

NEA (New Electronic Assistant), un sistema para la co-creatividad computacional musical

Resumen

Este artículo presenta un sistema para la creatividad computacional colaborativa artística aplicada a la creación musical, llamado New Electronic Assistant (NEA). NEA es un sistema que puede aprender de estilos musicales en formato simbólico, generar piezas siguiendo los estilos aprendidos y transformar sus resultados a través de la interacción en tiempo real. A lo largo del texto, NEA es introducido y enmarcado dentro de los conceptos de la creatividad colaborativa computacional. Para analizar el desempeño de NEA en entornos reales de co-creación, se realiza un proceso de generación sistemática de piezas musicales, de las que se extraen fragmentos que son usados en un experimento de validación con humanos. Los resultados del experimento sugieren altos niveles de eficiencia en el proceso de co-creación, relacionados con el tiempo de producción de nuevas piezas, la sorpresa expresada por los participantes del experimento y el valor percibido de las piezas generadas por NEA. El experimento concluye con una sección donde se comentan detalles de las piezas percibidas con mayor valor por los participantes del experimento. Al final del texto se hace una reflexión sobre el rol de los sistemas generativos, que requieren interacción humana, en procesos reales de creación colaborativa.

Daniel Gómez-Marín
Doctor en Tecnologías de la
Información y las Comunicaciones
Universidad Icesi
Cali, Colombia
Correo electrónico:
dgomez@icesi.edu.co
ORCID: orcid.org/0000-0001-7694-3919
Google Scholar

Recibido: septiembre 14 de 2021

Aprobado: junio 30 de 2022

Palabras clave:
música, creatividad colaborativa
computacional, interacción
humano-computador,
inteligencia artificial.



NEA (New Electronic Assistant), a system for musical computational co-creativity

Abstract

This article presents a system for artistic collaborative computational creativity applied to music creation called the New Electronic Assistant (NEA). NEA is a system that can learn musical styles in a symbolic format, generate pieces following the learned styles and transform the results through real time interaction. Throughout the text, NEA is introduced and framed within the concepts of computational collaborative creativity. To analyze the performance of NEA in real co-creation scenarios, a process of systematic generation of musical pieces is carried out from which fragments are extracted that are used in a validation experiment with human subjects. The results of the experiment suggest high levels of efficiency in the co-creation processes, related to the production time of new pieces, the surprise expressed by the participants of the experiment and the perceived value of the pieces generated by NEA. The experiment concludes with a section where the details of the pieces perceived as having the highest value by the participants in the experiment are discussed. The text closes with a reflection on the role of generative systems that require human interaction in real processes of collaborative creation.

Palabras clave:
music, computational co-creativity, human-computer interaction, artificial intelligence.

Introducción

En la actualidad, el dominio de la creatividad computacional aplicada a la música es rico y diverso, especialmente respecto a las variadas intenciones y necesidades identificadas por diseñadores de sistemas y, por ende, las herramientas construidas y entrenadas por ellos. Si aceptamos la idea de que algunos de los sistemas computacionales existentes para la creatividad musical pueden tener comportamientos susceptibles de ser considerados creativos, la *autonomía* es una dimensión esencial para entender estos sistemas, revelando el grado de involucramiento humano en el proceso creativo que estos emprenden.

La autonomía de los sistemas musicales generativos abarca un rango amplio y continuo. En el extremo más bajo encontramos sistemas generadores de ideas (quizás amplificadores de la creatividad) que autónomamente producen fragmentos musicales no terminados como materia prima con la que compositores y productores trabajan para crear composiciones más elaboradas (Ó Nuanáin et al., 2017; Collins, 2018; Roberts et al., 2019). En un nivel superior de autonomía existen sistemas que generan piezas musicales completas sin intervención humana alguna en el proceso (por ejemplo, AIVA¹ o Amper²).

Los sistemas computacionales creativos que se encuentran en el rango medio de autonomía (es decir, que requieren algún tipo de operación humana) son usados en el contexto de la creatividad computacional colaborativa o, abreviado, co-creatividad computacional (CCC en el resto de este texto). La CCC es un amplio campo de investigación en el que se intersecan la inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés) y la interacción humano-computador (HCI, por sus

¹ <https://aiva.ai/>

² <https://www.ampermusic.com/>

siglas en inglés), estudiando sistemas que pueden usarse para mejorar procesos creativos, no solo en las artes, sino también en cualquier campo posible, desde la poesía (Hämäläinen, 2018), pasando por la arquitectura (Chaillou, 2020), hasta la toma de decisiones de negocio (Wang et al., 2015).

El New Electronic Assistant (NEA) es un sistema musical generativo cuyo funcionamiento encaja en la región de media autonomía, pues su interacción involucra a un humano en el proceso de creación. NEA es una aplicación para la generación y transformación de melodías, basadas en el aprendizaje de estilos, diseñada para interactuar en tiempo real con fragmentos musicales.

En general, los sistemas digitales para la generación de fragmentos musicales basados en procesos de inteligencia artificial (IA) pueden agruparse en dos grandes familias: una que está basada en la descripción acústica de la música, es decir, en representaciones digitales del sonido, y otra que se basa en la descripción simbólica de la música, basada en la representación de los eventos sonoros como las notas, su duración, altura e intensidad. NEA se inscribe en el segundo grupo generando música simbólica en tiempo real, es decir, partituras digitales.

476

Desde una visión tecnológica del dominio de la IA, puede decirse que los sistemas inteligentes de generación musical simbólica han evolucionado de manera rica y diversa a la par con los principales métodos de análisis informático en los diversos períodos de este dominio. Inicialmente, dichos sistemas han estado fundamentados en métodos de IA basada en grafos y probabilidades (Hiller y Baker, 1964; Ames, 1989) que aún se mantienen vivos (Catak et al., 2021; Glines, 2022) y que se expanden y fusionan hoy en día con técnicas contemporáneas de redes neuronales (Briot et al., 2020) como *LSTM* (Eck y Schmidhuber, 2002; Privato et al., 2022) o *transformers* (Shih et al., 2022).

Las siguientes secciones de este texto presentan en detalle la aplicación NEA y una evaluación de su uso en un contexto de co-creatividad computacional, basada en la audición de piezas creadas por este sistema. Para realizar dicha evaluación se usará un marco de referencia diseñado explícitamente para conceptualizar sistemas computacionales co-creativos (Kantosalo et al., 2020) que también será presentado más adelante. El texto finaliza con comentarios de cierre respecto a los sistemas computacionales co-creativos, las capacidades particulares del NEA en el contexto de la co-creación y los resultados del experimento.

New Electronic Assistant (NEA)

NEA funciona en el dominio simbólico de la música (análogo a las partituras) y, por lo tanto, no se basa en la representación acústica del sonido. Es decir, que la música es concebida como una colección de eventos sonoros definidos en el tiempo con altura y duración definidas. Aunque existen diversos formatos digitales diseñados para realizar notación musical simbólica como Open Sound Control —OSC— (Wright y Freed, 1997) o Musical Instrument Digital Interface —MIDI— (MIDI Manufacturers Association, 1996), se ha adoptado MIDI como el protocolo de notación de NEA ya que, a diferencia del OSC, MIDI viene implementado por defecto en la mayoría de hardware y software musical comercial.

NEA es un sistema basado en modelos de Markov restringidos (Pachet et al., 2011) capaz de extraer estilos musicales de corpus simbólicos (MIDI), generar material musical nuevo en el estilo (melodía y acompañamiento de acordes) y realizar transformaciones del material generado. Estas transformaciones operan en tiempo real en cinco niveles diferentes: afinación MIDI (transposición de semitono, cambio de octavas, ajuste de velocidad, ajuste de duración de las notas), estructura melódica (añadir o sustraer notas a una melodía, re-armonizar

la melodía a un cierto acorde), contorno rítmico (acentuar notas de acuerdo a la síncopa, redefinir el ritmo de una melodía hacia uno más metronómico o sincopado), métrica (ajustar las subdivisiones de los compases, cambio de la posición en la reproducción) y microdesviaciones temporales (incorporar *swing*) (Figura 1).

El uso de modelos estocásticos restringidos para crear secuencias musicales, como los que se usan en NEA, es tal vez una consecuencia de las reflexiones estéticas y filosóficas de la música elaboradas por Leonard B. Meyer (1957) en el siglo XX. Meyer sugiere que las mecánicas de la experiencia estética pueden describirse a través de un entramado de probabilidades obtenidas durante la exposición a un contexto determinado. En pocas palabras, quiere decir que ciertos procesos estéticos, como la selección de un elemento de secuencia musical, pueden describirse como un fenómeno estadístico, abriendo la puerta a la exploración del uso de modelos probabilísticos en la generación musical. Las aplicaciones basadas en modelos estocásticos restringidos (como las de NEA) son tal vez el punto más alto de esta línea de investigación (que ha evolucionado independiente de los avances de otras técnicas como redes neuronales, *deep learning*, LSTM y *transformers*) dando solución a uno de los problemas más recurrentes: la imposibilidad de guiar un proceso generativo basado en probabilidades sin estar limitado por la ausencia de observaciones en el corpus. En otras palabras, la posibilidad de obtener secuencias con elementos que no han sido previamente observados en el corpus.

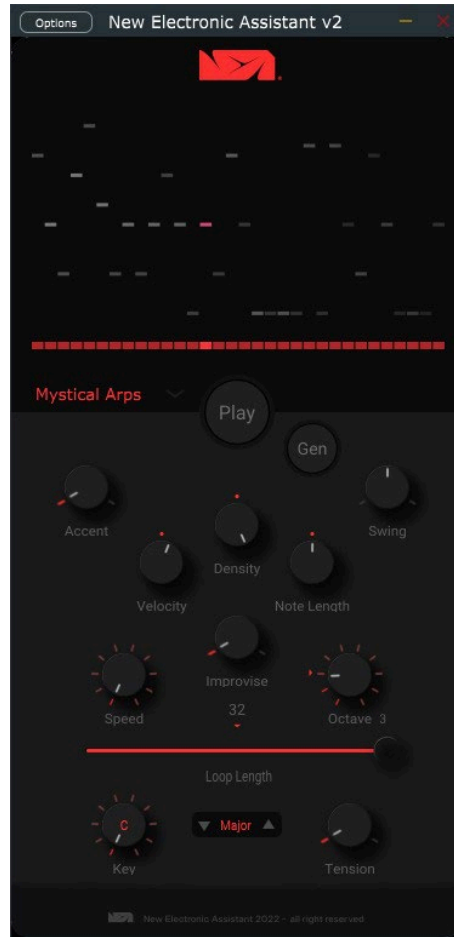


Figura 1. Interfaz del New Electronic Assistant (NEA). Arriba vemos la pantalla con las notas y la nota activa en color rosa. En la parte media se encuentran el selector de estilo (en este caso “mystical Arps” está activo) y el botón de generación. En la parte inferior todos los controles de transformación en tiempo real. Fuente: elaboración propia.

Un uso típico de NEA empieza seleccionando un estilo con el cual se entrena el sistema. Con el sistema entrenado, se generan bajo demanda nuevas melodías inspiradas en el estilo aprendido junto con sus progresiones de acordes acompañantes. NEA se pone en movimiento al recibir una señal de reloj MIDI a la cual responde enviando un flujo sincronizado de notas MIDI de la melodía generada y procesada. Como una instancia única, NEA resulta un asistente melódico muy útil para ser complementado con otros materiales, como acompañar patrones de batería u otros elementos musicales pregrabados o interpretados. No obstante, el uso monofónico de un NEA puede expandirse para lograr comportamientos más complejos y ricos. Dado que un arreglo de NEAs puede ser entrenado con estilos melódicos que desempeñan diferentes funciones musicales (i.e. líneas de bajo, temas melódicos principales, melodías vocales, etc.), tener dos o más NEAs paralelos generando melodías con diferentes estilos funcionales (y sus acompañamientos de acordes) es un método recursivo para una composición musical polifónica rica y atractiva. Conceptualmente, el funcionamiento de NEA puede dividirse en tres etapas secuenciales: aprendizaje, generación y transformación.

Aprendizaje

480

En esta etapa se selecciona el estilo con el que NEA debe ser entrenado. Esto consiste en apuntar hacia un archivo simbólico en formato MIDI del cual se desea extraer el estilo musical. En esta fase el archivo es analizado por el algoritmo de aprendizaje, el cual genera una estructura de datos en la cual se describen, desde un punto de vista computacional, aspectos que caracterizan el archivo analizado. Esta estructura de datos es suficiente para que, en la fase siguiente, un sistema pueda utilizarla dentro de un proceso de generación de nuevas melodías. El tiempo de aprendizaje de NEA es bastante corto y está en el rango de los pocos milisegundos. En la Figura 1 se aprecia el nombre del estilo “electro-leads” actualmente aprendido por NEA.

Generación

En esta fase el estilo, ya en forma de estructura de datos, es estimulado computacionalmente para que su respuesta sea una nueva melodía con rasgos similares a los encontrados en el estilo aprendido. En la interfaz (Figura 1) la generación se realiza presionando el botón azul con el nombre “gen”, creando una nueva melodía y presentándola en el *display* de la parte superior (las notas están en color rosa). Una vez la melodía está creada, NEA está en la capacidad de enviar la melodía vía MIDI a cualquier dispositivo conectado al recibir una señal que le indica la velocidad de reproducción.

Al generar una melodía, en paralelo se genera una sugerencia de acordes de acompañamiento y una descripción del conjunto de notas de la melodía. El acompañamiento describe progresiones de acordes que se ajustan a la melodía en diferentes niveles temporales: dos compases (se propone un acorde), un compás (se propone una progresión de acordes, uno por compás) y medio compás (se propone una progresión con un acorde cada medio compás). Es decir, al generar una melodía se obtienen tres opciones de acompañamiento, cada una anidada temporalmente en la anterior. Tanto la melodía, como su acompañamiento y conjunto de notas quedan disponibles para ser usadas por otros sistemas paralelos (ver, más abajo, sección múltiples NEA).

Transformación

Teniendo una melodía generada, luego de las dos fases anteriores, esta puede ser transformada en tiempo real de dos maneras: usando los parámetros disponibles en la interfaz (ver Figura 1) y/o re-armonizando la melodía. La re-armonización puede realizarse de dos maneras: ajustando la afinación de las notas de la melodía generada reemplazándolas por otras notas que

pertenecen a un acorde señalado vía MIDI; o enviando un nuevo conjunto de notas que reemplazan las actuales (por ejemplo, uno que llegue desde otra instancia de NEA).

Polifonía: múltiples NEA

Siendo NEA un generador monofónico, activar múltiples instancias de NEA es bastante útil para lograr arreglos polifónicos, en especial si varios NEA comparten algún tipo de información. Como se ha indicado anteriormente, cada nueva melodía viene acompañada de una armonización sugerida y de una lista de notas, y además es posible transformar la melodía indicando acordes o una lista de notas. Es decir, que el material adicional a la melodía que genera una instancia de NEA es un material que puede ajustar a otra (u otras) instancia, para así unificar un conjunto de melodías generadas. A través de esta propagación paralela de información a lo largo de un arreglo de NEA, usando una correcta selección de estilos de entrenamiento y ajustes en tiempo real, se pueden crear mezclas de material musical altamente creativas, con muy poco esfuerzo.

482

Como se ha explicado en la introducción, la interacción con un (o varios) NEA requiere que al menos un intérprete esté a cargo de la generación y transformación en tiempo real del material simbólico, ya que la música que sale de NEA carece de una estructura temporal. Es por esto que, para lograr un comportamiento más automatizado, se han planteado agentes para la transformación estructural y tímbrica expandiendo las funcionalidades nativas de NEA.

Agente de transformación tímbrica

Debido a que el sistema multi-NEA es un generador musical simbólico (es decir, que genera notas más no sonidos), se usan sintetizadores digitales para convertir las notas MIDI en señales acústicas. Se emplean dos enfoques diferentes para definir el timbre en las piezas creadas con NEA: primero, uno estático, en el que los parámetros de los sintetizadores son fijos y, como resultado, el timbre no es alterado durante el proceso generativo de las piezas. Un segundo enfoque, en respuesta al estático, busca exaltar una sensación dinámica de timbre al transformar los parámetros de los sintetizadores en tiempo real.

El abordaje estático consiste en diseñar diferentes configuraciones preestablecidas (*presets*), encargadas de procesar las señales MIDI de cada NEA y convertirlas en sonido. De otra parte, el abordaje dinámico consiste en el diseño e implementación de un modelo que responda al flujo de notas MIDI generado por un arreglo de NEA. Este enfoque pretende recrear artificialmente el escenario de un intérprete que esculpe el timbre de una pieza musical, la cual es generada por una entidad diferente, no necesariamente de naturaleza maquina³. Tal vez, un buen ejemplo de esta dinámica son las transformaciones de timbre en tiempo real ejecutadas por Malcolm Cecil de las interpretaciones de sintetizadores de Stevie Wonder (Pinch y Trocco, 2004). Como un primer paso para simular el proceso cognitivo de un músico que transforma con sintetizadores el sonido de un flujo musical simbólico (particularmente bajo la circunstancia de desapego del proceso generativo), se definen algunas características que informan sobre el estado temporal del flujo. Estas toman la forma de descriptores MIDI.

³ Este escenario, en el cual los humanos toman control de la parte “divertida” y dejan algo del resto del trabajo a las máquinas, ha sido descrito por diferentes autores y es bien ejemplificado por Max Matthews al describir el concepto detrás del *radio baton* (Mathews, 1991). También, es un estado cognitivo bien descrito en la teoría del *Flow* (Csikszentmihalyi et al., 2014), el cual puede observarse en la experiencia envolvente de creación musical con sintetizadores modulares.

Descriptores MIDI en tiempo real

Se han diseñado entonces cuatro descriptores MIDI con el fin de caracterizar en tiempo real la señal MIDI generada e informar el subsecuente sistema de modelado de timbre. Estos descriptores se basan en la siguiente información, la cual se presume relevante para un sintetista humano de sonido:

- ¿Cuántas notas están activas actualmente en el flujo MIDI conectado al sintetizador?
- ¿Qué tan largas son estas notas?
- ¿Cuáles son las notas más altas y más bajas, de las activas actualmente?
- ¿Cuál es el rango de tono entre la nota más alta y la más baja?

Transformación del timbre en tiempo real

Los cuatro descriptores MIDI son procesados por un modelo heurístico que mapea algunos parámetros de los sintetizadores digitales encargados de producir los sonidos de las notas generadas por NEA. Es el resultado de un procedimiento de ensayo y error que no obedece a una teoría científica o modelo conceptual específicos, pero representa una parte del flujo de información de la vida real a la que un sujeto de modelado de timbre está expuesto. En la práctica, esta capa mapea descriptores MIDI a valores de MIDI *control change*, de manera que los cambios temporales del proceso generativo simbólico se convierten en respuestas en dominio de timbre. A pesar de la naturaleza experimental de los mapeados (e incluso de los descriptores), se evidenció que esta capa resulta valiosa para mejorar la calidad del sonido de las piezas y la sensación dinámica de todo el sistema.

Creatividad computacional colaborativa

NEA se encuentra dentro del área amplia de la creatividad computacional (CC), pero, de manera más precisa, dada su autonomía de nivel medio (descrita en la introducción), en la región de la co-creatividad computacional (CCC): la baja autonomía de un sistema debe balancearse con la colaboración humana. Tradicionalmente, la creatividad se ha estudiado desde una perspectiva humana (Boden, 2009; Csikszentmihalyi, 2013), pero cuando los sistemas computacionales se involucran en el proceso creativo, emergen perspectivas más técnicas. Una definición de creatividad, propuesta por Boden (2009), ha sido particularmente prevalente en la literatura sobre el tema, dada su capacidad de moverse entre disciplinas humanas y técnicas. Boden definió la creatividad como la habilidad para obtener ideas novedosas, valiosas y sorprendentes y la describió en términos de espacios conceptuales (Gärdenfors, 2004). Esta teoría sobre la creatividad ha sido expandida y formalizada matemáticamente (Wiggins, 2006) y ha permanecido como el modelo establecido de creatividad en el dominio de la creatividad computacional.

Co-creatividad computacional (CCC)

La CCC es un subcampo de la CC, en el cual los humanos comparten roles creativos con las máquinas. Ha sido definida como un proceso creativo en el que más de un participante colabora activamente y uno de ellos es computacional (Jordanous, 2017); o como un proceso donde un humano y un computador hacen contribuciones creativas, mutuamente influyentes, a una obra (Davis, 2013, p. 9). Las primeras descripciones de la CCC plantean diferentes tipos de co-creatividad computacional: “computador como niñera”, “computador como amigo por correspondencia” y “computador como socio” (Lubart, 2005, p. 366).

Recientemente, se ha propuesto un marco estructural robusto para entender y conceptualizar la CCC (Kantosalo et al., 2020). En dicho marco, se describen las dinámicas de interacción de un sistema de CCC en tres niveles: modalidades, estilos y estrategias. Los estilos de interacción son definidos por modelos conceptuales, clasificados en estructuras de contribución (aditivas: humano y sistema combinan sus contribuciones, pero uno no es juzgado por el otro; iterativas: humano y sistema evalúan sus contribuciones iterativamente para refinar un artefacto) y modelos de interacción (basados en operaciones: los humanos manipulan directamente un algoritmo; basados en solicitudes: los humanos presentan solicitudes a un sistema que retorna artefactos; interacciones de ambiente: el sistema escucha u observa a los humanos y genera respuestas). Las estrategias de interacción son definidas por métricas, objetivos y capacidades de meta-razonamiento de los sistemas. En este marco, los sistemas creativos pueden discernir el valor del proceso creativo al medir el valor y la novedad del artefacto resultante y la forma en que interactúan humano y sistema.

Para esta investigación, las definiciones de CCC (Davis, 2013; Jordanous, 2017) son fusionadas, describiendo la CCC como un proceso en el cual por lo menos un humano y un agente digital realizan actividades mutuamente influyentes con un objetivo creativo.

486

Co-creatividad computacional en las artes (CCCA)

Los primeros estudios desarrollados sobre co-creatividad humana en artes digitales sugieren que existen dos roles principales de colaboración que emergen cuando un técnico y un artista desarrollan una obra en conjunto: asistencia y sociedad. Se observaron dos tipos de sociedad, dependiendo de si el artista compartía el último filtro con el técnico, o no (Candy y Edmonds, 2002). Estos dos comportamientos observados están alineados con las

estructuras de contribución aditiva (asistencia sin juicio) e iterativa (sociedad) del marco citado. No obstante, resulta interesante que, en la sociedad filtrada por el artista, el técnico es relegado a un rol secundario, en términos de quién define la forma final de la pieza. Haciendo una analogía con un sistema de CCC, el técnico juega el rol del sistema computacional, mientras que el artista representa al agente humano sin meta-razonamiento respecto al artefacto (Kantosalo et al., 2020). Un ejemplo real puede ser un estudio de arte en el que trabajan muchos artistas habilidosos, pero solo uno de ellos tiene la visión de seleccionar las obras finales y la reputación para firmarlas.

De acuerdo con el anterior marco de modalidades, estilos y estrategias, las dinámicas usadas en NEA son de un tipo de modelo iterativo basado en solicitudes: el(los) usuario(s) realiza(n) solicitudes al sistema, el cual retorna artefactos que son juzgados y procesados iterativamente.

Aunque la sorpresa se ha usado como un atributo de novedad para artefactos creativos finalizados (Quilici, 2005; Boden, 2009), es importante anotar que en la CCC existe un filtro humano permanentemente evaluando los artefactos a través de la *sorpres*a. Esto sucede quizás debido a que los agentes computacionales son probablemente más eficientes que los humanos al explorar espacios conceptuales, mientras que los humanos son muy buenos seleccionando las mejores ideas y refinándolas (Lubart, 2005). Desde el punto de vista de un practicante, la sorpresa se reconoce como un componente esencial de la co-creatividad computacional: “trabajar con AI no es distinto a trabajar con un ser humano, dada su capacidad de sorprenderte, porque ahí es donde aparece el arte. Ahí es donde aparece la magia en cualquier tipo de ejecución o al trabajar con cualquier persona o con cualquier cosa” y una vez aparece la sorpresa “puedes intervenir en lo que ha sido generado”⁴ (Herndon y Dryhurst, 2021).

⁴ Es importante anotar que Holly Herndon y Mat Dryhurst son, ambos, practicantes de vanguardia de CC musical, habiendo lanzado álbumes e interpretaciones aclamadas por la crítica y bien valoradas por investigadores del campo. Ellos son anfitriones de un importante nodo de divulgación para la CC musical, el *podcast* “Interdependence”.

Sorpresa en CC

La sorpresa es una reacción humana asociada comúnmente con la divergencia de las expectativas (Ortony y Partridge, 1987; Reisenzein, 2000; Macedo et al., 2009; Maguire et al., 2011). Ha sido modelada en escenarios de creatividad computacional usando la sorpresa Bayesiana (Itti y Baldi, 2009), donde se define como “la diferencia agregada entre una distribución de probabilidad de las creencias del agente antes (previo a la distribución) y después (posterior a la distribución) observando algún percepto” (Jacob, 2019, p. 4). La sorpresa también se define como la dificultad de integrar un evento con una representación existente (Kahneman y Miller, 1986) o la observación de un evento que ocasiona que una representación previamente coherente se derribe, resultando en un proceso de actualización representacional urgente (Maguire et al., 2011). Sin embargo, se ha propuesto que “No todos los eventos de baja probabilidad son, necesariamente, sorprendentes” (Teigen y Keren, 2003, p. 57), sino que “la sorpresa es determinada por el contraste entre un resultado y una expectativa, más que por la probabilidad absoluta del resultado *per se*” (Maguire et al., 2011, p.177). Específicamente, la sorpresa puede existir incluso si las creencias previas (i.e. una distribución de probabilidad) no existen. Por ejemplo, si una roca entra desde una ventana, sería sorprendente, aunque no hubiere expectativa previa alguna de que ocurriese (Ortony y Partridge, 1987).

488

Dado su importante rol en procesos co-creativos iterativos, es importante entender la sorpresa desde una perspectiva cognitiva y usarla como una variable para evaluar las dinámicas internas de los sistemas co-creativos iterativos. Específicamente, medir cómo la sorpresa afecta la evolución, y no necesariamente el resultado, de un proceso creativo: evaluar la sorpresa como una métrica de punto medio que indica el valor del proceso de CCC mismo, desde la perspectiva del practicante. Por lo tanto, la sorpresa también podría

estar relacionada con el valor psicológico de la interacción, en el sentido de que puede señalar cómo las expectativas de los sujetos se transforman durante y debido al proceso iterativo de CCC. Esto es lo que Boden (1994) reconoce como creatividad psicológica (o creatividad-p), según ella lo plantea: “Una idea valiosa es creativa-p si la persona en cuya mente surge no la pudo haber tenido antes; no importa cuántas veces otras personas hayan tenido ya la misma idea” (p. 76). Pero para poder trascender a la creatividad histórica (creatividad-h, cuando nadie más, en toda la historia de la humanidad, la ha tenido antes) una idea tiene que ser creativa-p primero (Boden, 1996). En otras palabras, evaluar la sorpresa como una métrica de la creatividad psicológica experimentada en el proceso puede proveer pistas del nivel de cumplimiento presentado a los expertos del dominio (los “guardianes”), quienes son los jueces finales de la novedad y el valor de un artefacto (Csikszentmihalyi, 2013). Justo después de que la sorpresa es suscitada por un artefacto en la intimidad del proceso de CCC, se desarrolla una proyección del artefacto en el dominio público. ¿Puede este artefacto ser valioso y novedoso, dado el nivel de sorpresa encontrado? O en palabras de Boden, dado el nivel de sorpresa percibido, ¿puede este artefacto ser suficientemente poderoso para transformar el sistema actual de creencias definido por el espacio conceptual de un dominio? ¿Será este un artefacto que doble espacio (reconfiguración de los mismos elementos de la tabla periódica) o inaugurará un espacio conceptual totalmente nuevo (atonalidad)?

Evaluando la CCC

Se han usado diferentes enfoques para validar experimentalmente la CCC. Aunque pueden existir métodos mixtos, es claro que la opinión humana es parte crucial del análisis (Kantosalo et al., 2015). Estas opiniones pueden venir de muchas fuentes válidas diferentes (Eigenfeldt et al., 2012):

- El arquitecto de un sistema.
- La audiencia que conecta con los productos creativos del sistema.
- Los académicos que interactúan con publicaciones sobre un sistema.
- Expertos del dominio que se relacionan con el sistema como pares y críticos.
- Los resultados de experimentos controlados del sistema.

Sin embargo, se ha reportado que evaluar la creatividad consultando a estos diferentes actores es engañoso, ya que se ha observado varianza (lo que es creativo para uno, no lo es para otro) y dificultad para explicar o justificar el nivel de creatividad por parte de los sujetos. Adicionalmente, parece haber sesgos involucrados en la evaluación humana de la creatividad computacional, “debido a una renuencia para asignar agencia creativa a participantes computacionales” (Jordanous, 2017, p. 8). Este ejemplo sugiere que una pregunta final y absoluta (no relativa a otros artefactos) sobre la creatividad de algo puede generar errores y divergencias irreconciliables en un proceso de investigación. Por lo tanto, siendo fieles al *ethos* de la CCC y su visión de proceso híbrido computacional humano, se propone evaluar la salud de la creatividad durante el proceso colaborativo en vez de evaluar la creatividad en los artefactos finales.

490

Experimento

Con el fin de evaluar NEA en el marco de la CCC, se ha diseñado y aplicado un experimento de audición que consiste en evaluar piezas generadas por un sistema de múltiples NEAs contextualizando a los sujetos experimentales en la mitad de un proceso de CCC. Las piezas generadas serán tomadas como el resultado de un proceso autónomo de divergencia computacional y los sujetos, en la zona entre la divergencia y la convergencia, deben escuchar las piezas y valorarlas. Con este experimento se intenta observar cómo los sujetos valoran

un conjunto de piezas musicales, pertenecientes a un espacio conceptual definido, generadas por un sistema de múltiples NEA. En particular se intenta:

- Valorar la eficiencia de un sistema de múltiples NEA al ser usado en un entorno real de CCC musical a través de calificaciones de valor y sorpresa.
- Comprender la influencia que tiene el agente de transformación tímbrica en el valor y la sorpresa que se le otorga a las piezas.

Método

Participantes

Dieciocho participantes realizaron el experimento, 61% identificados como hombres, 22% como mujeres y 17% prefirieron no responder la pregunta. Las edades están entre los 27 y los 40 años.

Materiales

Se generaron 18 piezas usando el sistema descrito en este texto. Todas las piezas generadas tienen cuatro voces, tres melódicas y una con acordes de 3 notas. Los estilos seleccionados para entrenar las tres voces melódicas son entrenados con piezas de Claude Debussy y melodías electro. Los timbres base de las cuatro voces son seleccionados al azar de un subconjunto de timbres previamente decididos para el experimento, materializados en *presets* de sintetizadores digitales. De los 18 fragmentos, dos fueron seleccionados al azar como muestras de control para ser repetidos a los participantes y evaluar la consistencia de sus respuestas. Específicamente, la pieza 1 y la 8 son la misma, así como la 11 y la 19. En total, las 20 piezas fueron presentadas a los 18 diferentes participantes siempre con las mismas muestras de control. Seis

de las piezas empleadas para el experimento usan el agente de transformación tímbrica descrito arriba [2, 9, 11 (19), 13, 15, 18]⁵.

Los demás parámetros de NEA obedecen a cinco tipos de heurísticas definidas a través de la experiencia de interacción con el sistema. Estas heurísticas establecen límites inferiores y mayores para cada uno de los parámetros, cuyo valor es finalmente definido aleatoriamente dentro del rango establecido. Las heurísticas definen cambios periódicos para ciertas variables. El espacio de control se define entonces por seleccionar los estilos, el tipo de heurística, los cuatro timbres iniciales y la activación (o no) del agente de transformación tímbrica.

Una vez el sistema de múltiples NEA se puso en funcionamiento, este fue capaz de generar un flujo constante de piezas de música electrónica evolutivas. Se llevaron a cabo 18 iteraciones del proceso generativo, las cuales, dada la diferencia entre los parámetros usados, dieron origen a piezas diversas, dispersas a lo largo y ancho del espacio conceptual musical al cual apunta el experimento. El resultado general del proceso generativo son piezas de música *ambient* propicias para la escucha continua. De estas 18 piezas se seleccionaron fragmentos de un minuto de duración para ser usados en el experimento.

492

Procedimiento

A los participantes se les dio la siguiente contextualización: “Para esta sesión de escucha va a asumir el rol de un productor musical que hace parte de un grupo creativo el cual se encuentra trabajando en la producción de un nuevo álbum. Su tarea es escuchar atentamente una pieza musical y valorarla para que siga en proceso de producción. La producción continuará y probablemente

⁵ Las 20 piezas pueden escucharse en el siguiente enlace: <https://youtu.be/HEpRoedaqH8>

la pieza se transforme, pero la esencia es lo que está escuchando". Antes de comenzar a escuchar cada una de las piezas se presentó el siguiente texto: "Luego de escuchar atentamente la pieza va a responder estas preguntas: ¿qué tan sorprendente le parece esta pieza? ¿Qué tan valiosa es la pieza para ser publicada para el disco? ¿Qué tan novedosa le parece la pieza? ¿Tiene algún comentario sobre la pieza?". Los participantes respondieron las mismas preguntas para cada una de las 20 piezas. Para las tres primeras preguntas se ofreció una escala de Likert de 6 pasos que contenía los siguientes extremos: "No es nada sorprendente", "Es completamente sorprendente", "No es valiosa", "Esta pieza es muy valiosa y debe hacer parte del disco", "No es una pieza novedosa", "Es una pieza revolucionaria".

Resultados

Para validar las respuestas, se calculó la diferencia entre cada una de las piezas piloto y su repetición. Dos participantes fueron descartados del experimento por su baja atención, al tener discrepancias de 4 puntos calificando el valor a la pieza 1 en sus dos diferentes momentos. Una vez eliminados, la primera y última repetición de ambas piezas piloto (piezas 1 y 19) fueron eliminadas para el resto del análisis. Según los resultados de sorpresa, nadie más fue eliminado ya que se encontraron consistentes los resultados entre pares de piezas piloto.

Valor de las piezas

Los resultados reportados sobre el valor de las piezas fueron analizados usando la mediana como medida de tendencia central. Al analizar las respuestas de todo el grupo se observa que 14 piezas (77,7%) son calificadas con un valor positivo (entre 4 y 6) pero solamente una de ellas (6%) obtiene una mediana unánime con el valor máximo de 6 (Tabla 1).

Al dividir el grupo entre participantes con nivel de formación entre 5 y 6 (profesionales) y participantes con nivel de formación menor a 5 (amateurs) se puede observar una discrepancia en el valor de las piezas. Especialmente, las piezas calificadas con valor 5 o superior (Tabla 1 y Figura 2). El subgrupo de músicos profesionales otorga valores de 5 y 6 al doble de las piezas que el grupo de músicos amateurs. Particularmente, 6 piezas (33%) tienen calificación 5 o más para los profesionales mientras que los amateurs califican 3 piezas (16,6%) en el mismo rango.

Tabla 1. Número de piezas calificadas con valores entre 4 y 6, para diferentes grupos de participantes

Umbral	Todos	Profesionales	Conocedores de música electrónica	Amateurs	No conocedores de música electrónica
4	14	14	15	13	12
4.5	4	6	5	3	3
5	3	6	5	3	3
5.5	2	2	1	1	1
6	1	2	1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Realizando otra segmentación también en grupos complementarios, entre participantes conocedores de la música electrónica y los no conocedores (nivel de conocimiento igual o superior a 5, versus niveles menores, respectivamente) se observan comportamientos similares. El grupo de conocedores califica 5 piezas (27%) con un valor igual o superior a 5 mientras que el grupo complementario califica 3 (17%).

En el nivel de valor positivo más bajo (valor igual a 4) tanto el grupo general como los subgrupos complementarios tienen niveles de aceptación entre 14 y 12 piezas (77% y 67%, respectivamente).

Al observar las respuestas de todos los participantes y los subgrupos complementarios anteriormente mencionados (profesionales vs. amateurs y conocedores vs. desconocedores de música electrónica) todos coinciden que la pieza 11 es la única que tiene el valor más alto (6) (Tabla 2). Las piezas que para el grupo general como para todos los subgrupos, menos los conocedores de música electrónica, tienen un valor igual o superior a 5 son las 9, 10 y 11. Para el grupo de conocedores de música electrónica, las piezas 2, 9, 11, 13 y 17 tienen valor igual o superior a 5. Las piezas calificadas con un valor de 4 o mayor presentan más divergencia entre cada grupo (ver Tabla 2, fila umbral 4).

Tabla 2. Piezas calificadas con valores iguales y superiores a 4 por todos los participantes y cuatro subgrupos

	Todos	Profesionales	Conocedores de música electrónica	Amateurs	No conocedores de música electrónica
umbral	id pieza	id pieza	id pieza	id pieza	id pieza
4	2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 20	2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20	2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20
4.5	2, 9, 10, 11	9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20	2, 9, 11, 13, 17	9, 10, 11	9, 10, 11
5	9, 10, 11	9, 10, 11	2, 9, 11, 13, 17	9, 10, 11	9, 10, 11
5.5	11	11	11	11	11
6	11	11	11	11	11

Fuente: elaboración propia.

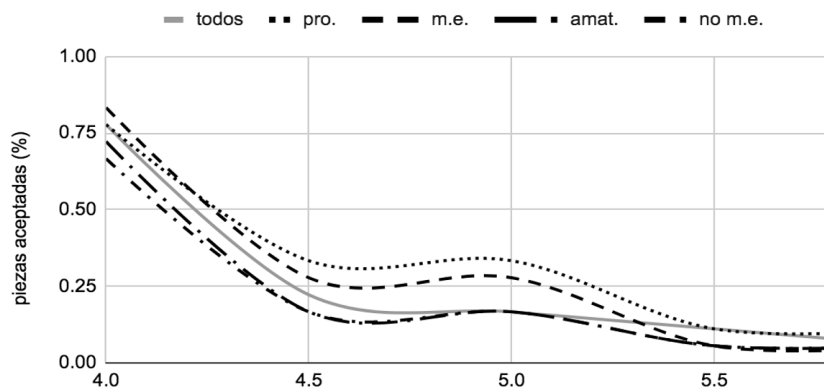


Figura 2. Porcentaje de piezas aceptadas según el valor reportado por diferentes grupos de participantes. En esta gráfica se puede apreciar el porcentaje de piezas aceptadas por el grupo total de participantes y cuatro subgrupos complementarios: profesionales y amateurs; conocedores de música electrónica (m.e.) y no conocedores (no m.e.). En este gráfico solo se presentan umbrales que pertenecen al rango de calificación positivo (4 a 6). Fuente: elaboración propia.

Sorpresa

La sorpresa reportada por los diferentes participantes también fue evaluada usando la mediana. Al analizar las respuestas de todo el grupo se observa que 10 piezas (55,5%) son calificadas con un valor positivo (entre 4 y 6), pero ninguna de ellas obtiene valores de sorpresa superiores a 5.5.

Igual que para el valor, se segmenta el grupo para tener observaciones más puntuales. Al segmentar el grupo entre participantes con nivel de formación entre 5 y 6 (profesionales) y participantes con nivel de formación menor a 5 (amateurs) se puede observar una gran diferencia en la sorpresa que generan

las piezas para estos dos grupos. Para piezas calificadas con sorpresa 5 o superior (Tabla 3 y Figura 3), el subgrupo de músicos profesionales califica con sorpresa de 5 a más del doble de las piezas que el grupo de músicos amateurs. Específicamente, 7 piezas (38,8%) tienen calificación 5 o más para los profesionales mientras que los amateurs califican 3 piezas (16,6%) en el mismo rango.

Al segmentar todos los participantes entre participantes conocedores de la música electrónica y los no conocedores (nivel de conocimiento igual o superior a 5, versus niveles menores, respectivamente) se observa un comportamiento similar. El grupo de conocedores califica 6 piezas (33,3%) con un valor igual o superior a 5 mientras que el grupo complementario califica 3 (17%).

En el nivel de sorpresa positiva más baja (valor igual a 4) el grupo general y los subgrupos complementarios reportan niveles de sorpresa diferentes, entre 14 y 10 piezas (77,7% y 55,5%, respectivamente) (Tabla 3 y Figura 3).

Tabla 3. Número de piezas calificadas con sorpresa entre 4 y 6, para diferentes grupos de participantes

Sorpresa	Todos	Profesionales	Conocedores de música electrónica	Amateurs	No conocedores de música electrónica
4	10	11	14	11	12
4.5	4	7	6	3	3
5	3	7	6	3	3
5.5	0	1	0	0	0
6	0	1	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

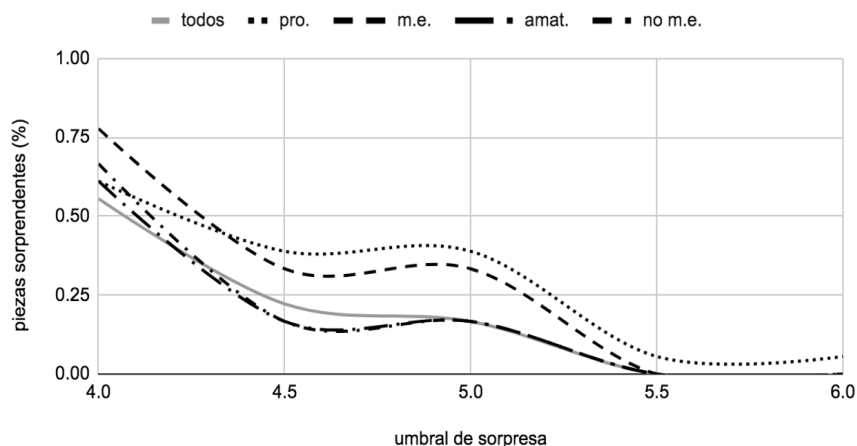


Figura 3. Porcentaje de piezas sorprendentes según la calificación reportada por diferentes grupos de participantes. En esta gráfica se puede observar la sorpresa por el grupo total de participantes y cuatro subgrupos complementarios: profesionales y amateurs; conocedores de música electrónica (m.e.) y no conocedores (no m.e.). Solo se presentan valores que pertenecen al rango de calificación positivo (4 a 6). Fuente: elaboración propia.

Al observar las respuestas de todos los participantes y los subgrupos complementarios (profesionales vs. amateurs y conocedores de música electrónica), solo los músicos profesionales encuentran sorpresa en la pieza 10 (Tabla 4). Las piezas que para el grupo general y para todos los subgrupos, son sorprendentes con una calificación igual o superior a 5 son las 10 y 11. Las coincidencias entre las piezas sorprendentes con valor igual o superior a 5 para profesionales y conocedores de música electrónica son las piezas 2, 4, 10 y 11. Las piezas calificadas con sorpresa 4 y más en las que todos los grupos coinciden son las 2, 4, 10, 13, 14, 15 y 18.

Tabla 4. Piezas calificadas con diferentes niveles de sorpresa por todos los participantes y dos pares de subgrupos

	Todos	Profesionales	Conocedores de música electrónica	Amateurs	No conocedores de música electrónica
sorpresa	id pieza	id pieza	id pieza	id pieza	id pieza
4	2, 4, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18	2, 4, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 20	2, 4, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20	2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18	2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18
4.5	4, 9, 10, 11	2, 4, 10, 11, 13, 17, 18	2, 4, 10, 11, 13, 15	9, 10, 11	9, 10, 11
5	9, 10, 11	2, 4, 10, 11, 13, 17, 18	2, 4, 10, 11, 13, 15	9, 10, 11	9, 10, 11
5.5		10			
6		10			

Fuente: elaboración propia.

Interacción entre valor y sorpresa

Para evaluar la posible relación entre el valor reportado y las calificaciones de sorpresa para cada pieza se ha calculado la correlación de Spearman entre ambas para el grupo total y cada una de los segmentos. Para todo el grupo, la correlación entre sorpresa y valor es de 0.71037 (p (2-tailed) = 0.00095), para los profesionales es 0.75265 (p (2-tailed) = 0.00031), para los amateurs es 0.73502 (p (2-tailed) = 0.00051), para los conocedores de música electrónica es 0.47038 (p (2-tailed) = 0.04884) y para los no conocedores es 0.6818 (p (2-tailed) = 0.00183). Se observa una generalizada correlación positiva entre la sorpresa generada por las piezas y el valor percibido en ellas, todas estas correlaciones estadísticamente significativas (< 0.05), siendo cercana al límite de la significancia para los conocedores de música electrónica.

El grupo en el cual se observa un mayor rango de sorpresa y valor es el de los músicos profesionales, quienes van desde valores de 2 a 6 en ambas variables. Al hacer la mediana para el grupo general, los rangos de sorpresa y valor oscilan entre 3 y 6, así como para los demás subgrupos de amateurs, conocedores y no conocedores de música electrónica (Figura 4).

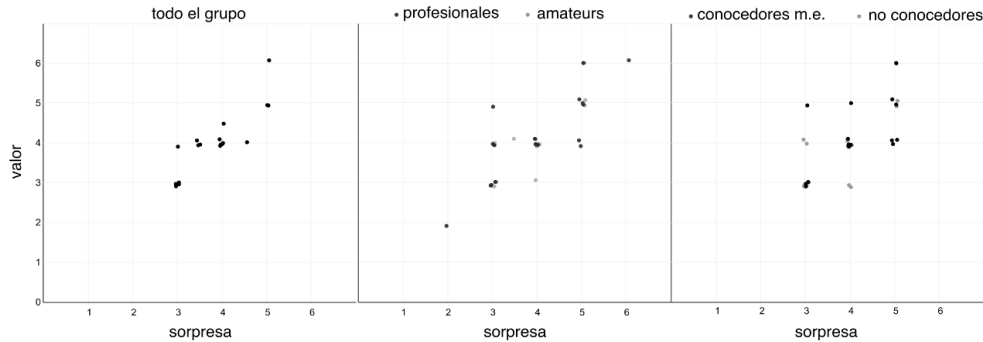


Figura 4. Dispersión entre sorpresa y valor para todo el grupo y las dos parejas de subgrupo (profesionales vs. amateurs; conocedores de música electrónica vs. no conocedores de música electrónica). Fuente: elaboración propia.

Discusión

El número de piezas percibidas como sorprendentes y valiosas para los grupos más formados en música y con conocimiento en música electrónica (tablas 1 y 3, umbral y sorpresa 5) es mayor que para los grupos de personas menos formadas. Esto sugiere que el nivel de conocimiento musical de los participantes (en teoría relacionado con tamaño de su espacio cognitivo en el dominio particular) es un aliciente para percibir sorpresa y valor en piezas musicales. Esto está alineado con la idea de que el valor creativo de un artefacto es medido en relación al dominio al que pertenece y que son los conocedores

del dominio quienes mejor pueden validar la creatividad de dichos artefactos (Boden, 1996; Csikszentmihalyi, 2013).

La cantidad de piezas que pasan el umbral del valor con un puntaje igual o superior a 4 puede ser un indicador de la eficiencia del sistema de múltiples NEA cuando es ajustado para generar piezas *ambient*. Es decir, indica la medida en la que un sistema crea piezas musicales que pasan filtro de valor, como parte de un proceso de producción. Si se fija el umbral de aceptación a piezas en una calificación igual o mayor a 5, las respuestas de todos los participantes (independientes de su conocimiento en música electrónica), de los expertos en música electrónica y de los músicos profesionales, se podría establecer una eficiencia entre el 16,6% y el 27,7%. Específicamente, de 18 posibles piezas del género *ambient*, generadas por un sistema computacional, entre 3 y 5 de ellas son consideradas altamente valiosas. Cabe anotar que si el umbral se hace menos exigente (piezas con valores positivos, con calificación de 4 o más), la eficiencia en cuanto a las piezas aceptadas es bastante mayor y superior al 50% para el grupo general y todos los demás subgrupos. Esta reflexión toma real sentido al considerar (1) el poco tiempo que toma generar estas piezas con NEA (cada pieza se genera en tiempo real) y (2) el poco esfuerzo que se necesita preparar NEA para la generación. Es posible afirmar entonces que el proceso de generación de ideas musicales de NEA es altamente eficiente. Es importante recordar que esta eficiencia no es final del proceso creativo sino del proceso de creación colaborativa: ofrece una idea de qué tan valioso puede ser trabajar con NEA en el proceso de crear un disco de música *ambient*.

Sobre las piezas mejor valoradas

Para seleccionar las piezas que tienen mayor valor se intersectan el grupo de piezas valiosas para el grupo general (9, 10, 11) y para los conocedores de música electrónica (2, 9, 11, 13 y 17) (Tabla 2). El resultado de esta operación

sugiere que las piezas 9 y 11 son las de mayor valor. Como puede leerse en la subsección de materiales del experimento, ambas piezas han sido creadas usando el agente de transformación tímbrica. El efecto que se percibe del agente de transformación tímbrica en ambas piezas parece sugerir una interacción intencional humana con los parámetros de los sintetizadores digitales. En particular, el contorno y la oscilación de la frecuencia de corte de los filtros son los dos principales parámetros transformados por el agente. Es difícil precisar si la transformación tímbrica es una característica que añade valor por sí sola, ya que todas las piezas son estímulos complejos que varían al mismo tiempo en muchas dimensiones (altura, intensidad, armonía, y demás). Sin embargo, dado que ambas piezas tienen esto en común, parece que el procesamiento dinámico aplicado por este agente es un factor diferenciador que añade valor a las piezas, en el contexto de la música *ambient* (y probablemente al de la música electrónica en general). Esta observación valida parcialmente la aproximación al control dinámico y automático del timbre que se usa en esta investigación y sugiere que es un campo de investigación valioso.

Conclusiones

Aunque el proceso generativo de NEA no está diseñado para atravesar sistemáticamente todas las regiones posibles del espacio de la música *ambient*, las piezas creadas para esta investigación constituyen una fuente valiosa de material divergente en el cual basar un proceso de creatividad colaborativa. Especialmente si, como se describe, un humano (o un grupo de humanos) está a cargo de las siguientes etapas del proceso creativo, inspeccionando las piezas y seleccionando los resultados valiosos.

Los sistemas generativos para la creatividad musical, basados en el dominio simbólico, tienen una tradición y muchos han sido diseñados y probados exitosamente. Sin embargo, poco se han atendido en función de la creatividad computacional.

Dada la importancia que parecen tener los cambios dinámicos de timbre en el valor de la música electrónica y *ambient*, resulta interesante continuar investigando esta área. Mientras se escribe este texto, se investiga un modelo más robusto, que busca mejorar el método descrito en este texto y la dependencia de la información MIDI. Este nuevo modelo “escucha” directamente el flujo de audio y retroalimenta a sintetizadores digitales con instrucciones para control de timbre. En general, modelar las conexiones entre el valor y la sorpresa percibidos en la musical, la cognición y otros elementos contextuales subjetivos con la interacción de timbre, podría informar futuros sistemas de AI para lograr capacidades creativas musicales más robustas y con más potencial autónomo.

Referencias

- Ames, C. (1989). The Markov process as a compositional model: A survey and tutorial. *Leonardo*, 22(2), 175-187.
- Boden, M. A. (1994). What is creativity? En *Dimensions of Creativity* (pp. 75-117). Cambridge, Mass.: Bradford/The MIT press.
- Boden, M. A. (2009). Conceptual spaces. En *Milieus of creativity* (pp. 235-243). Springer.
- Briot, J. P., Hadjeres, G. & Pachet, F. D. (2020). *Deep learning techniques for music generation* (Vol. 1). Springer.
- Candy, L. & Edmonds, E. (2002, October). Modeling co-creativity in art and technology. En *Proceedings of the 4th conference on Creativity & cognition* (pp. 134-141).

- Catak, M., AlRasheedi, S., AlAli, N., AlQallaf, G., AlMeri, M. y Ali, B. (2021, September). Artificial Intelligence Composer. En *2021 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)* (pp. 608-613). IEEE.
- Chaillou, S. (2020). ArchiGAN: Artificial intelligence x architecture. En *Architectural intelligence* (pp. 117-127). Springer.
- Collins, N. (2018). '...there is no reason why it should ever stop': large-scale algorithmic composition. *Journal of creative music systems*, 3(1).
- Csikszentmihalyi, M. (2013). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention* (1st Ed.). Harper Perennial.
- Csikszentmihalyi, M., Abuhamdeh, S. y Nakamura, J. (2014). Flow. En *Flow and the foundations of positive psychology* (pp. 227-238). Springer.
- Davis, N. (2013). Human computer co-creativity: Blending human and computational creativity. En G. Smith y A. Smith (Eds.), *Proceedings of the Doctoral Consortium of Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference (AIIDE) 2013, number WS-13-23 in AAAI Technical Report*, 9-12. AAAI.
- Eck, D. & Schmidhuber, J. (2002). A first look at music composition using lstm recurrent neural networks. *Istituto Dalle Molle Di Studi Sull Intelligenza Artificiale*, 103, 48.
- Eigenfeldt, A., Burnett, A. & Pasquier, P. (2012, May). Evaluating musical metacreation in a live performance context. En *Proceedings of the Third International Conference on Computational Creativity* (pp. 140-144).
- Gärdenfors, P. (2004). *Conceptual spaces: The geometry of thought*. MIT press.
- Glines, P. W. (2022). *Imposing Structure on Generated Sequences: Constrained Hidden Markov Processes* (Doctoral Dissertation). Idaho State University.
- Hämäläinen, M. (2018). Poem machine-a co-creative nlg web application for poem writing. En *The 11th International Conference on Natural Language Generation Proceedings of the Conference*. The Association for Computational Linguistics.
- Herndon, H. & Dryhurst, M. (Hosts). (2021, August 17). Latent Visions, Promptism and the future of AI art with Adverb [Audio podcast episode]. In *Intrdependence*. <https://bit.ly/3AgERTU>
- Hiller, L. A. & Baker, R. A. (1964). Computer Cantata: A study in compositional method. *Perspectives of New Music*, 3(1), 62-90.

- Itti, L. & Baldi, P. (2009). Bayesian surprise attracts human attention. *Vision research*, 49(10), 1295-1306.
- Jacob, M. (2019). *Improvisational artificial intelligence for embodied co-creativity* (Doctoral Dissertation). Georgia Institute of Technology.
- Jordanous, A. (2017). Co-creativity and perceptions of computational agents in co-creativity. School of Computing, University of Kent.
- Kahneman, D. & Miller, D. T. (1986). Norm theory: Comparing reality to its alternatives. *Psychological review*, 93(2), 136.
- Kantosalo, A., Ravikumar, P. T., Grace, K. & Takala, T. (2020, September). Modalities, Styles and Strategies: An Interaction Framework for Human-Computer Co-Creativity. En *ICCC* (pp. 57-64).
- Lubart, T. (2005). How can computers be partners in the creative process: classification and commentary on the special issue. *International Journal of Human-Computer Studies*, 63(4-5), 365-369.
- Macedo, L., Cardoso, A., Reizenzein, R. & Lorini, E. (2009). Artificial surprise. *Handbook of research on synthetic emotions and sociable robotics: New applications in affective computing and artificial intelligence*, 267-291.
- Maguire, R., Maguire, P. & Keane, M. T. (2011). Making sense of surprise: an investigation of the factors influencing surprise judgments. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(1), 176.
- Mathews, M. V. (1991). The radio baton and conductor program, or: Pitch, the most important and least expressive part of music. *Computer Music Journal*, 15(4), 37-46.
- Meyer, L. B. (1957). Meaning in music and information theory. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 15(4), 412-424.
- MIDI Manufacturers Association. (1996). The complete MIDI 1.0 detailed specification. *Los Angeles, CA, The MIDI Manufacturers Association*.
- Ó Nuanáin, C., Herrera, P. & Jordá, S. (2017). Rhythmic concatenative synthesis for electronic music: techniques, implementation, and evaluation. *Computer Music Journal*, 41(2), 21-37.
- Ortony, A. & Partridge, D. (1987, August). Surprisingness and expectation failure: what's the difference? En *IJCAI* (pp. 106-108).

- Pachet, F., Roy, P. & Barbieri, G. (2011). Finite-length Markov processes with constraints. In *Twenty-Second International Joint Conference on Artificial Intelligence*.
- Pinch, T. J. & Trocco, F. (2004). *Analog days*. Harvard University Press.
- Privato, N., Rampado, O. & Novello, A. (2022). Scramble Live: Combining LSTM and Markov Chains for Real-time Musical Interaction. En *Proceedings of the 19th Sound Music Computing Conference (SMC'22)*.
- Quilici, M. E. (2005). Creativity: Surprise and abductive reasoning. *Semiotica*, 2005(153), 325-342.
- Reisenzein, R. (2000). Exploring the strength of association between components of emotion syndromes: The case of surprise. *Cognition & Emotion*, 10, 241-277.
- Roberts, A., Engel, J., Mann, Y., Gillick, J., Kayacik, C., Nørly, S., ... & Eck, D. (2019). Magenta Studio: Augmenting Creativity with Deep Learning in Ableton Live. *Proceedings of the International Workshop on Musical Metacreation (MUME)*.
- Shih, Y. J., Wu, S. L., Zalkow, F., Muller, M. & Yang, Y. H. (2022). Theme Transformer: Symbolic Music Generation with Theme-Conditioned Transformer. *IEEE Transactions on Multimedia*.
- Teigen, K. H. & Keren, G. (2003). Surprises: Low probabilities or high contrasts? *Cognition*, 87, 55-71. DOI: 10.1016/s0010-0277(02)00201-9.
- Wang, H., Ohsawa, Y., Hu, X. & Xu, F. (2015). Idea discovery: a context-awareness dynamic system approach for computational creativity. En *Smart Modeling and Simulation for Complex Systems* (pp. 99-111). Springer.
- Wiggins, G. A. (2006). A preliminary framework for description, analysis and comparison of creative systems. *Knowledge-Based Systems*, 19(7), 449-458.
- Wright, M. & Freed, A. (1997, September). Open SoundControl: A new protocol for communicating with sound synthesizers. En *ICMC*.

Cómo citar: Gómez-Marín, D. (2022). NEA (New Electronic Assistant), un sistema para la co-creatividad computacional musical. *Revista Kepes*, 19(26), 473-506. <https://doi.org/10.17151/kepes.2022.19.26.15>