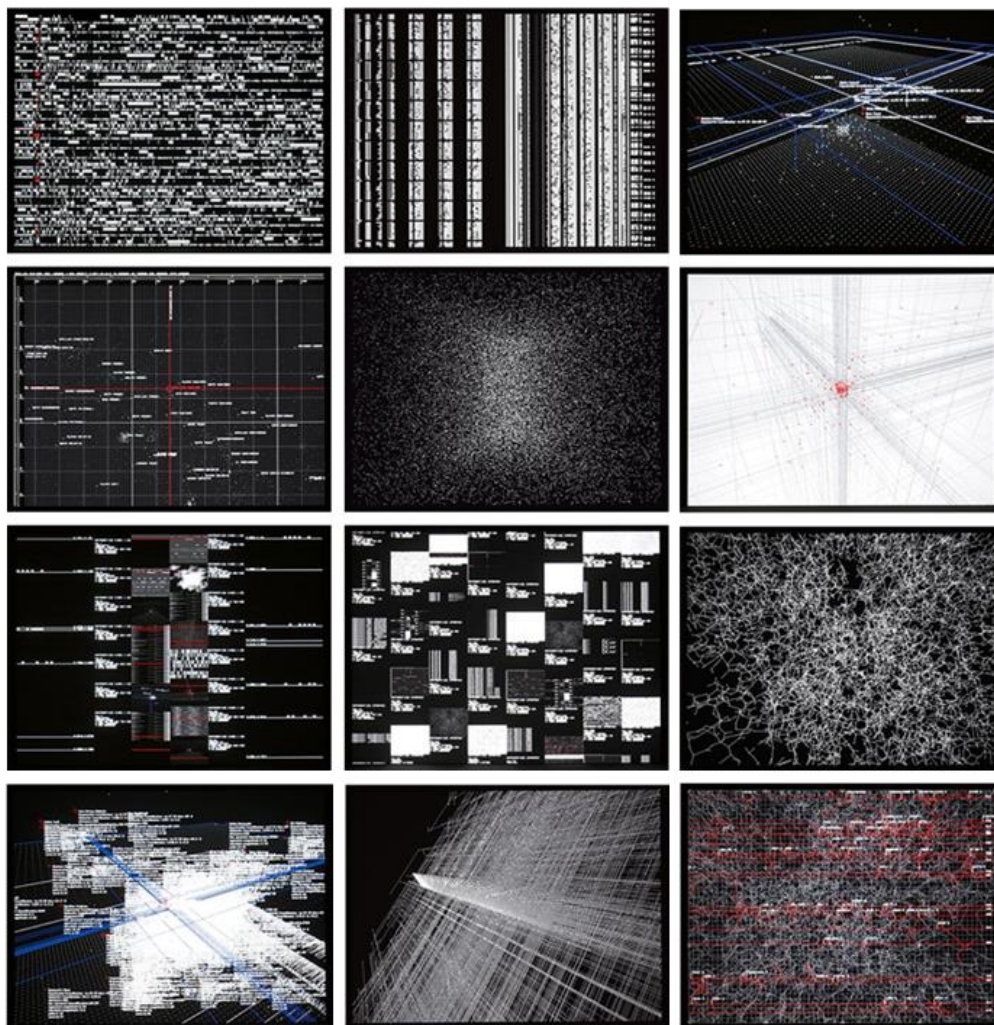


Figura 13. Datamatics 2.0 por Ryoji Ikeda.

Fuente: <http://www.ryojiikeda.com/project/datamatics/#datamatics>

Datamatics 2.0 es un concierto audiovisual de presentaciones abstractas y miméticas de materia, tiempo y espacio a través de múltiples dimensiones, utiliza meta-datos matemáticos puros como fuente de sonidos e imágenes en tiempo real. A partir de secuencias en 2D imágenes se transforman en vistas rotativas infinitas del universo en 3D, una banda sonora refleja las imágenes a través de una multicapa de componentes sónicos para producir espacios acústicos ilimitados (Abe, Belen y Weil, 2012).

Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de los sistemas computacionales bio-inspirados en el marco de la estética de la complejidad.

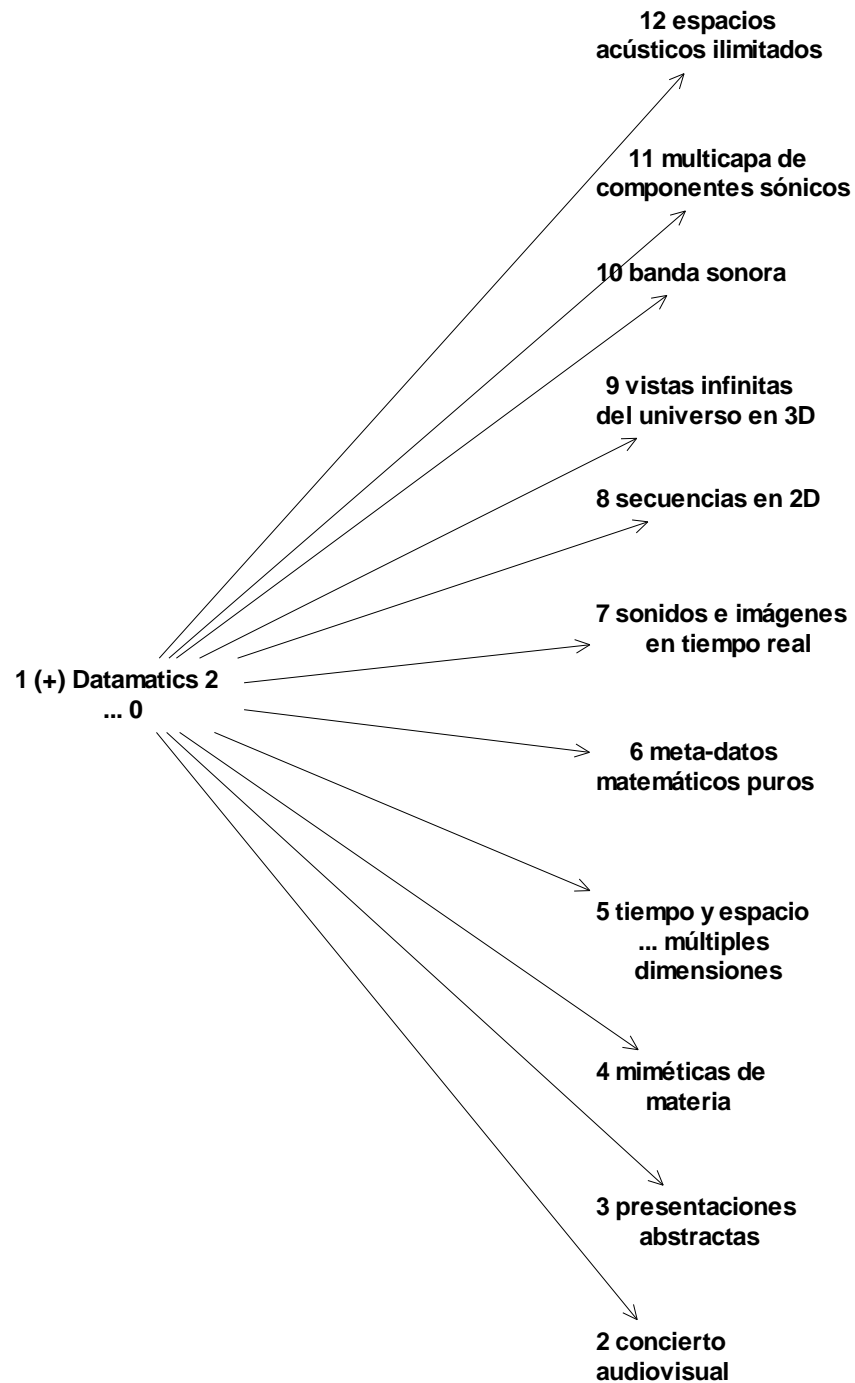


Figura 14. Potencial de creación abierta hacia campos sonoros emergentes de Datamatics 2.0.

Fuente: elaboración por el autor con *Decisión Explorer*®.

El reino de la simulación.

El camino para aproximarse al infinito es un sistema creativo abierto de evolución sin límites trascendente a las concepciones del arte y la estética (Bentley, 2002; Giannetti, 2005 y Hernández-García, 2016). Comienza a manifestarse en los campos de creación de la vida artificial en simulaciones computacionales hacia creaciones de complejidad creciente en procesos indeterminados (Hernández, Niño y Hernández-García, 2016).

Los horizontes se amplían, la expansión de los mundos virtuales, el carácter constructivista de la realidad y la ruptura del antropocentrismo (Baudrillard, 1985; Giannetti, 2016 y Machado, 2016). Un territorio más allá de las fronteras, imágenes poéticas y modelos de ciencia, procesos caóticos, disipativos, complejos y autoorganizativos... (Hernández, 2005; Hernández, Niño y Hernández-García, 2016 y Giannetti, 2016), una invitación a la incertidumbre desde una poética de la inmersión (Hernández, 2016), una "experimentación simbólica" de un modelo de abstracción formal de posibilidades infinitas de transformación hacia múltiples realidades desconocidas, mundos paralelos sintéticos forjados en simuladores, todo un reino de fenómenos invisibles sin identidad (Quéau, 1986, pág. 112 y Machado, 2016). La transformación teórica y práctica de la realidad y la emergencia de nuevas intersubjetividades (Hernández, 2005; Maturana, 1996 y Niño, 2016), en la dicotomía entre real y no-real hacia la *normalización de lo improbable*, un universo de posibilidades de evolución en *mundos cambiantes* (Luhmann, 1981; Lazlo, 2008; Giannetti, 2016 y Machado, 2016).

Nace una estética de la simulación, una estética de los mundos posibles, una estética de lo imposible, la transformación del artista hacia el meta-artista creador de universos artificiales (Hernández, 2002; Machado, 2016 y Hernández-García, 2016).

Creación abierta.

El mundo interminable de los procesos evolutivos se explora desde las transformaciones generadas por la creación (Huneman, 2008 y Hernández, 2016). *La vida artificial suave*, la *vida artificial dura* y la *vida artificial húmeda*; *software*, *hardware* y *wetware* (Gómez-Cruz, 2013), son un campo de posibilidades para la creación desde la computación evolutiva (Hernández, Niño y Hernández-García, 2016).

La *teoría de la creatividad creciente* reconoce la creatividad como un organismo vivo, un conjunto de sistemas complejos no-lineales, una potencia creadora en amplias escalas de tiempo hacia lo impredecible, la innovación y la transformación radical como principio de libertad (Holland, 2004; y Huneman, 2008, citado por Hernández-García, 2016). La exploración de mundos virtuales posibles como sistemas creativos es un proceso evolutivo basado en vida artificial (Bentley, 2002). Los conceptos de *evolución abierta*, *emergencia*, *impredecibilidad*, *ampliación cognitiva* y *sensible* (Hernández, Niño y Hernández-García, 2016, pág. 22), son la búsqueda de la expansión de los límites de las capacidades creativas producidos artificialmente a partir de la inteligencia computacional (Hernández, 2016).

La búsqueda de un futuro fantástico (Vance, 2015), es el horizonte inexplorado del potencial creativo de la evolución abierta sin límites al borde del caos, un problema de futuro en la transformación del horizonte temporal (Maldonado y Osorio, 2013; y Weibel, citado por Giannetti, 2016) posible de anticipar por medio de meta-experimentos: la simulación de mundos artificiales (Huneman, 2008 y Hernández, Niño y Hernández-García, 2016).

La creación es un lenguaje universal, configura un *sistema evolutivo abierto* (Niño, 2016; y Hernández, 2016).

Mundos posibles.

La evolución en *inteligencia computacional, redes complejas, arte transgénico, hipercomputación, biotecnología, multitemporalidad, astrobiología, cibernética, nanotecnología, vida artificial, bioarte, telemática, poéticas digitales, plurimedialidad, transhumanismo, horizontes de partículas, inteligencia colectiva, biología de síntesis, mundos inmersivos, cuerpos digitalizados, biodanza, genética, sistemas bioinspirados, arquitecturas líquidas, desmaterialización, arte digital, realidad virtual, telepresencia, y robótica*, crea nuevos paradigmas estéticos (Hernández, 2005; Gómez, 2013; Giannetti, 2005 y Niño, 2016). Contrastes y paradojas, una verdad gris, discursos flotantes, espacios híbridos polivalentes, la dimensión artificial de la existencia (Maldonado, 2016), entre simulación, virtualización y transformación de datos, en la búsqueda de obras artísticas transcendentales hacia la expansión de nuevas posibilidades sensoriales (Santamaría, 2002; La Ferla, 2005; Michelin, 2005; Cáceres, 2016 y Niño, 2016).

Teorías abiertas, estructuradas y no-estructuras (Kosko, 1993), para una diversidad de mundos de creación en espacios de laboratorio, exploraciones conceptuales de relaciones inéditas (Duguet, 1988, citado por Machado, 2005), más allá del orden conocido, nuevos significados de autonomía de la creación (Pierce, 1988). Sistemas híbridos artificiales bioinspirados en la emergencia de nuevas creaciones hacia el horizonte singular de la transformación paradigmática de movimientos *cambiantes, súbitos, imprevistos, incontrolados* (Hernández, 2016); donde el irreversible avance de la flecha del tiempo manifiesta la imposibilidad de deshacer las acciones (Hernández-García, 2016).

El determinismo no opera en el marco de las ciencias de la complejidad (Hernández, Niño, Hernández-García, 2016).

Posibles futuros fenómenos musicales de complejidad creciente

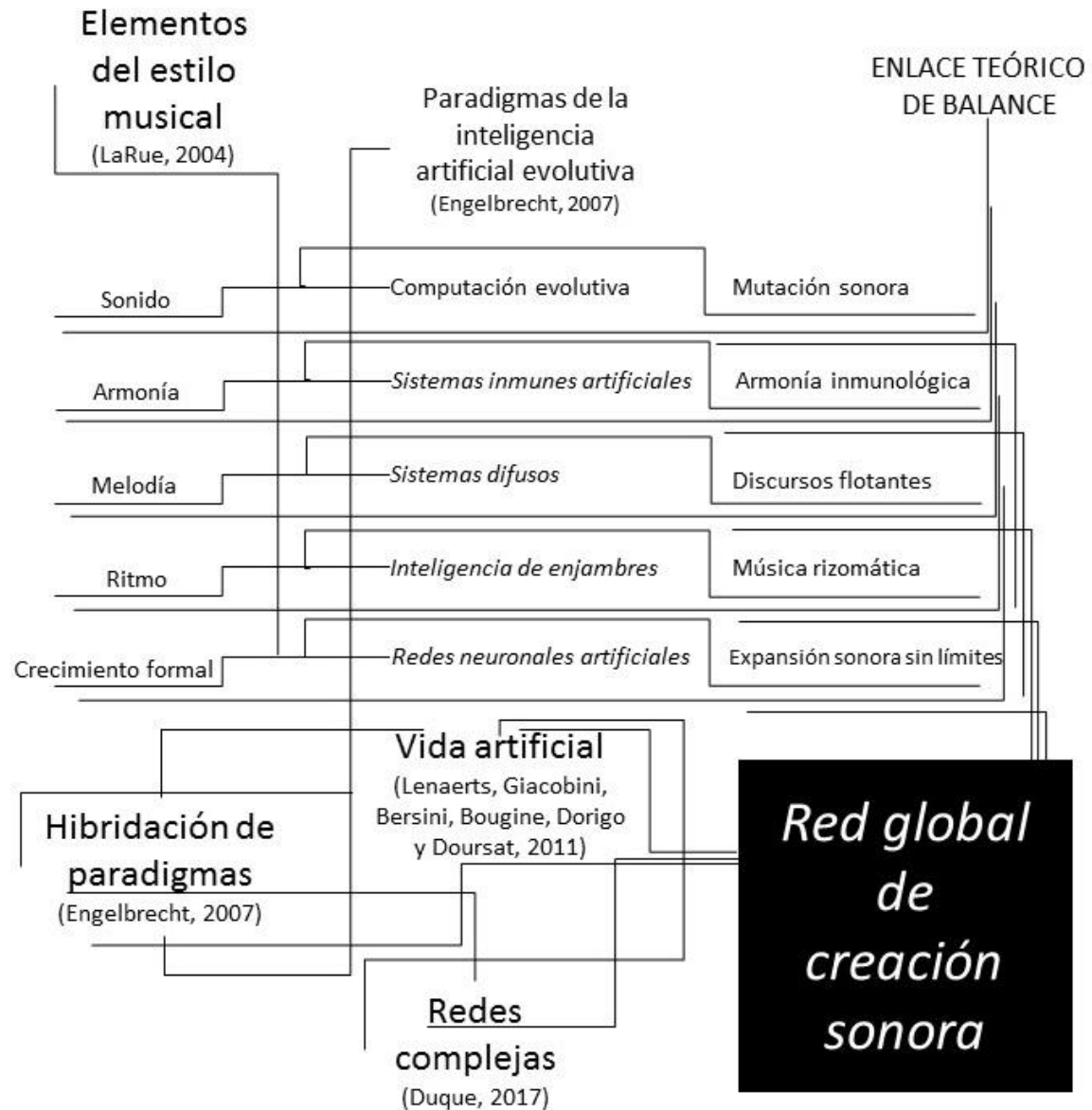


Figura 15. Enlace teórico de balance de posibles futuros fenómenos musicales emergentes de complejidad creciente hacia una *red global de creación sonora*.

Fuente: elaboración por el autor.

Mutación sonora

Los algoritmos genéticos son la rama principal de la computación evolutiva compuestos por: *población de cromosomas*, *mecanismo de selección*, y *operadores genéticos de cruce y mutación* (Mitchell, 1998, citado por Gómez-Cruz, 2013).

La *población de cromosomas* es un esquema de representación de soluciones posibles, se componen de cadenas de bits. El *mecanismo de selección* es una estrategia para la elección de los *cromosomas padres* (Gómez-Cruz, 2013).

El *operador de cruce* consiste en la elección de dos cromosomas padres, se dividen en segmentos proporcionales y se intercambian para formar una pareja de descendientes (Carvajal y Giraldo, 2012; y Gómez-Cruz, 2013).

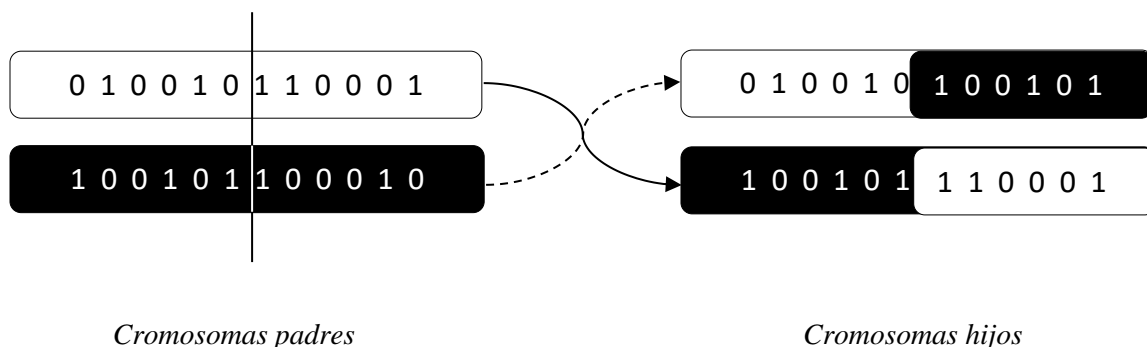


Figura 16. Operador de cruce de los algoritmos genéticos. Fuente: Gómez-Cruz, 2013, p. 145.

El *operador de mutación* es un operador de aleatoriedad para alterar la población descendiente hacia la diversificación de óptimos globales en la exploración de todo el espacio de búsqueda del problema (Carvajal y Giraldo, 2012; y Gómez-Cruz, 2013).

La mutación actúa sobre los *bits* de los cromosomas.

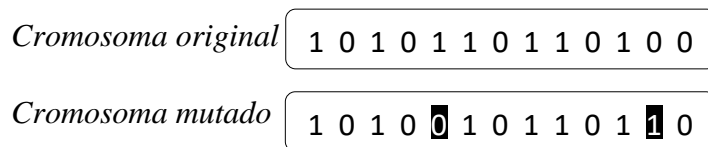


Figura 17. Operador de mutación de los algoritmos genéticos. Fuente: Gómez-Cruz, 2013, p. 147.

El sonido es un fenómeno perceptual, se produce cuando un objeto entra en movimiento vibratorio (Gómez, 2009). Los sonidos naturales son una combinación de vibraciones periódicas y no periódicas (Gómez, 2009). La frecuencia de un sonido (altura) se mide en Hercios y describe la cantidad de ondas por segundo que completan un ciclo (Matras, 1986); el timbre es la cualidad acústica del sonido producida por las distintas frecuencias de incidencia; la *dinámica* es la fluctuación de la intensidad sonora y la *textura* es la disposición de los timbres (LaRue, 2004).

Todo sonido posible; altura, timbre, intensidad y textura, tiene propiedades con un equivalente numérico representado digitalmente mediante un código binario en sistemas de 4, 8, 16 y 32 bits (Károlyi, 1995; y Gómez, 2009).

La complejidad de los mecanismos de los seres vivos surgió como resultado de un proceso de selección natural por millones de años (Cazorla, et ál., 2009; y Alzate, 2013). Las simulaciones computacionales de la vida artificial operan en amplias escales de tiempo, factor determinante de complejización, en un proceso evolutivo abierto (Prigogine, citado por Maldonado, 2005; y Hernández, Niño y Hernández-García, 2016); y dentro de la visión futuro sonoro eliminan las limitaciones físicas para abrir la posibilidades teóricas de meta-cruces sonoros hacia la mutación: *cuerdas, maderas, metales, percusión, voces, sonidos puros, electrónicos, exóticos, concretos, extra-musicales y ambientales*, hacia cruces imposibles e interminables de transformación sonora, evolución y tiempo ligados a la irreversibilidad, timbres, texturas y dinámicas en evolución sin límites como cadenas de bits de recombinación estocástica en temporalidades múltiples.

La evolución del futuro sonoro se divisa en mundos virtuales sin limitaciones temporales hacia la indeterminación total de las cualidades del sonido en una espiral evolutiva infinita de selección, cruce y mutación.

Armonía inmunológica

La ciencia configura un mundo no-lineal y se manifiesta por medio de la tecnología, y (Maldonado y Osorio, 2013). El estridentismo fue un movimiento de vanguardia multidisciplinario latinoamericano, una revolución estética centrada en las posibilidades creativas de las nuevas tecnologías en la concepción de obras artísticas: *futurismo, ruido, temporalidades múltiples, interacciones humano-maquina, ciborgs e instalaciones sonoras...* (Hoyos y Hernández, 2016).

La armonía comprende todas las relaciones de combinaciones verticales sucesivas de sonidos. Las relaciones armónicas ejercen efectos intrínsecos de tensión, áreas de estabilidad e inestabilidad en relación a un punto de partida, operan en varios planos de numerosos componentes y cambian radicalmente entre los diferentes compositores, escuelas y épocas (LaRue, 2004). Los sistemas inmunes artificiales de la inteligencia artificial evolutiva son sistemas bio-inspirados de cooperación, de ecología de acciones, y exploran caminos que la ingeniería tradicional nunca imaginó, más allá de una analogía (Maldonado y Gómez-Cruz, 2011; y Hoyos y Hernández, 2016).

En el escenario de las ciencias de la complejidad el arte opera con lógicas no-clásicas, la inexistencia de una única verdad y la irreversibilidad del tiempo, son conceptos fundamentales en las ciencias de la complejidad (Maldonado y Gómez-Cruz, 2011; y Hernández y Niño, 2013). Nuevas posibilidades teóricas del futuro de la música hacia diálogos sonoros estridentistas son reveladas: la incorporación del cambio, la creación y la destrucción en el plano sonoro hacia una armonía de retroactividad de operación paralela y distribuida; estructuras sonoras simultáneas en un proceso evolutivo de forma autónoma de selección negativa, una obra viva en batalla por la subsistencia, una armonía bio-inspirada de selección inmunológica adaptativa, no-lineal y en no-equilibrio.

Discursos flotantes sonoros

La melodía es el perfil formado por cualquier conjunto de sonidos, sucesión constante entre puntos altos y bajos, conducción melódica hacia la unificación y el clímax, una línea estructural para exponer divisiones dentro de un espectro sonoro: semejanza y contraste; reiteración y variación, los patrones universales de creación musical (LaRue, 2004; y Leongómez, 2008).

Los *discursos flotantes* son una nueva forma de expresión de ante-narrativa (Cáceres, 2016). Historias progresivas de posibilidades abiertas con multiplicidad de tiempos de construcción no-lineal, colectiva e impropia, trascendiendo el umbral lógico hacia mundos posibles en el instante anterior a estar estructuradas y construir una narrativa (Jorgensen, 2010, citado por Cáceres, 2016), y funcionan como ante-sistemas abiertos distantes al equilibrio (Kosko, 1993; y Boje, 2013, citado por Cáceres, 2016).

Según Stephen Hawking (1994) “un objeto no posee simplemente una sola historia, sino todas las historias posibles” (Estrella, 1998, p. 78). A partir de una acción se bifurcan distintas líneas donde se presentan diversos horizontes como posibilidades desde la lógica difusa y sus características polivalentes, un fenómeno de diversidad en contraste a procesos lineales y deterministas de la lógica clásica (Imbert, 1990, citado por Santamaría, 2002, citado por Cáceres, 2016; y Briceño, 2004).

Los sistemas difusos de la inteligencia artificial evolutiva abren el portal hacia los *discursos flotantes sonoros*, ante-narrativas musicales multidireccionales en expansión, todas posibles hacia la diversidad creciente abierta y colectiva en espacios simulados de liberación sonora, historias musicales sin fin, una nueva dimensión de expresividad musical.

Música rizomática

Rizoma es un concepto creado por Deleuze y Guattari (2002), un sistema espaciotemporal anti-jerárquico complejo heterogéneo de características similares al sistema cerebral con multiplicidad de infinitas conexiones autopoiéticas para generar una red en constante metamorfosis hacia la creación de nuevos mapas corticales (Deleuze y Guattari, 2005; y Acosta, Leyva y Castañeda, 2016). El sistema cerebral se reorganiza a través de *neuroplasticidad*, *transformación estructural* y *neurogénesis*: capacidad del cerebro de generar nuevas neuronas (Gould, et ál., 1999). La sincronía cerebral se ejecuta de forma global hacia operaciones complejas al unísono, no existe una jerarquía vertical (Martínez, 2013, citado por Acosta; y Leyva y Castañeda, 2016). Las redes neuronales artificiales son un modelo de aprendizaje y procesamiento automático (Acosta, Leyva y Castañeda, 2016), un sistema de interconexión de neuronas para producir un estímulo de salida, colectividad de elementos en funciones específicas (Gómez-Cruz, 2013).

El ritmo es el resultado de las combinaciones de tiempo e intensidad a través de todos los elementos musicales hacia el crecimiento formal. Las funciones rítmicas son relativas para cada estilo y cada compositor en el espectro total de su obra. Los tres estados del ritmo son: *tensión*, *distención* y *transición* (LaRue, 2004); y se han desarrollado obras artísticas basadas en redes neuronales artificiales de masivo paralelismo, destacan: Hermann Hild, Johannes Feulner y Wolfram Menzel en la aplicación a la composición musical (Padilla, 2012).

Música rizomática, infinidad de sinapsis sonoras por medio de redes neuronales artificiales direccionadas al ritmo del futuro musical y sonoro, un sistema de comportamiento estocástico de interconexión total de multiplicidad de obras de auto-creación hacia la disolución de las estructuras deterministas y la concepción de música de creación autopoiética.

Expansión sonora sin límites

El pensamiento kantiano en el espectro del romanticismo consideraba de sublimidad los juicios estéticos de la naturaleza como inspiradora de temor: “*caos en su más salvaje e irregular desorden y destrucción... grandeza y fuerza*” (Kant citado por Yeregui, 2016, p. 173). En medio de la estética de la complejidad la naturaleza no es una amenaza en la obra de artistas en el campo del arte electrónico, sino un circuito de intercambio de acción directa, naturalizada y reactiva, una alternativa de participación en el ciclo vital de mundos virtuales; sin sentimientos de sublimidad ligados a lo natural donde la no linealidad es la regla (Maldonado, 2013; Maldonado y Osorio, 2013; y Hoyos y Hernández, 2016).

La auto-organización constituye una característica fundamental de la inteligencia colectiva de la naturaleza, emergente de la colaboración y competencia de formas colectivas de existencia, una inteligencia evolutiva superior a la humana (Maldonado y Gómez, 2011). La optimización de nuevas formas organizativas en ausencia de control externo para alcanzar elevadas capacidades de adaptación dentro de una población (Toca, 2013). La música es movimiento, un proceso continuo de expansión, el *crecimiento formal* es el quinto elemento musical, el resultado de la combinación de sonido, armonía, melodía y ritmo (LaRue, 2004).

Las técnicas principales de la inteligencia de enjambres son aplicadas en procesos de optimización en diversas áreas: *análisis, transporte, ingeniería, diagnóstico, distribución y redes...*(Toca, 2013); y para la visión del futuro abren los límites de las posibilidades teóricas de creación musical adaptativa, crecimiento formal hacia una expansión sonora a-sublime, no-lineal y sin límites, una biosfera sonora de co-evolución, sistemas abiertos de *creación musical colectiva descentralizados* basado en la inteligencia de enjambre y la co-creación.

Las posibles combinaciones de técnicas para formar sistemas híbridos de *sistemas difusos*, *redes neuronales artificiales*, *sistemas inmunes artificiales*, *computación evolutiva e inteligencia de enjambres*; y la interacción con las *técnicas probabilísticas* constituyen el campo de la *computación suave* (Engelbrecht, 2007, citado por Maldonado y Gómez-Cruz, 2010; y Gómez-Cruz, 2013). Los orígenes de la computación suave se basaron en la triada: aprendizaje, redes neuronales artificiales; imprecisión, lógica difusa; e incertidumbre, técnicas probabilísticas (Gómez-Cruz, 2013).

Actualmente la computación suave converge hacia la inteligencia artificial evolutiva y la búsqueda de soluciones a problemas de complejidad creciente por medio de *sistemas bio-inspirados*, *computación bio-inspirada* y *optimización bio-inspirada* (Floreano y Mattiussi, 2008; Komosinski y Adamatzky, 2009; y Lewis, Mostaghim y Randal, 2009, citado por Maldonado y Gómez-Cruz, 2010b; y Gómez-Cruz, 2013).

En los campos de creación del arte la vida artificial es creciente y hace posibles nuevas formas de arte plástico y musical (Korb, Randall & Hendtlass, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013). Los mundos virtuales del arte electrónico, usados en procesos de simulación de la vida artificial y los sistemas bio-inspirados constituyen una teoría abierta en construcción hacia la creatividad creciente, artistas e ingenieros crean especies artificiales, formas de vida radicalmente diferentes y desconocidas (Hernández-García, 2016).

La simulación computacional opera en la complejidad, y su interpretación es, en términos de cualidad y valor estético, espacios de incertidumbre y nuevas formas de creación hacia mayores grados de libertad (Maldonado y Osorio, 2013).

La apertura de horizontes de posibilidades delimitadas dentro de un sistema endoestético⁷ es un diálogo abierto: *ciencia, filosofía, arte, estética y sistemas computacionales*, mundo de evolución sin fin de características exocéntricas externas al *sensorium* humano (Hernández, 2005; Maldonado y Gómez-Cruz, 2011; Hernández y Niño, 2013; y Hernández-García, 2016). Las condiciones tecnológicas de la creación artística están enlazadas con los cambios globales de la sociedad del conocimiento y la expansión de las telecomunicaciones, tecnologías de inteligencia, *redes complejas* (Lévy, citado por Parente, 2005), espacios complejos de interconexión donde artistas y científicos interactúan en relaciones de interdependencia con lo *macroscópico*, lo *microscópico*, lo *nanotecnológico*, y lo *biomolecular* (Niño, 2016). Las redes modernas de comunicaciones forman una infraestructura fundamental para la sociedad (Giraldo, 2010); y constituyen un sistema complejo compuesto por componentes de interacción simultánea: *alta no-linealidad potencialmente caótica, fractalidad y multi-fractalidad, lógicas libres de escala, auto-organización al límite y leyes de potencia distribuida* (Alzate, 2013). En particular la *revolución de internet*, red de redes, difusión universal de información de forma transparente a partir de principios de modularidad⁸ planteados hace cuatro décadas (Giraldo, 2010). En la complejidad, la metodología modular de características de *linealidad, homogeneidad y gaussianidad*, se ha empezado a denominar “reduccionismo mecanicista” (Giraldo, 2010, p. 186). En contraste la *ciencia de redes complejas* surge a comienzos del siglo XXI: *heterogeneidad y diversidad* en las conexiones de procesos co-evolutivos de interconexión para la emergencia de un todo auto-organizado entre la dinámica de la red y la arquitectura de sus relaciones (Duque, 2017).

⁷ Endoestética. “Modelo teórico para abarcar las diferentes manifestaciones de sistemas interactivos y artificiales” (Giannetti, 2005, p. 96, citado por Duque, 2017, p. 138).

⁸ Modularidad. “Enfoque simple de la metodología ingenieril... separar un problema grande en varios pequeños, resolver cada uno de manera independiente, y ensamblar las soluciones parciales para obtener así la solución del problema general (Giraldo, 2010, p. 182).

Los modelos óptimos de redes complejas provienen de los sistemas biológicos: *cerebro*, *sistema inmune* y *ecosistemas...* (Maldonado y Gómez, 2011; y Solé, 2009, citado por Gómez-Cruz, 2013), y se integran a investigaciones de la vida artificial en múltiples relaciones de posibilidades por explorar (Lenaerts, et ál., 2011, citado por Gómez, 2013).

El artista Maurice Benayoun convierte fluctuaciones económicas en pronósticos de emociones: datos y conexiones de alcance global modelados a escala planetaria (Niño, 2016).

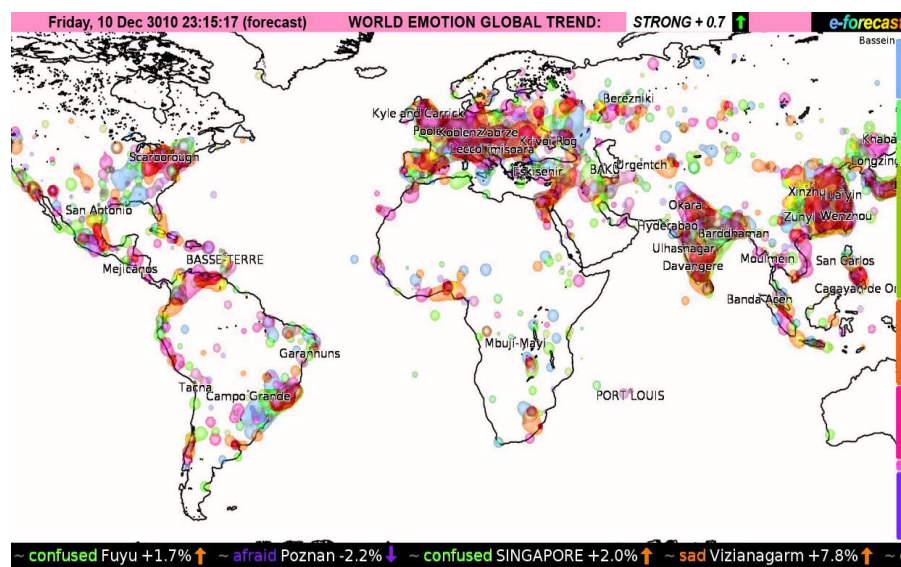


Figura 19. La Météo des émotions du monde por Maurice Benayoun.
 Fuente: <http://benayoun.com/moben/2010/12/01/emotion-forecast/>

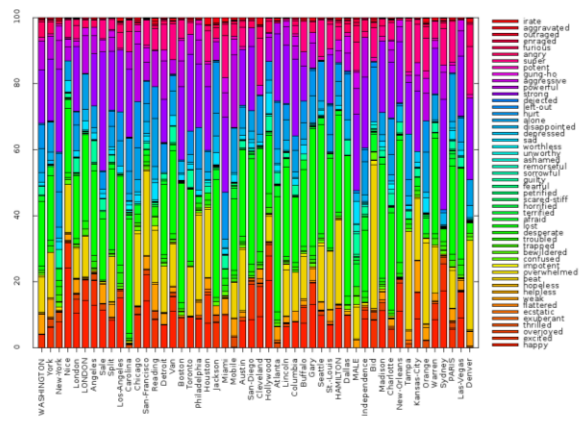


Figura 20. Emotion Forecast, installation interactiva por Maurice Benayoun.
 Fuente: <http://benayoun.com/moben/2010/12/01/emotion-forecast/>

Los sistemas biológicos han desarrollado por millones de años de evolución: *adaptabilidad, alta seguridad, disponibilidad, escalabilidad y autonomía* (Alzate, 2013), características ideales para el control de la complejidad en las redes de comunicaciones. Actualmente teóricos de las ciencias (Wokoma, Sacks y Marshall, 2002) consideran la posibilidad de aplicar métodos bio-inspirados de los sistemas complejos para el control de las redes modernas de comunicación (Alzate, 2013), implementando técnicas y modelos de la inteligencia artificial evolutiva: *redes neuronales artificiales, sistemas difusos, algoritmos genéticos e inteligencia de enjambres* (Fritsch, 1994; Ghosh, Razouqi, Schumacher y Celmins, 1998; Ferentinos y Tsiligridis, 2007; Alzate y Suárez, 2006; citado por Alzate, 2013).



Figura 21. Un instante de conectividad en internet.
Fuente: Maldonado y Alzate, 2012, p. 111.

La hibridación paradigmática de la inteligencia artificial evolutiva, el aprendizaje automático de la inteligencia artificial, el comportamiento emergente de las simulaciones computacionales de la vida artificial, la transformación de datos puros a datos sonoros, y la meta-hibridación y aplicación de sistemas bio-inspirados las redes complejas de comunicaciones, fundamentan el máximo planteamiento de la visión teórica del futuro sonoro denominado *red global de creación sonora*, un macro-organismo artificial alimentado por redes soportado en las simulaciones de la vida artificial hacia la creación, evolución y liberación del fenómeno musical a partir de la transformación de datos globales infinitos en obras sonoras abiertas de fronteras difusas: el inicio de la búsqueda de una obra sonora transcendental a escala planetaria y radicalmente transgresiva hacia el futuro de la música.

Reflexión

Inteligencia artificial, inteligencia artificial evolutiva, vida artificial, redes complejas y ciencias de la complejidad, representan el inicio de procesos híbridos polivalentes de creatividad creciente de las futuras transformaciones del fenómeno musical dentro de la visión teórica del *futuro sonoro: mutación sonora, armonía inmunológica, discursos sonoros flotantes, música rizomática, expansión sonora sin límites y red global de creación sonora*, representan un campo visionario propositivo de transgresión a la creación musical desde la hibridación de los paradigmas de la inteligencia artificial evolutiva basada en la computación suave hacia un meta-sistema adaptativo integrado a las redes complejas de comunicaciones de crecimiento exponencial; fenómenos sonoros autopoieticos de complejidad creciente flotando en la infinitud del ciberespacio: una visión del futuro de la música, una visión transdisciplinar hacia campos emergentes de creación musical a partir de la transformación de millones de datos globales a datos sonoros en obras evolutivas insurgentes al reino de la simulación a escala planetaria, un macro-organismo artificial de liberación sonora.

Simulación, virtualización y transformación de datos, es la búsqueda abierta no-lineal de lo imposible hacia mundos sonoros emergentes trans-humanos de creación abierta sin límites espacio-temporales: diversidad, complejidad y multiplicidad al límite del caos, más allá de la composición musical de carácter antropocéntrica: *nano-escala y sonidos celulares, redes y biosferas sonoras, sonido y multi-temporalidad, bifurcaciones y ambivalencias sonoras, diálogos de integración audiovisual, meta-datos y meta-cruces sonoros, fractalidad y multi-fractalidad sonora, meta-creación sonora estocástica y multi-capas sonoras, sonido evolutivo y extremos de escalas sonoras, composición autónoma evolutiva y sonido de datos infinitos...* la transición del meta-artista hacia el futuro de la música de naturaleza post-humana...

Referencias

- Abe, K., Belen, M. y Weil, B. (2012). *Datamatics book*. Venecia: Charta.
- Alzate, M. (2013). Internet: ejemplo de complejidad en sistemas tecnológicos modernos. En C. Maldonado (ed.). *Derivas de complejidad. Aplicaciones y mediciones* (pp. 7-206). Bogotá: Universidad del Rosario.
- Aubert, J. y Schomberg, R. (1986). *Inteligencia Artificial*. Madrid: Paraninfo.
- Bartz-Beielstein, T. (2006). *Experimental Research in Evolutionary Computation: The New Experimentalism. Natural Computing Series*. Berlin: Springer-Verlag.
- Baudrillard, J. (1985). *Simulacres et simulation*. Paris: Galilèe.
- Bedau, M. (2003). *Artificial Life. The Blackwell Guide to the Philosophy of Information and Computing*. Malden: Blackwell Publishing.
- Bentley, P.J. (2002). *Creative Evolutionary Systems*. Nueva York: Academic Press.
- Braha D., Minai, A. & Bar-Yam, Y. (Eds.). (2006). *Complex Engineered Systems: Science Meets Technology*. Cambridge, MA: Springer-Verlag.
- Briceño, C. (2004). *Redes Neuronales Artificiales. Lógica Difusa. Geometría de Fractales. Serie de Procesos Industriales, No. 2*. Cali: Cenicaña.
- Cáceres, T. (2016). Los códigos flotantes en la ante-narrativa del mundo de la termodinámica. En I. Hernández (Ed.). *Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas* (pp. 101-126). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

- Caicedo, E. y López J. (2009). *Una aproximación práctica a las Redes Neuronales Artificiales*. Cali: Universidad del Valle.
- Cazorla, M., Colomina, O., Escolano, F., Gallardo, D., Rizo, R. y Satorre, R. (1999). *Técnicas de Inteligencia Artificial*. Alicante: Universidad de Alicante.
- D`Negri, C.E. y De Vito, E.L. (2006). *Introducción al pensamiento aproximado: lógica difusa*. Revista Argentina de medicina respiratoria, 4, 126-136.
- Dasgupta, D. & Attoh-Okine, N. (1997). *Immunity-Based Systems: A Survey*. Proceedings of the IEEE International Conference in Systems, Man and Cybernetics, 1, 369-374.
- Dasgupta, D. (Ed.). (1998). *Artificial Immune Systems and Their Applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Dasgupta, D. & Niño, L. F. (2009). *Immunological Computation: Theory and Applications*. Boca Ratón: CRC press.
- De Castro, L. N. & Timmis, J. (2002). *Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach*. London: Springer-Verlag.
- De Wolf, T. & Holvoet, T. (2005). *Emergence versus Self-organization*. Berlin: Pringer-Verlag.
- Duguet, A. (1988). *“Quelle méthodologies pour un nouvel objet?”*. En Vidéo. Montreal: Artexes.
- Duque, R. (2017). *La investigación como biosfera autoorganizada: diálogos entre psicología clínica, ciencias de la complejidad y estética de los mundos posibles*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Engelbrecht, A. (2007). *Computational Intelligence: An Introduction* (2° Ed.). Chichester: John Wiley & Sons.

Estrella, J. (1998). *El universo hoy*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.

Floreano, D. & Mattiussi, C. (2008). *Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies*. Cambridge, MA: MIT Press.

García, A. (2017). *Inteligencia Artificial: Fundamentos, práctica y aplicaciones*. Madrid: Alfaomega.

Garzón, N. y Torres, L. (2008). *Algoritmos genéticos*. Bogotá: Universidad Autónoma de Colombia.

Giannetti, C. (2005). Estéticas de la simulación como endoestética. En I. Hernández (Comp.). *Estética, ciencia y tecnología: creaciones electrónicas y numéricas* (pp. 85-97). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Gómez-Cruz, N. (2013). *Vida artificial: Ciencia e ingeniería de sistemas complejos*. Bogotá: Universidad del Rosario.

Graubard, S. (Comp.). (1999). *El nuevo debate sobre inteligencia artificial. Sistemas simbólicos y redes neuronales*. Barcelona: Gedisa.

Gutiérrez, J. (2005). Estimación de la calidad del agua con macroinvertebrados acuáticos y redes neuronales artificiales (RNA). En C. Maldonado (Comp.). *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad* (pp. 145-161). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.

Harari, Y. (2016). *Homo Deus. Breve historia del mañana*. Bogotá: Debate.

Haton, J. y Haton M. (1991). *La inteligencia artificial. Una aproximación*. Buenos Aires: Paidós.

- Hecht-Nielsen, R. (1998). *Neurocomputing: Picking the human brain*. IEEE Computer Society Press Technology Series. p. 13-18.
- Hernández, I. & Niño, R. (Eds.). (2013). *Estética y sistemas abiertos. Procesos de no equilibrio ante el arte, la ciencia y la ciudad*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, I. (2002). *Mundos virtuales habitados. Espacios electrónicos interactivos*. Bogotá: Ceja.
- Hernández, I. (Comp.). (2005). *Estética, ciencia y tecnología: creaciones electrónicas y numéricas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, I. (Ed.). (2016). *Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, I. y Niño, R. (2010). *Estética, vida artificial y biopolítica*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, I. y Niño, R. (Eds.). (2013). *Estética y sistemas abiertos. Procesos de no equilibrio ante el arte, la ciencia y la ciudad*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández, I., Niño, R. y Hernández-García, J. (2016). Creación e innovación como proceso evolutivo abierto en los mundos virtuales inmersivos. En I. Hernández (Ed.). *Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas* (pp. 15-50). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Bogotá: McGraw-Hill.
- Hodges, A. (1998). *Alan Turing: Un filósofo natural*. Bogotá: Norma.

Hofstadter, D. (1987). *Godel, Escher, Bach: Un eterno y grácil Bucle*. Barcelona: Tusquets.

Holland, J. (2004). *El orden oculto: de cómo la adaptación crea la complejidad*. México: Fondo de Cultura Económica.

Johnson, S. (2003). *Sistemas emergentes. O qué tiene en común hormigas, neuronas, ciudades y software*. Madrid: Fondo de Cultura Económica.

Károlyi, O. (1995). *Introducción a la música del siglo XX*. Madrid: Alianza Editorial.

Kauffman, S. (2003). *Investigaciones: complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*. Barcelona: Tusquets.

Komosinski, M. y Adamatzky, A. (2013). *Artificial Life Models in Software*. London: Springer-Verlag.

Kosko, B. (1995). *Pensamiento borroso. Una nueva ciencia de la lógica borrosa*. Barcelona: Grijalbo.

La Ferla, J. (2005). Fly Utopia!: Las artes mediáticas interactivas correr alma. En I. Hernández (Comp.). *Estética, ciencia y tecnología: creaciones electrónicas y numéricas* (pp. 310-322). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

Laddaga, M. (2006). *Estética de la emergencia*. Buenos Aires: Adriana Hidalgo.

Langton, C. (1992). *Life at the Edge of Chaos. Artificial life II* (Vol. X, pp. 41-91). Rewood City: Addison-Wesley.

LaRue, J. (2004). *Análisis del estilo musical*. Barcelona: Ideas books, S.A.

- Lazlo, E. (2008). *El cambio climático. Cómo el nuevo paradigma científico puede transformar la sociedad*. España: Kairós.
- Lejewski, C. (1967). *Jan Lukasiewicz*. Mac Millan. Nueva York: Encyclopedia of philosophy 5: p. 104-107
- Lewis, A., Mostaghim, S. & Randal, M. (eds.). (2009). *Biologically-Inspired Optimisation Methods: Parallel, Systems and Applications*. Berlin: Springer-Verlag,
- Llinás, R. (2002). *El cerebro y el mito del yo: el papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos*. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
- Luhmann, N. (1981). "The Improbability of Communications". *International Social Science Journal*, 23, 1.
- Machado, A. (2016). El imaginario numérico. En I. Hernández (Comp.). *Estética, ciencia y tecnología: creaciones electrónicas y numéricas* (pp. 47-69). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Maldonado, C. (2005). *Ciencias de la complejidad: ciencias de los cambios súbitos*. Odeón, 2, 85-125.
- Maldonado, C. (2012). *Derivas de complejidad. Fundamentos científicos y filosóficos* (pp. 7-102). Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, C. (2016). La complejidad de la experiencia humana. En I. Hernández (Ed.). *Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas* (pp. 89-100). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

- Maldonado, C. (Comp.). (2005). *Complejidad de las ciencias y ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Maldonado, C. y Gómez, N. (2011). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, E. y Gómez, N. (2010). *El mundo de las ciencias de la complejidad*. Documento de Investigación No. 76. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, E. y Gómez, N. (2010b). *Modelamiento y simulación de sistemas complejos*. Documento de Investigación No. 66. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Maldonado, E. y Osorio, S. (2013). *Ciencias de la complejidad, desarrollo tecnológico y bioética*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Matras, J. (1986). *El sonido*. Barcelona: Orbis.
- Michelin, S. (2005). Dominio público. En I. Hernández (Comp.). *Estética, ciencia y tecnología: creaciones electrónicas y numéricas* (pp. 202-212). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Mishkoff, H. (1988). *A fondo. Inteligencia Artificial*. Madrid: Anaya Multimedia.
- Mitchell, M. (1998). *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A guided Tour*. Oxford: Oxford University Press.
- Morin, E. (1999). *La cabeza bien puesta: repensar la reforma, reformar el pensamiento*. Buenos Aires: Visión.
- Mukesh, D. (1997). *¿Hate statistics? Try neural network*. March. Chem. Eng. P. 96-104.

- Muños, Y. & De Castro, L. (2009). *Self-organization and Emergence in Artificial Life*. Journal of Experimental Theoretical Artificial Intelligence, 21, 273-292.
- Muñoz, M., López, J. y Caicedo, E. (2008). *Inteligencia de enjambres: sociedades para la solución de problemas (una revisión)*. Ingeniería e Investigación.
- Negrete, J. y González, É. (1992). *De la filosofía a la Inteligencia Artificial*. México D.F.: Megabyte.
- Niño, R. (2016). La no linealidad de la política. En I. Hernández (Ed.). *Estética de los mundos posibles: inmersión en la vida artificial, las artes y las prácticas urbanas* (pp. 69-88). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Olmeda, I. y Barba, S. (1993). *Redes Neuronales Artificiales: Fundamentos y aplicaciones*. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Padilla, V. (2012). *Probabilidad, Redes Neuronales e Inteligencia Artificial en Composición Musical*. Desarrollo de los Sistemas MusicProb y MusicNeural. Madrid: Universidad Rey Juan Carlos.
- Pagels, H. (1991). *Los sueños de la razón: el ordenador y los nuevos horizontes de las ciencias de la complejidad*. Barcelona: Gedisa.
- Prigogine, I. (1980). *From Being to Becoming*. San Francisco: Freeman.
- Quéau, P. (1986). *Éloge de la simulation*. Seyssel: Champ Vallon.
- Rich, E. y Knight, K. (1994). *Inteligencia Artificial*. Madrid: McGraw-Hill.
- Russell, S. y Norvig, P. (1996). *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno*. Edo. de México: Prentice Hall.

- Santamaría, E. (2002). *La incógnita del extraño. Una aproximación a la significación sociológica de la "inmigración no comunitaria"*. Barcelona: Anthropos.
- Searle, J. (1992). *The Rediscovery of the Mind*. Cambridge: MIT Press.
- Sheliepin, L. (2005). *Lejos del equilibrio: sinérgica, autoorganización, teoría de catástrofes*. Moscú: URSS.
- Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar teoría fundamentada*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Stewart, I. (1999). *El segundo secreto de la vida*. Barcelona: Crítica.
- Tiezzi, E. (2006). *La belleza y la ciencia. Hacia una visión integradora de la naturaleza*. Barcelona: Icaria.
- Vance, A. (2015). *Elon Musk: el creador de Tesla, Paypal y SpaceX que anticipa el futuro*. Bogotá: Paidós.
- Vega, J., Hoyos, Á. y Cuervo, R. (2013). Procesos creativos de traducción intermodal en las piezas miniperformance y partituras urbanas. En I. Hernández y Niño (Eds.). *Estética y sistemas abiertos. Procesos de no equilibrio ente el arte, la ciencia y la ciudad* (pp. 175-198). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Villamil, T. y Gómez-Cruz, N. (2009). *Ingeniería de sistemas complejos. Complejidad: Revolución científica y teoría*. Bogotá: Universidad del Rosario.
- Wallerstein, I. (2005). *Las incertidumbres del saber*. Barcelona: Gedisa.
- Weibel, P. (1995). "Realidad virtual: el endoacceso a la electrónica". En C. Giannetti (Ed.). *Media Cultura*. Barcelona: ACC L`Angelot.

Winston, P. (1994). *Inteligencia artificial*. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana.

Yeregui, M. (2010). *Autopoiesis: Huellas y derivas en el campo artístico*. En I. Hernández y R.

Niño (Eds.). *Estética, vida artificial y biopolítica* (pp. 105-132). Bogotá: Pontificia

Universidad Javeriana.