

Kuturani: creando tecnología como parte de la obra musical

Kuturani: Creating technology as part of the musical work

CRISTOHPER RAMOS FLORES¹ • JORGE RODRIGO SIGAL SEFCHOVICH²

Resumen

Este artículo presenta un sistema de aumentación en tecnología de instrumentos acústicos y se discute, desde una perspectiva teórica, cuál el papel que tienen las nuevas tecnologías dentro de la obra musical y cómo es que estas mismas pueden redefinir los límites de lo que consideramos como obra. Se presenta una retrospectiva del campo de desarrollo de los instrumentos aumentados como parte de procesos creativos, y se propone un modelo ontológico que ayuda a situar a la tecnología y su desarrollo como parte de la obra musical. Se ofrece una descripción general de nuestro sistema de aumentación de bajo costo, que tiene la característica de ser adaptable a los requerimientos del usuario, ya sea para facilitar su construcción o para adecuarse a las necesidades creativas de una obra. Se presentan desafíos y soluciones encontrados durante el diseño y construcción de este dispositivo, y se discute el potencial de desarrollar un sistema abierto. Finalmente se hace una reflexión sobre el potencial futuro del proyecto.

Palabras clave • concepto de obra, hiperinstrumentos, tecnología DIY, tecnología musical

Abstract

This article presents a technological augmentation system for acoustic instruments and discusses, from a theoretical perspective, the role of new technologies within musical works and how they can redefine the boundaries of what we consider to be the musical work. We present a quick overview of the development of augmented instruments as part of the creative processes and propose an ontological model that helps placing technology and its development as part of the musical work. We present a characterisation of our low-cost augmentation system, which is adaptable to user requirements, either to facilitate its construction or to adapt to the creative needs of a work. We present the challenges and solutions encountered during the design and construction of this device, and discuss the potential that comes from developing an open sys-

¹ **CRISTOHPER RAMOS FLORES** | Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia México • <https://orcid.org/0000-0002-1667-6844> • aiwiy@hotmail.com •

² **JORGE RODRIGO SIGAL SEFCHOVICH** | Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia México • <https://orcid.org/0000-0002-6871-0127> • rodrigo@cmmas.org

FECHA DE RECEPCIÓN: 17 de junio de 2025 • FECHA DE ACEPTACIÓN: 5 de diciembre de 2025.

Citar este artículo como: RAMOS FLORES, C., SIGAL SEFCHOVICH, J.R. (2025). Kuturani: creando tecnología como parte de la obra musical. Revista *Nodo*, 20(39), julio-diciembre, pp. 27-43. doi: 10.54104/nodo.v20n39.2201

tem. Finally, we present our reflections on the potential future of the project.

Keywords • work concept, hyperinstruments, DIY technology, music technology

Introducción

El presente artículo introduce un desarrollo digital llamado Kuturani. Se trata de un sistema de aumentación instrumental pensado para su uso con cordófonos y creado con el fin de democratizar el acceso al campo de la construcción de interfaces musicales, actuando como un modelo desde el dominio de los instrumentos aumentados. El dispositivo que se describe en este documento hace uso de componentes comerciales de bajo costo, enfrentando a dos de las barreras que dificultan el desarrollo de nuevas tecnologías en Latinoamérica (Martínez Ávila *et al.*, 2022), el precio y acceso a ciertos componentes electrónicos.

El potencial de desarrollar tecnologías musicales en Latinoamérica ha estado presente desde hace mucho tiempo. El compositor Juan Blanco (Cuba, 1919-2008), por ejemplo, patentó en 1942 un instrumento llamado Multiórgano, basado en el uso de doce bucles de alambre magnetizable (técnica de grabación de audio); cada uno era activado por una de las doce teclas de la escala cromática, siendo un precursor de los *samplers* digitales. Las muestras de audio podían cambiar de altura gracias a un control de velocidad que se manejaba por medio de un pedal. Desafortunadamente, este instrumento nunca fue construido (Dal Farra, 2022). Por su parte, en México, Raúl Pavón (1928-2008) diseñó y construyó, a principios de los años 1960, un sintetizador analógico llamado Omnifón, uno de los primeros instrumentos basados en el control de voltaje. El instrumento modular de Pavón contaba con un oscilador de onda senoidal y cuadrada, además de módulos generadores de envolventes, filtros y ruido. Otro ejemplo importante de tecnología desarrollada en Latinoamérica es el del Convertidor Gráfico Analógico «Catalina», del argentino Fernando von Reichenbach (1931-2005).

Este instrumento, creado en 1968, utilizaba un sistema que contaba con una cámara de video para capturar información gráfica. Las gráficas eran interpretadas por el sistema para controlar sintetizadores y procesadores de audio. Se cree que los planes para crear este instrumento pudieron haber influenciado al compositor Iannis Xenakis (Rumanía, 1922-Francia, 2001) y la creación del UPIC —que permite la realización sonora directa de la notación gráfica sobre una tablilla— tras su visita a Argentina en 1966 (Herrera, 2024).

Si bien es cierto que los investigadores latinoamericanos han contribuido al desarrollo de tecnologías musicales desde la década de 1940 (Rocha Iturbide, 2004; Dal Farra, 2006; Lerner, 2019; Martínez Ávila *et al.*, 2022), la contribución ha sido mínima comparada con la de autores de países considerados más desarrollados. Como consecuencia directa, grupos de artistas e investigadores, reunidos por su interés en las nuevas tecnologías a través del movimiento NIME,¹ han comenzado a preocuparse y discutir sobre las dificultades que limitan el acceso a dicho campo en Latinoamérica (Martínez Ávila *et al.*, 2022).

En México, a pesar de su larga historia en la música electrónica (Odgers Ortiz, 2000; Rocha Iturbide, 2004, 2008; Sigal Sefchovich, 2010), son pocos los investigadores y creadores interesados en el desarrollo de dispositivos físicos, controladores, instrumentos digitales (DMI), instrumentos aumentados u otro tipo de hardware musical. De aquí surge la inquietud de crear un dispositivo que sirva como modelo para introducir a una audiencia mayor al campo en cuestión.

Por otra parte, de manera histórica, la tecnología ha acompañado al quehacer musical con avances técnicos que han permitido que la música tome rumbos determinados. Por ejemplo, en el periodo romántico, el desarrollo de válvulas y llaves permitieron a los instrumentos de metal y a algunos de aliento insertarse en los pasajes cromáticos que los músicos de la época estaban explorando (Lambert, 1986: 157-166). Por otro

¹ El término NIME hace referencia a la Conferencia Internacional de Nuevas Interfaces para la Expresión Musical (New Interfaces for Musical Expression). De la misma manera, este término se refiere a aquellos dispositivos creados con dicho fin.

lado, las tecnologías de grabación y reproducción llevaron a Pierre Schaeffer a tener un nuevo acercamiento creativo y reflexión en torno a la música y al sonido (Manning, 2003). De la misma manera, gracias a la tecnología hoy es posible hacer música con interfaces musicales —como los controladores MIDI— que facilitan el control de instrumentos virtuales (software). Así, en las últimas décadas, compositores, músicos y académicos han investigado y desarrollado nuevas tecnologías que permiten hacer música de manera novedosa.

En la actualidad, es común que componer una obra musical implique crear un medio a través del cual la obra sea realizable. El medio puede ser virtual (software) o físico (hardware), y en ocasiones ambas aproximaciones son requeridas. Esto pone de manifiesto el papel de la tecnología como elemento importante de la obra musical, ya que, sin la tecnología requerida, muchas de las obras actuales no podrían crearse. En gran parte del arte sonoro que se ha producido en Latinoamérica, la tecnología ha jugado un papel importante: Ariel Guzik (México, 1960), por ejemplo, trabaja explorando los fenómenos de resonancia, mecánica y electricidad como base para crear mecanismos que producen sonido. Guzik suele construir artefactos que, de una u otra forma, interactúan con la naturaleza, haciendo uso tanto de materiales naturales como maderas, piedras o plantas (por ejemplo, su obra *Holothurian*: <https://www.youtube.com/watch?v=n9yG3hT-dxM>) como también de componentes electrónicos. Por su parte, Arcangelo Constantini (México, 1970) ha centrado su trabajo en el desarrollo de dispositivos sonoros únicos que generan o modifican el sonido. Los artefactos contruidos por Constantini utilizan tecnologías análogas y digitales, haciendo uso tanto de microcontroladores, redes informáticas o hackeando y reutilizando tecnologías de hace unas décadas, como reproductores de discos de acetato (Martínez, 2010).

Siguiendo una línea similar, otros artistas sonoros han reutilizado aparatos diseñados para otros objetivos y basura electrónica, haciendo uso de distintas técnicas de hackeo y *circuit bending*. Destaca el trabajo de la colombiana Falon Cañón: construye esculturas sonoras utilizando basura electrónica, con las que explora el

sonido desde distintos procesos como la generación de ruido y la degradación del sonido, enmarcadas en la corriente *low-tech*. Carlos Bonil (Colombia, 1979) también reutiliza objetos obsoletos —no necesariamente electrónicos, pero que poseen alguna tecnología análoga, como motores y otros componentes electrónicos. Sus esculturas sonoras, también dentro de lo *low-tech*, hacen alusión a entes naturales como animales o plantas, o construcciones humanas, como vehículos, resignificando los materiales reciclados y las tecnologías análogas como entes que llevan una carga emocional, histórica y natural. Los ejemplos mencionados permiten visualizar cómo el desarrollo y la manipulación de tecnologías —análogas, digitales, modernas u obsoletas— pueden convertirse en el medio (mismo que se discute en la sección «Un nuevo concepto de la obra musical») por el cual la obra es posible.

El Kuturani, dispositivo que los autores de este artículo desarrollaron en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), sirve entonces como caso de estudio para cuestionar técnicas que faciliten el desarrollo de nuevas interfaces, siendo su construcción un proceso personalizado para cada usuario, a través del cual puedan explorar sus propias ideas creativas y reflexionar sobre el uso de los instrumentos y las tecnologías en sus obras.

En las siguientes secciones se hace una reflexión sobre la relación entre la obra musical y la tecnología, se discute el estado del arte y se presentan detalles del desarrollo del Kuturani.

Tecnología y la obra musical

Un nuevo concepto de la obra musical

El concepto por el que identificamos una obra musical se mantiene fluctuante dependiendo de la perspectiva desde la que se observa. Si bien la música ha existido por milenios, la idea de que la obra musical está finalizada y definida como una entidad fija es relativamente nueva. Lydia Goehr expone que las composiciones musicales se consideraron obras terminadas sólo des-

pués de que se establecieran la mayoría de las convenciones de notación en el siglo XIX, cuando la notación se volvió fundamental para establecer la reputación de los compositores. Sostiene que fue entonces cuando surgió la idea de la obra musical como «la expresión única y objetivada del compositor, un artefacto público y permanente compuesto de elementos musicales» (Goehr, 1989), ya que antes, debido a distintos factores —entre otros, el hecho de que los ensambles y las prácticas musicales no estaban establecidos— las obras creadas por los compositores podían cambiar en cada interpretación (Goehr, 2007: 185).

Lo anterior establece que la obra musical fue entonces entendida como aquella que ha sido establecida por el autor, normalmente en formato de notación. Es lo que E.T.A. Hoffmann (Alemania, 1776-1822) conceptualizó como el *Werktreue* —la verdadera obra—, fija e inamovible. Sin embargo, esto ha sido cuestionado en diferentes ocasiones, especialmente cuando la tecnología forma parte de la obra, ya sea como un elemento interpretativo o como el formato a través del cual se expresa o registra. Esto se puede ejemplificar con casos como el de las obras basadas en paisajes sonoros, obras que incluyen electrónica en tiempo real, obras generadas algorítmicamente o aquellas que surgen de la improvisación y la interacción con sistemas tecnológicos, por nombrar algunos.

Por otra parte, existe un problema fundamental en definir la obra musical y diferenciarla de su interpretación. Michael Talbot lo expone de así:

En la música culta occidental existe una contradicción tolerada (de hecho, necesaria) entre el conocimiento de que una interpretación musical es una operación que depende para su existencia de una operación previa e invisible (la composición) y la ficción, compartida por intérpretes y público, de que la interpretación es en sí misma un acto de creación. [...] La resistencia de los intérpretes a la idea, propuesta por Stravinsky y otros, de que la «interpretación» de una partitura musical debería ser sustituida por su mera «reproducción» resulta muy comprensible desde esta perspectiva (2000: 176).

Talbot, en este pasaje, se refiere a la interpretación llevada a cabo por los músicos. Sin embargo, el problema que presenta también es aplicable a las tecnologías que reproducen o producen música con ciertas libertades, como en obras generativas, aquellas que emplean IA o que generan elementos musicales de manera aleatoria basada en ciertos modelos o reglas establecidas por el compositor.

Por lo anterior, el primer autor de este artículo propone un concepto de obra que permite reconocer el papel de la interpretación y de la tecnología, identificado como el *Medio* o *Medium* (Ramos Flores, 2021). Dicho modelo resulta de suma importancia para establecer el paradigma del Katurani, un dispositivo que permite al usuario personalizar el hardware para el control de elementos electrónicos a través de la relación entre el intérprete y el instrumento, como parte esencial de la obra.

El modelo ontológico que se propone es identificado como Modelo Tripartita, y se basa en la interacción que existe entre la *partitura*, la *interpretación* y el *medio*, como se explica a continuación. Escribimos aquí estas palabras en letras cursivas para diferenciarlas de sus análogas que no se refieren a los conceptos que a continuación se describen.

- La **partitura** es la obra que el compositor imagina inicialmente, a pesar de lo bien o mal que pueda comunicarse mediante notación u otros medios. Representa el diseño del compositor, tanto en su estado dinámico (el acto creativo) como el estático (el producto). La *partitura* es el proceso y el producto abstracto de la creación, que puede registrarse de muchas maneras. No es el registro de la composición, sino lo que ésta representa. La partitura (sin cursiva) es la representación, mientras que la *partitura* (lo representado) es la esencia de la obra. En una obra interactiva, por ejemplo, la *partitura* es la idea original que el autor imaginó y codificó en las distintas posibilidades resultantes de la interacción con el sistema. Si bien la obra puede cambiar en cada ocasión, el concepto original (es decir la *partitura*) es el que rige a la obra.

- La **interpretación** consta de tres etapas: la primera, la interpretación virtual que el compositor imagina mientras diseña la obra, como sugieren Vaggione (2001) y Vázquez (2005: 91). Se basa en la experiencia del compositor como intérprete, es decir, en su conocimiento de los instrumentos y en cómo los intérpretes interactuarían con ellos. La segunda etapa es la colaboración con los intérpretes o sistemas, en la que se realizan cambios en la obra. Cabe destacar que la primera y la segunda etapa a menudo se confunden en una sola, ya que el compositor puede ser un intérprete experto. La etapa final es la interpretación en vivo a través de una grabación producida en estudio, de manera sintética o automática (en el caso de ser música generada algorítmicamente o por algún proceso similar) o cualquier otra manera de interpretación de la obra.
- El **medio** representa la materialidad del sonido —sus cualidades físicas y acústicas— y el objeto físico que lo produce. Normalmente está determinado por un instrumento, que puede ser uno musical (acústico o electrónico), la voz humana, un sintetizador, un software, un objeto o cualquier otro elemento utilizado para producir o modificar el sonido. En circunstancias específicas, el *medio* también puede encontrarse en las cualidades del espacio acústico en el que se interpreta la obra, que puede ser un elemento central de la composición. Por ejemplo, el uso de amplios espacios reverberantes en las obras de Oliveros, Dempster y Panaiotis —la Deep Listening Band (Oliveros, 1995). Un caso de relevancia para nuestro proyecto es el de los instrumentos aumentados que permiten que la tecnología ofrezca al compositor y al intérprete nuevas posibilidades expresivas.

La manera en que estos tres elementos del modelo propuesto interactúan fluye en cualquier dirección, ya sea que la música surja inicialmente como una exploración del medio, como resultado de la interpretación (como en el caso de la improvisación) o a través de un proceso compositivo a la manera tradicional. Este modelo entonces nos permite reconocer a la obra musical como el resultado del conjunto de estos tres elementos, situan-

do a la tecnología como un elemento central dentro de la obra. Queda por discutir también el papel de la percepción por parte de la audiencia, es decir, el proceso estético y no sólo el poiético (Molino, 1990: 106; Nattiez, 1990: 73), que si bien no siempre cambia el producto sonoro lo que sí ocurre en obras interactivas), sí cambia el *ethos* de la obra.

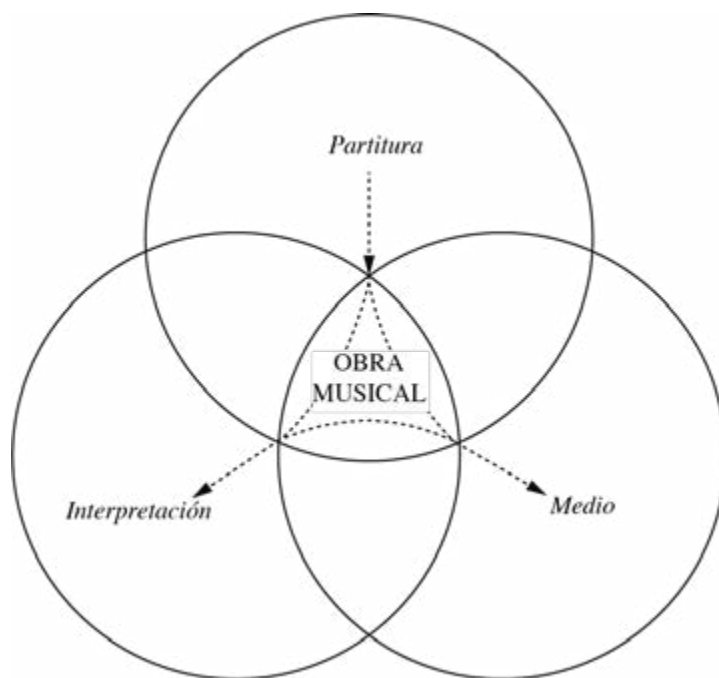


Imagen 1 Modelo tripartita.

El Modelo Tripartita constituye el primer intento de consolidar al *medio* como un componente esencial de la obra musical, en especial considerando las nuevas prácticas creativas de construcción de instrumentos y software. El origen de esta idea surge del reconocimiento de una larga trayectoria de autores que exploran y construyen nuevos medios. Aunque la creación y el desarrollo de tecnologías musicales es un campo amplio de investigación que no puede abarcarse en un solo artículo, conviene analizar el estado actual del arte para situar al Kuturani como un medio de exploración creativa.

Además de un incontable número de interfaces musicales como controladores, sintetizadores, así como

diferentes modelos de electrófonos, se han diseñado numerosos tipos de instrumentos aumentados electrónicamente, también conocidos como metainstrumentos o hiperinstrumentos. A continuación se analizan algunas de las obras fundamentales que ayudaron a establecer los paradigmas actuales en dicho campo.

Tod Machover (Estados Unidos, 1953) lideró la primera investigación importante sobre hiperinstrumentos. Su trabajo comenzó en el Instituto de Investigación y Coordinación Acústica/Música (IRCAM) con una pesquisa sobre la adaptación del ordenador a las necesidades de la interpretación musical sofisticada en tiempo real (1978), así como la investigación de los problemas técnicos y científicos de la recopilación, el análisis y la interpretación de datos musicales tras el establecimiento de los estándares MIDI en la década de 1980 (Machover, 1992). Su trabajo continuó durante los años siguientes en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), lo que condujo a la creación de sistemas denominados hiperinstrumentos, «una combinación de técnica instrumental aumentada por máquina, monitorización de la interpretación basada en el conocimiento y generación inteligente de estructuras musicales» (Machover, 1986).

Con el trabajo de Machover y el Grupo de Hiperinstrumentos del Media Lab en MIT surgió un nuevo campo de investigación, que abarca cualquier exploración que implique el uso de instrumentos acústicos o de cualquiera de sus partes, en conjunción con nuevas tecnologías, con el objetivo de ampliar las posibilidades interpretativas y sonoras que ofrecen los instrumentos tradicionales. Este grupo de investigación desarrolló dispositivos de seguimiento de gestos para el *Bug-Mudra* de Machover, con el fin de rastrear los gestos interpretativos para moldear el sonido. Este enfoque era necesario, ya que los instrumentos desarrollados en aquel entonces no permitían el seguimiento continuo del movimiento. Esta necesidad planteó una nueva perspectiva sobre la importancia de la corporeidad en la interpretación, así como las posibles vías para la asignación de gestos al control de parámetros.

La investigación sobre la detección de la interpretación musical y las interacciones de los intérpretes con

los instrumentos han sido ampliamente exploradas e influenciadas por proyectos seminales como el Rbow (un arco de violín acústico) de Dan Trueman (Estados Unidos, 1968), y los acordeones modificados de Perry Cook (Estados Unidos, 1955), Squeezevox Lisa y Squeezevox Bart, donde la monitorización de la interpretación generaba síntesis de sonido (P. Cook & Lieder, 2000; Curtis & Dan, 2001; P. R. Cook, 2001, 2004).

Entonces surgió un nuevo movimiento que priorizaba la tecnología y la interpretación. Cléo Palacio-Quintin (Canadá, 1971), por ejemplo, desarrolló una hiperflauta equipada con sensores magnéticos en dos llaves de la flauta, lo que le permitió a su sistema discernir si las llaves estaban presionadas (Palacio-Quintin, 2008). Matthew Burtner (Estados Unidos, 1970) desarrolló el Metasaxofón, el cual, además de sensores, incluía un sistema de amplificación que permitía explorar la retroalimentación. También estableció un paradigma de mapeo entre los datos recopilados de la interpretación y los parámetros de control sonoro de un instrumento virtual (Burtner, 2002). Leonardo Jenkins desarrolló el EROSS, un sistema de detección óptica que podía monitorear el estado de los pistones de la trompeta (Jenkins *et al.*, 2013). El diseño del SABRe, de Sébastien Schiesser, empleó sensores de presión de aire para monitorear el flujo de aire que entraba en la boquilla del hiperclarinete (Schiesser & Schacher, 2012).

Violines, violonchelos, contrabajos y otros cordófonos, incluidas las guitarras, han sido objeto de aumentación tecnológica priorizando la fisicalidad en la interpretación. Los violines fueron de los primeros instrumentos en incorporarse al campo de la aumentación instrumental (Nichols, 2000, 2003; Poepel & Overholt, 2006; Grosshauser & Tröster, 2013). Instrumentos acústicos y eléctricos —como el violonchelo eléctrico aumentado (Freed *et al.*, 2006) y guitarras aumentadas (Lähdeoja, 2008; Reboursière *et al.*, 2012)— también fueron objeto temprano de la combinación de gestos y procesamiento de señales, aunque en ocasiones estas mejoras sirvieron con fines pedagógicos para mejorar la técnica interpretativa (Grosshauser *et al.*, 2012). Algunos instrumentos de cuerda utilizan accesorios co-

mo arcos, púas o correas, que también han sido aumentados o emulados (Serafin & Young, 2003; Bevilacqua *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2006; Morreale *et al.*, 2019; Martínez Ávila *et al.*, 2023).

No sólo se ha investigado la corporeidad desde la perspectiva del intérprete, sino también desde el instrumento como el cuerpo físico que produce sonido. Así, se han realizado varios proyectos que exploran la posibilidad de que los sonidos generados por nuevas tecnologías sean integrados naturalmente a las propiedades acústicas y al cuerpo del instrumento. De aquí surgen los instrumentos activos, que Overholt y Hamilton definen como «aquellos que producen sonido a través de elementos vibrantes que son co-manipulados por humanos y sistemas electromecánicos» (Overholt *et al.*, 2011). En otras palabras, son aquellos equipados de algún sistema que haga vibrar el cuerpo del instrumento —por ejemplo, un transductor— como producto de un procesamiento generado por software (o hardware) y controlado por el intérprete.

Estos autores identifican tres tipos de instrumentos activos:

- *Instrumentos activos no tradicionales.* Por ejemplo, un instrumento construido con formas y materiales no comunes que produce sonido activando su caja de resonancia (si es que cuenta con una).²
- *Instrumentos tradicionales que se activan para producir sonidos acústicos tradicionales.* Por ejemplo, instrumentos controlados por sistemas mecatrónicos o magnéticos.³
- *Instrumentos tradicionales se activan para producir sonido acústico, sintético o híbrido.*⁴

Los avances en este rubro han devenido en proyectos que permiten que la audiencia perciba una transformación del timbre del instrumento acústico en tiempo real, como el logrado por el sistema de síntesis de agre-

gado acústico (Acoustic-Aggregate-Synthesis, AAS) de Paul Clift (Australia, 1978) (2012, 2016), los trabajos resultado del proyecto IMAREV y Smart Instruments del IRCAM (Benacchio *et al.*, 2012, 2016; IRCAM, 2014, 2015), o el HyVibe de Manuel Mamou-Mani (GDG France, 2019; *HyVibe Guitar – The World’s First Smart Guitar*, 2024; Mamou-Mani *et al.*, 2021), quien dirigió los proyectos antes mencionados.

El campo de la aumentación de instrumentos acústicos es muy amplio y, si bien ha habido avances en el desarrollo de instrumentos aumentados de todas las familias de instrumentos, aquí se han listado proyectos enfocados principalmente en cordófonos, pues el Kutturani fue pensado para ese grupo de instrumentos. Mientras que dispositivos desarrollados con anterioridad ofrecen capacidades únicas y avanzadas, la mayoría de dichos proyectos suele centrarse en un diseño específico para el instrumento con el que se trabaja. Esto puede representar un problema, pues significa que, muchas veces, los instrumentos acústicos suelen ser modificados para adaptarse a los componentes electrónicos que se le agregan, por ejemplo, creando perforaciones por donde pasan cables o se aloja alguno de los componentes. La consecuencia puede ser que estos dispositivos no suelen ser reproducidos por terceros, ya que modificar un instrumento puede representar un costo elevado por los potenciales daños que podría sufrir el instrumento, o la necesidad de comprar un instrumento específico para ser aumentado y el uso de los componentes electrónicos, lo cual, en conjunto, eleva el precio del proyecto de tal manera que puede representar una dificultad para que investigadores independientes en Latinoamérica se involucren en el campo.

El desarrollo del Kutturani está influenciado por los proyectos antes mencionados, y busca establecerse como una alternativa de construcción de hiperinstrumentos que se aproxime a los proyectos antes mencionados, pero desde una perspectiva de «hágalo usted mismo». A continuación presentamos detalles del dispositivo y las maneras en que puede fungir como modelo de aprendizaje.

² Véase como ejemplo *Dinosaur Choir* (Brown, 2023) y (Brown, 2025).

³ Véase *Speaking Piano* (Ablinger, 2009) y (McPherson, 2017).

⁴ Véase Houlès (2017), Lähdeoja (2016), Rector & Topel (2014).

El Kutturani

El Kutturani es un sistema de aumentación instrumental, al estilo de los hiperinstrumentos, que consta de un microcontrolador que recoge datos de interpretación de un instrumento acústico haciendo uso de sensores. Dichos datos son utilizados para procesar audio, controlar parámetros de dicho proceso o disparar eventos sonoros, utilizando el software disponible en el mismo dispositivo o a través de comunicación con dispositivos externos, como por ejemplo, una computadora o un dispositivo móvil.

Objetivos planteados

Para el desarrollo del Kutturani se fijó la meta de crear un dispositivo que permitiera explorar la posibilidad de tener un solo diseño que pudiera adaptarse a varios instrumentos de cuerda, ya sean variaciones del mismo instrumento (por ejemplo, modelos, marcas, o diseños distintos de una guitarra) o diferentes tipos de cordófonos (violín, violoncello, guitarra, ukelele, mandolina, etc.). Se buscó también la posibilidad de que el cuerpo del instrumento fuera el medio por el cual se emita el sonido procesado electrónicamente, haciendo uso de un transductor, esto con el fin de evitar la potencial desconexión entre el instrumento y fuente sonora. Se decidió trabajar exclusivamente con cordófonos ya que suelen contar con una caja de resonancia sobre la cual puede montarse un sistema de audio que haga vibrar el cuerpo del instrumento, y que sea el instrumento el que amplifique esa vibración, donándole sus propias características acústicas. En otros instrumentos —por ejemplo, en los de aliento—, el sonido no es amplificado por el cuerpo del instrumento, lo cual significa que no se puede usar el mismo sistema y debe buscarse otra alternativa, por ejemplo el sistema del Un-Mute usado en el HypeSax (Ramos *et al.*, 2019). En etapas posteriores se buscará adaptar el sistema para cubrir otras familias de instrumentos.

Por otro lado, también se tuvo como objetivo que los usuarios decidieran qué aspecto de la interpreta-

ción se debía monitorear, permitiendo así que la obra musical fuera concebida como resultado de los tres elementos propuestos en el Modelo Tripartita, poniendo énfasis en la exploración del *medio* y la *interpretación*. Esto significa que los sensores que utiliza el dispositivo pueden ser intercambiados según la búsqueda interpretativa de la obra. Así, mientras que en una obra pudiera ser importante monitorear el esfuerzo de la mano derecha al tocar una guitarra, en otra el monitoreo de interpretación podría enfocarse en el tiempo que la mano derecha permanece alejada del instrumento. En dichos ejemplos, es posible que fuera necesario utilizar dos sensores distintos, por lo cual la configuración del dispositivo debería poder variar.

Finalmente, también fue importante que las distintas configuraciones pudieran reflejarse en los costos de construcción, permitiendo que el dispositivo pudiera construirse a un bajo costo, utilizando componentes básicos, y que pudiera adaptarse a otras configuraciones de mayor costo si fuese necesario. En resumen, uno de los objetivos primordiales del proyecto es la adaptabilidad.

Concepto y descripción técnica

Se decidió que el Kutturani no fuera un diseño fijo, sino que pudiera responder a la necesidad de adaptabilidad antes planteada. Entonces, más que un producto definido, el Kutturani es un concepto sobre el cual se puede construir el dispositivo que mejor se adecue a la obra o a las necesidades del creador o intérprete. No se trata de un instrumento, ya que el objetivo no es interactuar directamente con él, sino de un sistema de aumentación que depende de la interacción con un instrumento acústico para generar procesamiento de audio o iniciar eventos sonoros.

El diseño básico del concepto del Kutturani incorpora una lista mínima de componentes que le permiten funcionar y cumplir con las metas fijadas:

- Un microcontrolador (placa de desarrollo) para capturar y procesar datos (y audio cuando sea posible).

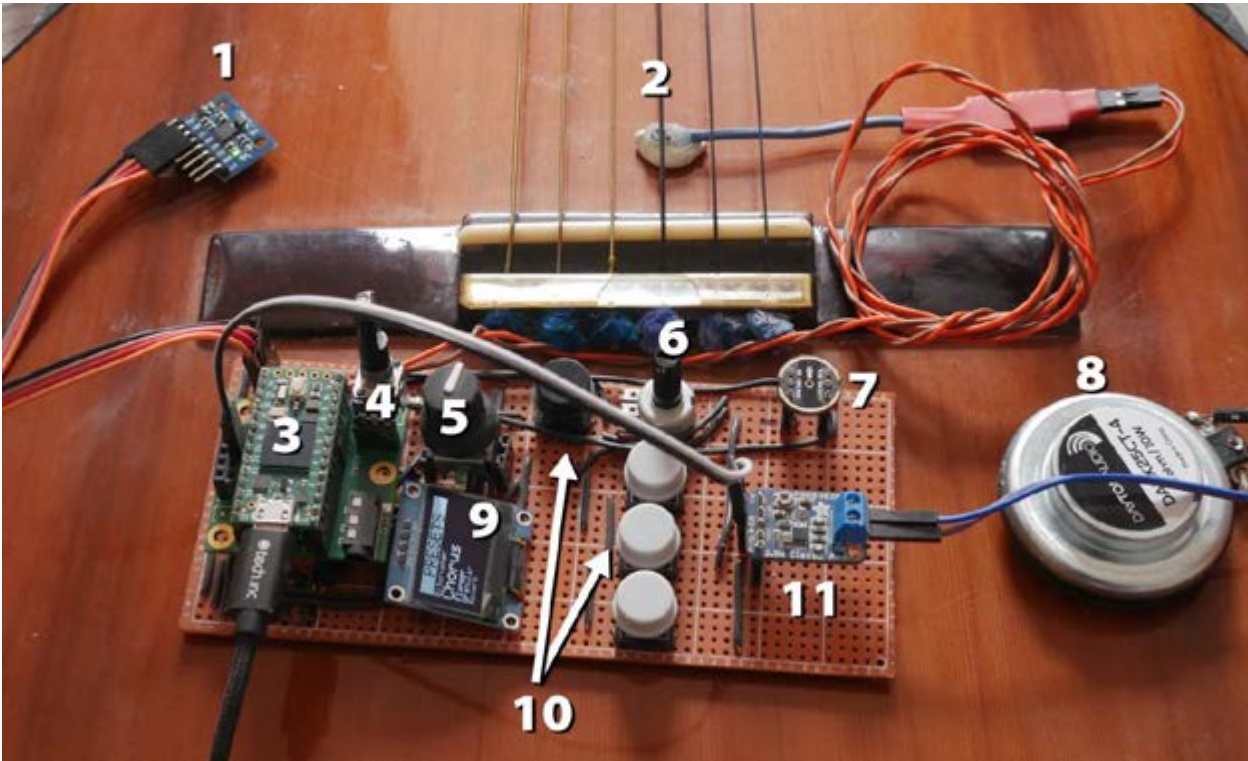


Imagen 2 Prototipo del kuturani con un microcontrolador Teensy 4.0 [3] montado sobre la placa de audio [4]. Los otros componentes son un giroscopio/acelerómetro MPU6050 [1], un micrófono electret miniatura [2], un encoder rotativo [5], un potenciómetro [6], un micrófono omnidireccional I2S INMP441 [7], un transductor [8], una pantalla OLED [9], botones [10] y un amplificador de audio clase D PAM8302A [11]. En este prototipo no se incluyen puertos de expansión.

- Un conjunto básico de sensores para interactuar con el dispositivo y controlarlo.
- Puertos para instalar diversos sensores que permiten monitorear la interpretación de diferentes maneras.
- Una pantalla LCD, TFT u OLED para interactuar con el dispositivo, y un micrófono para capturar audio.
- Un transductor para emitir audio mediante el cuerpo del instrumento, conectado a un sistema de amplificación.
- Software básico que permita al usuario crear distintos procesos sonoros.

El componente más crucial de un dispositivo como éste es, sin duda, el microcontrolador. Inicialmente se consideró trabajar con placas de desarrollo de gran capacidad, como Bela (<https://bela.io>), placas de la familia Beagle (<https://www.beagleboard.org>) o Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.com>). Sin embargo, a pesar de

que dichas placas cuentan con los recursos necesarios para llevar a cabo casi cualquier proyecto musical, fueron descartadas por sus elevados costos.

Se decidió trabajar con tres placas distintas con un poder de procesamiento considerable y que ofrecen, con ciertas limitaciones, bastantes posibilidades para el desarrollo de proyectos musicales, incluyendo la conexión y el monitoreo de sensores mientras ejecutan el procesamiento de audio digital (DSP). Las tres placas elegidas son Teensy 4.0, Daisy Seed y ESP32, cuyos precios rondan los treinta dólares o menos, en comparación con precios superiores a los cien dólares de las placas mencionadas con anterioridad.

Se desarrollaron entonces tres versiones del Kuturani utilizando estas placas y siguiendo el mismo concepto. Posteriormente se diseñó una cuarta versión utilizando la versión de más bajo costo del ESP32, conocida como Super Mini, cuyo precio ronda los cinco dólares o menos.

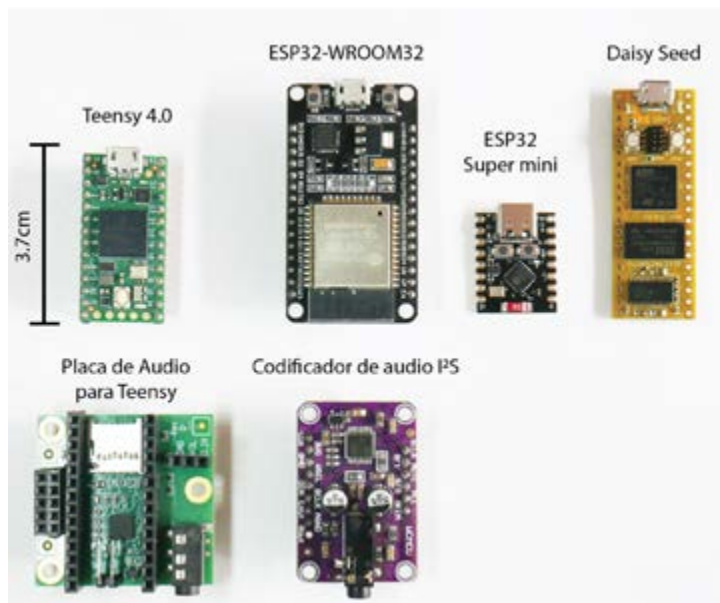


Imagen 3 Las cuatro placas de desarrollo usadas en los diseños del Kuturani. Teensy y ESP32-WROOM32 se apoyan del uso del Teensy Audio Shield (placa de audio) y módulo UDA1334A, respectivamente, para codificar audio a través del protocolo I2S. ESP32 Super mini se comunica con dispositivos móviles que se encargan de procesar audio. Daisy Seed cuenta con un circuito integrado encargado de procesar audio, así como salidas de audio.

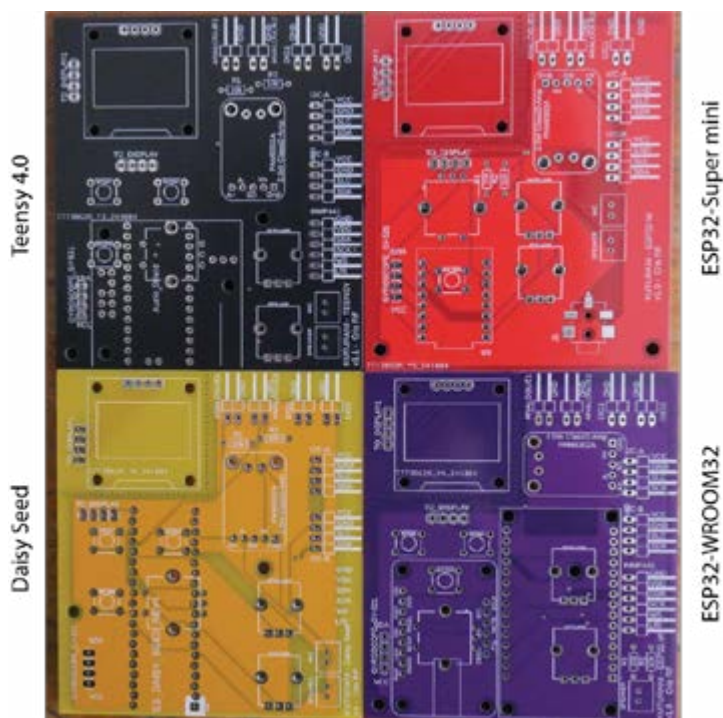


Imagen 4 Placas de circuito impreso de las cuatro versiones del Kuturani.

Para las cuatro versiones se diseñaron placas de circuito impreso con el fin de conectar todos los componentes. Los módulos electrónicos utilizados en todas las versiones son comerciales y de bajo costo. Además, suelen conseguirse fácilmente en tiendas de electrónica locales en México, que es donde se desarrolló este proyecto. El objetivo es que los usuarios puedan reproducir el dispositivo sin la necesidad de recurrir a procesos complejos de ensamblaje que sólo pueden llevarse a cabo en plantas manufactureras o en manos de expertos que cuentan con equipo profesional.

La mayoría de los componentes básicos se encuentran en todas las versiones, con variaciones como el número de botones o potenciómetros incluidos. Sin embargo, la gran diferencia radica en los microcontroladores, ya que sólo algunos tienen la capacidad de hacer procesamiento digital de audio (DSP). El Teensy, por ejemplo, cuenta con una placa de audio que integra el circuito integrado SGTL5000 como codificador de audio. Dicha placa facilita el procesamiento de audio al brindar conexiones de entrada y salida, además de ser compatible con una extensa biblioteca de audio publicada por la compañía que desarrolla el Teensy. Por otra parte, Daisy Seed también cuenta con entradas y salidas de audio directamente en la placa de desarrollo, así como una completa biblioteca de audio.

El ESP32-WROOM32 —aunque en desventaja con otras versiones de módulos de ESP32 (como el Audio Kit ESP32-A1S)— también puede procesar audio. Sin embargo, Espressif, la compañía que produce este chip, no ha lanzado una biblioteca de audio similar a las de Teensy o Daisy Seed, dificultando el uso para usuarios con poca experiencia. Por otra parte, existen bibliotecas creadas por desarrolladores independientes que siguen en evolución constante y ofrecen cada vez más posibilidades de desarrollo. Por ejemplo, Arduino Audio Tools de Phil Schatzmann cuenta con un set de herramientas para hacer síntesis (Synthesis ToolKit, STK), compatibilidad con otras bibliotecas de sintetizadores, integración con Maximilian, Mozzi, FAUST y PureData, además de filtros, ecualizadores y efectos de audio.

Finalmente, la versión que utiliza el ESP32 Super Mini no es capaz de procesar audio. En este caso, se

optó por hacer uso de las capacidades de conexión de la placa para enviar datos vía Wifi a dispositivos móviles, mismos que se encargan de procesar el audio y enviarlo al transductor montado en el instrumento musical. Así que, en lugar de utilizar una biblioteca de audio que funciona directamente en la placa de desarrollo, se utilizan mensajes OSC para comunicarse con programas creados en Pure Data (<https://puredata.info>) que corren dentro de MobMuPlat (<https://danieliglesia.com/mobmuplat/>) en los dispositivos móviles.

El sistema incluye el uso de un transductor (véase imagen 2) como medio de salida del audio digital generado, el cual debe estar montado directamente sobre el cuerpo del instrumento. De esta manera se generan vibraciones dentro de las cajas de resonancia, haciendo que sea el mismo instrumento acústico el que emane y proyecte el sonido sintético. Esto permite que la audiencia pueda percibir el sonido como un elemento más del timbre del instrumento, e incluso lograr el efecto de morfosis sonora, transformando el timbre del instrumento acústico. Esta posibilidad, sin embargo, viene acompañada de varias dificultades técnicas.

Uno de los aspectos más críticos para lograr la morfosis tímbrica, así como para usar los efectos de audio en tiempo real a través del cuerpo del instrumento mediante el transductor montado es el control de la retroalimentación. Para solucionar este problema, en la versión Teensy se implementó un algoritmo de Mínimos Cuadrados Móviles (Least Mean Squares, LMS) basado en el algoritmo de Cancelación Adaptativa de Retroalimentación desarrollado en el Hospital Nacional de Investigación Boys Town. El algoritmo original está disponible en la biblioteca CHAPRO, que implementa varias técnicas para hacer funcionar aparatos de prótesis auditiva (audífonos) (*GitHub-BoysTownOrg/Chapro*, s/f). Chip Audette desarrolló una versión del algoritmo para la biblioteca de su Tympan (*Tympan*, s/f-a; *Tympan*, s/f-b), la cual fue adaptada para su uso en el Kuturani-Teensy.

El algoritmo típico de Cancelación Adaptativa de Retroalimentación tiene el siguiente flujo de señales: la entrada deseada, la señal capturada por el micrófono, la señal de salida y la ruta de retroalimentación que ali-

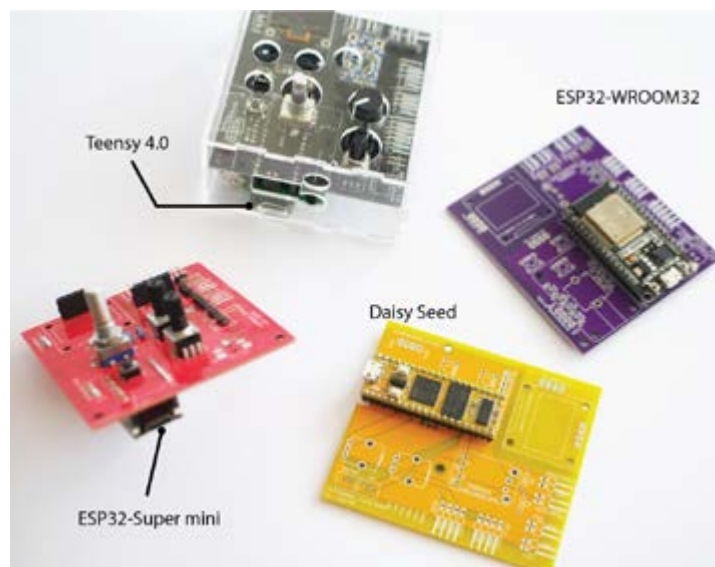


Imagen 5 Cuatro versiones del Kuturani en distintas etapas de ensamblaje. Nótese que los microcontroladores se instalan por la parte inferior para dar espacio a otros componentes. Daisy Seed y ESP32-WROOM32, están colocados sobre la parte superior para mostrar su tamaño en relación a las placas de circuito.

menta el sistema en un bucle. El algoritmo busca estimar y restar la señal de retroalimentación de la señal del micrófono. Esto se logra colocando un filtro de respuesta de impulso finito paralelo al procesamiento de audio. Los coeficientes del filtro se actualizan de forma continua para emular la respuesta de impulso de la ruta de retroalimentación (imagen 6).

Esta versión es una variante del algoritmo conocido como de Mínimos Cuadrados Móviles Normalizado (NLMS), que ayuda a mitigar algunos problemas de inestabilidad al reducir la sensibilidad de los coeficientes al nivel de la señal de entrada. A pesar de los ajustes que pueden hacerse al algoritmo, cambios de localización del micrófono o el transductor pueden provocar problemas de retroalimentación. Esto significa que el sistema, si bien puede calibrarse, suele ser inestable al instalarse en un nuevo instrumento, ya que cada cuerpo de resonancia ofrece una respuesta distinta. Hasta el momento de la escritura de este artículo no se ha implementado un sistema de cancelación de retroalimentación para las versiones con ESP32 y Daisy Seed.

Por supuesto, en el corazón del proyecto se encuentra el código de programación que recoge datos, hace cálculos, procesa audio y controla el sistema. Conside-

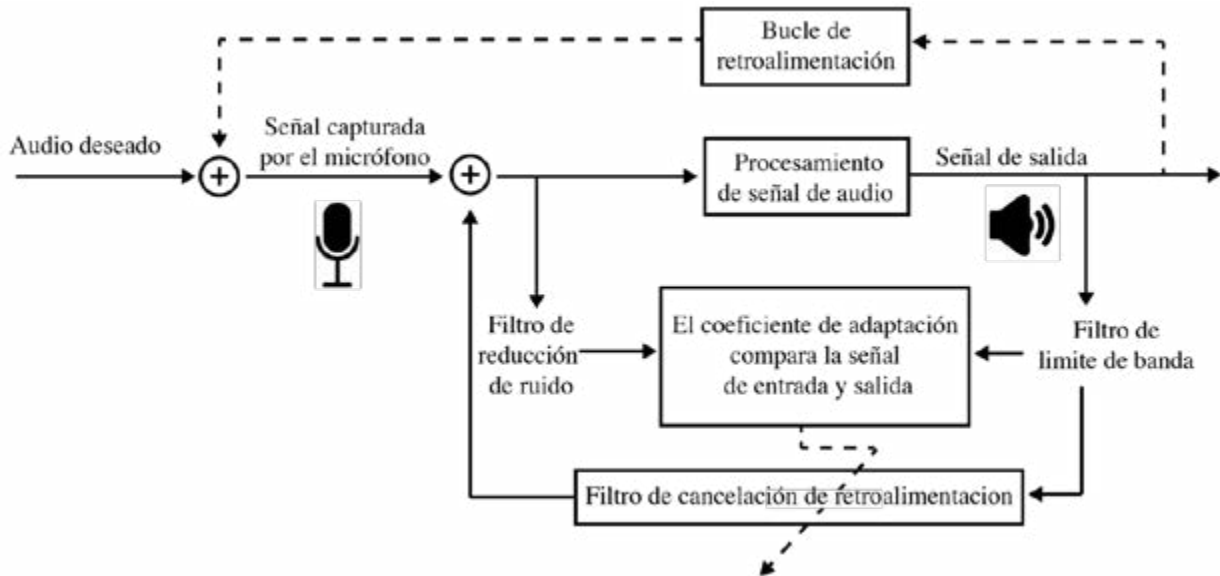


Imagen 6 Flujo de señal en el sistema de cancelación de retroalimentación.

rando que se busca la posibilidad de intercambiar componentes, sensores e incluso el microcontrolador, se diseñó un código que sirve como base para las distintas configuraciones posibles. Actualmente el código (disponible en www.kuturani.com) puede ser muy complejo para usuarios inexpertos. Sin embargo, se está trabajando en simplificarlo, seccionándolo en módulos que eventualmente conformarán una biblioteca que esté claramente documentada y que sea fácil de usar.

También se han realizado talleres en la Escuela Nacional de Estudios Superiores (ENES) en Morelia, México, con el fin de mostrar a nuevos usuarios cómo construir el Kuturani y utilizar el código. Derivado de dichos talleres y reconociendo la curva de aprendizaje para quienes inician en este campo, se está haciendo un curso en video que, si bien es largo, muestra a los usuarios lo necesario para iniciarse en la programación, diseñar placas de circuito impreso y métodos de fabricación digital para construir un Kuturani. El curso en video se encuentra también disponible en la página del proyecto, y tanto el curso como el código se estarán actualizando conforme los materiales estén disponibles.

Al momento de la escritura de este artículo se está trabajando en la nueva versión del código y se planea una aplicación que facilite su uso y la programación de los microcontroladores, mismos que estarán dispo-

nibles en un futuro. También se creará un curso en video y manuales que permitan programar un Kuturani en pocos pasos, y que reemplacen al curso que actualmente se encuentra en la página web.

El código de programación está pensado para usarse de la misma manera independientemente del controlador elegido. Para esto se ha programado su funcionamiento de la siguiente manera:

En primer lugar, se define el microcontrolador, lo que reasigna los pines y funciones de inicio en setup() de acuerdo con la selección realizada. Esto hace que los sensores básicos —botones, encoder rotativo, potenciómetros, giroscopio y pantalla OLED— funcionen de la misma manera.

En las cuatro versiones se han incluido puertos para sensores digitales y puertos para sensores analógicos, así como puertos para sensores con circuitos integrados I²C. No obstante, los puertos de expansión están definidos solamente como analógico, digital o I²C. Esto significa que, en el caso de los puertos analógicos y digitales, el usuario deberá definir el rango de datos recopilados de acuerdo con el sensor utilizado. Por otro lado, se ha incluido una biblioteca con archivos .h que incluyen configuraciones automáticas de algunos sensores I²C, mismos que el autor deberá incluir en el código para que éstos funcionen.

Finalmente, los datos obtenidos pueden usarse de las siguientes maneras:

- Los datos se organizan y se envían como un mensaje a través del protocolo serial, mismo que puede ser utilizado en un tercer dispositivo para controlar síntesis o eventos sonoros
- En el caso de los ESP32, los datos se codifican para el protocolo OSC y, a través de una red creada por el mismo ESP32, se envían a un tercer dispositivo.
- En el caso de Teensy, Daisy Seed y ESP32-WROOM32 se han incluido algunos efectos de sonido —que corren dentro del programa cargado en los microcontroladores— cuyos parámetros y disparadores pueden ser controlados por los datos recogidos (véase imagen 8). Sin embargo, se recomienda considerar detalles y consecuencias del uso de estos efectos ya que puede presentarse la retroalimentación si no se tiene el control adecuado del flujo de señal. También es posible enviar los datos y el audio recopilados a un tercer dispositivo, como una computadora, para su procesamiento externo y la reintroducción del audio procesado al instrumento acústico utilizando el sistema de audio del Katurani.

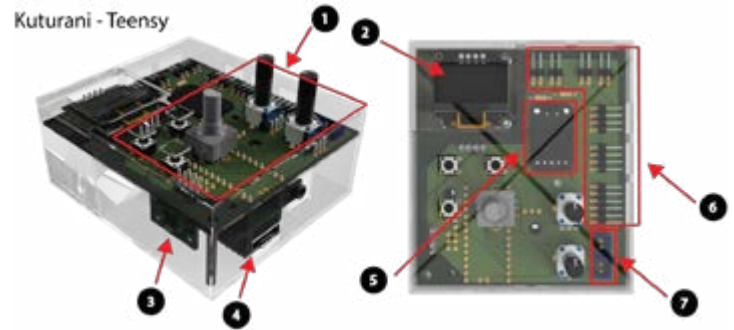


Imagen 7 Render del Katurani-Teensy donde se pueden observar botones [1], encoder y potenciómetros que se usan normalmente para calibrar y configurar el sistema (que pueden ser reprogramados), pantalla OLED [2], giroscopio [3], microcontrolador Teensy y placa de audio [4], amplificador de audio [5], puertos de expansión [6] y puertos de entrada y salida de audio [7].

El código de programación se limita a los elementos básicos aquí mencionados; los procesos de audio más complejos deberán ser explorados por el usuario. El control de dichos procesos podrá entonces hacerse tomando los datos que el sistema recoge y re-mapeándolos en el sistema que el usuario proponga, ya sea asignando los valores que arrojan las variables, leyendo los datos de los mensajes seriales o de los mensajes OSC, según sea el caso. La imagen 8 muestra el flujo de datos dentro del Katurani en las versiones que pueden pro-

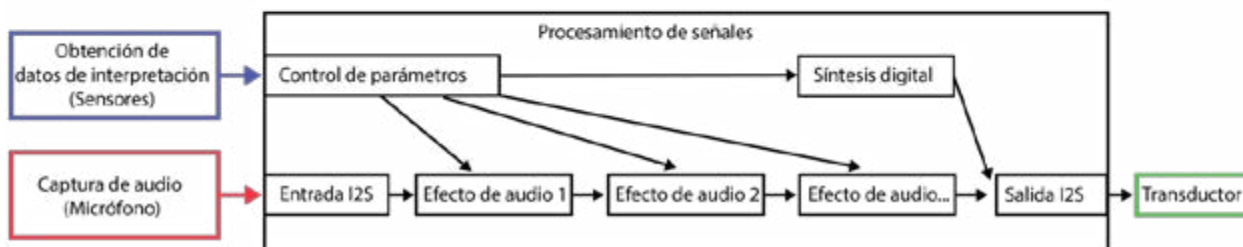
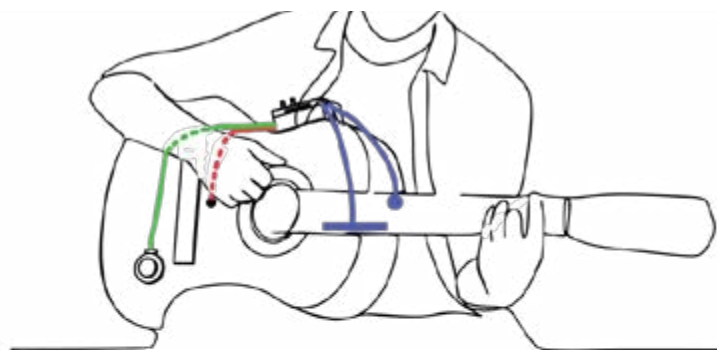


Imagen 8 Flujo de datos de audio y de sensores y su uso dentro del sistema.

cesar audio (Teensy, Daisy Seed y ESP32-WROOM32). Para la versión del ESP32 super mini, o usando otros microcontroladores similares que envíen datos a un tercer dispositivo —como una computadora—, los módulos mostrados en el recuadro «Procesamiento de señales» de la imagen 8 deben ser construidos dentro del tercer dispositivo. En una versión que hemos desarrollado, estos módulos corren dentro de un patch de Pure Data que corre en un dispositivo móvil, usando Mob MuPlat.

Más detalles de diseño del Katurani están disponibles en la página del proyecto: www.katurani.com.mx, donde también se pueden encontrar otros recursos como demos, e instrucciones en video y PDF de cómo construir una de las versiones del Katurani.

El proceso de construcción presentado en el video sirve como ejemplo para que los usuarios puedan fabricar sus propios dispositivos. Estos recursos están a disposición del público, de acceso gratuito, con el fin de atender nuestra meta de usar este proyecto como un medio para la democratización del campo de construcción de interfaces.

Discusión y conclusiones

El proyecto Katurani es un caso claro en el que la obra musical puede expresarse en los tres elementos del Modelo Tripartita: la *partitura* ayuda a definir la manera en que se realice la configuración del Katurani, así como la selección de sensores y mapeos necesarios; por otro lado, la *interpretación* nutre las decisiones que establecen dicha configuración, proponiendo ciertas direcciones que puede tomar la obra y transformando a la obra una vez que ésta se presenta; y finalmente, el *medio*, es decir el Katurani, establece un marco dentro del cual la *partitura* y la *interpretación* se limitan o expanden. Así, el conjunto e interacción entre los tres elementos forman a la obra musical, y tratar de separar a estos elementos transformaría a la obra.

Queda claro que en obras que utilicen nuestro sistema (así como otros medios tecnológicos), el desarrollo de la tecnología se convierte en una parte impor-

tante del proceso creativo y de la obra final. Claudio Fuentes argumenta que la relación entre el compositor y el medio puede convertirse en un sistema extendido que ofrece al compositor «funcionalidades nuevas o no disponibles en las capacidades cognitivas o primitivas del compositor», y que los componentes de dicho sistema se nutren «recíprocamente a través de la eliminación progresiva de la intermediación semántica (software) y actúan como un sistema acoplado» (Fuentes & Schumacher, 2021). Fuentes hace esta reflexión sobre José Vicente Asuar (Chile, 1933-2017) y su Computador Musical Digital Analógico Asuar (COMDASUAR), pero consideramos que la relación compositor/medio/interprete, análogos a los elementos del Modelo Tripartita, son también un sistema extendido que se nutre a sí mismo. Por lo tanto, creemos que la decisión de explorar sistemas personalizables —a diferencia de sistemas fijos como históricamente se ha hecho— tiene el potencial de enriquecer al sistema compositor/medio/intérprete y a las obras musicales, además de que abre la posibilidad a que la obsolescencia del sistema no llegue de manera tan contundente como suele pasar con diseños que no son fácilmente replicables. Y que, además, pueda evolucionar en distintas direcciones gracias a que sigue el modelo *open source*.

Por otro lado, aún hay varios aspectos del Katurani por explorar y desarrollar, entre otros, la implementación del control de retroalimentación de todas las versiones descritas, la ampliación de la biblioteca para permitir una configuración fácil del sistema, hacer más eficiente el código y depurarlo para facilitar su comprensión y uso, explorar distintos métodos de activación de los cuerpos resonantes de los instrumentos, implementar un sistema de alimentación de energía (por ahora funciona conectando un banco de poder directamente al puerto USB de los microcontroladores), desarrollar un método de auto-calibración del sistema de control de retroalimentación.

Finalmente, se espera tener retroalimentación de usuarios que construyan, modifiquen y utilicen el sistema. Esto demostraría que el proyecto se acerca al objetivo de ayudar a la democratización del campo de desarrollo de interfaces.

La importancia del presente proyecto radica tal vez en que se busca abrir un campo que, hasta cierto punto, ha estado históricamente relegado en Latinoamérica, y que esfuerzos como éste pueden ayudar a acercar a un público amplio a través de un estilo de «hágalo usted mismo».

En este artículo se han discutido aspectos teóricos de la importancia de la tecnología en el quehacer musical, así como detalles de nuestro desarrollo tecnológico. No obstante, queda por estudiar el uso real que se le dará al Kuturani —o a cualquier dispositivo similar— y como éste puede cambiar las perspectivas creativas y los resultados sonoros.

El concepto de obra musical continúa siendo cuestionado desde distintas perspectivas. El uso de nuevas tecnologías no sólo impone otras cuestiones, sino que también nos obliga a reflexionar sobre nuestro papel y relación con la obra musical desde las perspectivas de creador, intérprete o receptor. Hoy en día, cuando la IA es capaz de generar nuevos materiales musicales a través del análisis de modelos, nos lleva a reflexionar acerca de si nosotros mismos, como creadores, estamos imitando modelos que nos han influenciado. Por otro lado, puede ser que la misma tecnología sea la que nos obligue a explorar nuevas direcciones musicales y que debamos a ella gran parte de lo que define a la obra musical.

Agradecimientos

Se reconoce y agradece al personal de la Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como al Centro Mexicano para la Música y las Artes Sonoras (CMMAS) por su apoyo. Este texto es parte del proyecto de investigación «Instrumentos aumentados. Tecnología y creatividad como elementos cardinales de la obra musical», apoyado por el programa de becas posdoctorales en la UNAM del Programa de Fortalecimiento Académico de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), bajo la asesoría de Jorge Rodrigo Sigal Sefchovich, coautor del texto.

Bibliografía

- Ablinger, P. (2009, octubre 5). *Speaking Piano—Now with (somewhat decent) captions!* <https://www.youtube.com/watch?v=muCPjK4nGY4>
- Benacchio, S., Chomette, B., Mamou-Mani, A., & Ollivier, F. (2016). Modal proportional and derivative state active control applied to a simplified string instrument. *Journal of Vibration and Control*, 22(18), 3877-3888. <https://doi.org/10.1177/1077546314566440>
- Benacchio, S., Mamou-Mani, A., Chomette, B., & Caussé, R. (2012). Active control applied to string instruments. *Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference*, 367-372.
- Bevilacqua, F., Rasamimanana, N. H., Fléty, E., Lemouton, S., & Baschet, F. (2006). The augmented violin project: Research, composition and performance report. *6th International Conference on New Interfaces for Musical Expression* (NIME 06), 402-406. <https://hal.science/hal-01161349>
- Brown, C. (2023, junio 12). *Dinosaur Choir – Web Version 0.1*. <https://dino.courtney-brown.net/>
- Brown, C. (2025, abril 7). *Dinosaur Choir: Adult Corythosaurus*. <https://www.youtube.com/watch?v=IEXZVlmzVcE>
- Burtner, M. (2002). The Metasaxophone: Concept, implementation, and mapping strategies for a new computer music instrument. *Organised Sound*, 7(02), 201-213.
- Clift, P. (2012). Acoustic-Aggregate-Synthesis. *Proceedings of ICMC 2012, Non-Cochlear Sound*, 120-123.
- Clift, P. (2016). *Acoustic-Aggregate-Synthesis | Paul Clift*. <https://www.paulclift.net/aas/>
- Cook, P., & Lieder, C. (2000). SqueezeVox: A New Controller for Vocal Synthesis Models. *Proceedings of ICMC 2000. International Conference on Mathematics and Computing*, San Diego, CA USA.
- Cook, P. R. (2001). Principles for Designing Computer Music Controllers. *Proceedings of the CHI'01 Workshop on the New Interfaces for Musical Expression*, 3-6.
- Cook, P. R. (2004). Remutualizing the Musical Instrument: Co-Design of Synthesis Algorithms and Controllers. *Journal of New Music Research*, 33(3), 315-320. <https://doi.org/10.1080/0929821042000317877>
- Curtis, B., & Dan, T. (2001). Interface. Electronic Chamber Ensemble. *Proceedings of the CHI'01 Workshop on the New Interfaces for Musical Expression*, 19-23.
- Dal Farra, R. (2006). Something Lost, Something Hidden, Something Found: Electroacoustic Music by Latin American Composers. *Organised Sound*, 11(2), 131-142. <https://doi.org/10.1017/S1355771806001397>

- Dal Farra, R. (2022). Part of Computer Music History... (Trust Me, Latin America Has Always Been There!). *Computer Music Journal*, 46(1-2), 8-24. https://doi.org/10.1162/comj_a_00632
- Freed, A., Wessel, D., Zbyszynski, M., & Uitti, F. M. (2006). Augmenting the cello. *Proceedings of the 2006 conference on New interfaces for musical expression*, 409-413. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1142314>
- Fuentes, C., & Schumacher, F. (2021). José Vicente Asuar y el COMDASUAR. *Epistemos. Revista de Estudios en Música, Cognición y Cultura*, 9(2), 033. <https://doi.org/10.24215/18530494e033>
- GDG France (Director). (2019, octubre 31). [DevFest Nantes 2019] La guitare Lâg HyVibe [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=DklaYgf3VbE>
- GitHub-BoysTownOrg/CHAPRO. (s/f). Recuperado el 7 de junio de 2024. <https://github.com/BoysTownOrg/chapro>
- Goehr, L. (2007). *The imaginary museum of musical works: An essay in the philosophy of music* (Rev. ed.). Oxford Univ. Press.
- Grosshauser, T., Candia, V., Hildebrand, H., & Tröster, G. (2012, junio 1). Sensor Based Measurements Of Musicians' Synchronization Issues. *Proceedings of the International Conference of New Interfaces for Musical Expression 2012*. NIME 2012, Ann Arbor, Michigan. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1178269>
- Grosshauser, T., & Tröster, G. (2013, junio 1). Finger Position and Pressure Sensing Techniques for String and Keyboard Instruments. *Proceedings of the International Conference of New Interfaces for Musical Expression 2013*. NIME 2013, Daejeon, Republic of Korea. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.1178538>
- Herrera, E. (2024). Iannis Xenakis in Argentina: Reception, Dialogues, and Exchanges. *Twentieth-Century Music*, 21(2), 164-179. <https://doi.org/10.1017/s1478572223000026>
- Houlès, F. (2017). *Le premier quatuor à cordes hybride, l'exemple de Smaqra de Juan Arroyo* (L'Harmattan).
- HyVibe Guitar – The world's first Smart Guitar (2024). HyVibe. <https://www.hyvibeguitar.com/>
- IRCAM (2014). IMAREV | Acoustique Instrumentale. <http://instrum.ircam.fr/imarev/>
- IRCAM (2015). SmartInstruments | Acoustique Instrumentale. *Acoustique Instrumentale. Modèles, synthèse, contrôle, aide à la facture instrumentale*. <http://instrum.ircam.fr/smartinstruments/>
- Jenkins, L., Trail, S., Tzanetakis, G., Driessen, P., & Page, W. (2013). An Easily Removable, wireless Optical Sensing System (EROSS) for the Trumpet. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 352-357. http://nime.org/proceedings/2013/nime2013_261.pdf
- Lähdeoja, O. (2008). An Approach to Instrument Augmentation: The Electric Guitar. *NIME*, 53-56. <http://www.academia.edu/download/30208619/10.1.1.140.3830.pdf#page=71>
- Lähdeoja, O. (2016). Active Acoustic Instruments for Electronic Chamber Music. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 16, 132-136.
- Lambert, B. (1986). Technical development of musical instruments: Brass. En J. Peyser (Ed.), *The Orchestra: A Collection of 23 Essays on Its Origins and Transformations*. (pp. 153-168). Billboard Books.
- Lerner, M. M. (2019). Latin American NIMES: Electronic Musical Instruments and Experimental Sound Devices in the Twentieth Century. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression 2019*. NIME 2019, Porto Alegre, Brazil.
- Machover, T. (1986). The Extended Orchestra. En J. Peyser (Ed.), *The Orchestra: A Collection of 23 Essays on Its Origins and Transformations* (pp. 583-600). Billboard Books.
- Machover, T. (1992). *Hyperinstruments. A progress Report 1987-1991*. MIT.
- Mamou-Mani, A., Ménage, F., Puvilland, S., Pennisi, G., & Beaulier, F. (2021). *Active Vibration Control Applied to Flat Panel Loudspeakers Using the HyVibe Pro*.
- Manning, P. (2003). The Influence of Recording Technologies on the Early Development of Electroacoustic Music. *Leonardo Music Journal*, 13, 5-10. <https://doi.org/10.1162/096112104322750719>
- Martínez Ávila, J., Hazzard, A., Greenhalgh, C., Benford, S., & McPherson, A. (2023). The Stretchy Strap: Supporting encumbered interaction with guitars. *Journal of New Music Research*, 52(1), 19-40. <https://doi.org/10.1080/09298215.2023.2274832>
- Martínez Ávila, J. P., Tragtenberg, J., Calegario, F., Alarcon, X., Cadavid Hinojosa, L. P., Corintha, I., Dannemann, T., Jaimovich, J., Marquez-Borbon, A., Matus Lerner, M., Ortiz, M., Ramos, J., & Solís García, H. (2022). Being (A) part of NIME: Embracing Latin American Perspectives. *Proceedings of New Interfaces for Musical Expression*, 2022, Auckland, 33.
- Martínez, I. (2010). Experimentación sonora contemporánea. En *(Ready) Media: Hacia una arqueología de los medios y la invención en México*. Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura INBAL.

- McPherson, A. (2017). *Magnetic Resonator Piano – Andrew McPherson*. Magnetic Resonator Piano. <https://andrewmcperson.org/project/mrp>
- Molino, J. (1990). Musical Fact and the Semiology of Music (J. A. Underwood, Trad.). *Music Analysis*, 9(2), 105.
- Morreale, F., Guidi, A., & McPherson, A. (2019). Magpick: An Augmented Guitar Pick for Nuanced Control. *Proceedings of the International Conference of New Interfaces for Musical Expression 2019*. NIME 2019, Porto Alegre, Brazil.
- Nattiez, J. J. (1990). *Music and discourse: Toward a semiology of music*. Princeton University Press.
- Nichols, C. (2000). The Vbow: A Haptic Musical Controller Human-Computer Interface. *ICMC '00 Proceedings*. International Computer Music Conference, ICMC 2000, Berlin, Germany. <https://ccrma.stanford.edu/~cnichols/pdf/NicholsvBowAHapticMusicalControllerICMC2000.pdf>
- Nichols, C. (2003). *The Vbow an expressive musical controller haptic human-computer interface* [Ph.D.]. Stanford University.
- Odgers Ortiz, A. (2000). *La música electroacústica en México* [BA in Music Composition, UNAM]. <http://132.248.9.195/pd2000/279765/279765.pdf>
- Oliveros, P. (1995). Acoustic and Virtual Space as a Dynamic Element of Music. *Leonardo Music Journal*, 5, 19-22.
- Overholt, D., Berdahl, E., & Hamilton, R. (2011). Advancements in Actuated Musical Instruments. *Organised Sound*, 16(02), 154-165. <https://doi.org/10.1017/S1355771811000100>
- Palacio-Quintin, C. (2008). Eight Years of Practice on the Hyper-Flute: Technological and Musical Perspectives. *Proceedings of the International Conference of New Interfaces for Musical Expression*, 293-298.
- Poepel, C., & Overholt, D. (2006). *Recent Developments in Violin-related Digital Musical Instruments: Where Are We and Where Are We Going?*
- Ramos, C., Murphy, J., & Norris, M. (2019). HypeSax: Saxophone acoustic augmentation. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 365-370. http://www.nime.org/proceedings/2019/nime2019_paper070.pdf
- Ramos Flores, C. (2021). *Integrating Score, Performance, and Medium in the work-concept: The HypeSax as a Case Study* [Doctoral Dissertation, Victoria University of Wellington]. Victoria University of Wellington Repository. https://openaccess.wgtn.ac.nz/articles/thesis/Integrating_Score_Performance_and_Medium_in_the_work-concept_The_HypeSax_as_a_Case_Study/14837754
- Reboursière, L., Lähdeoja, O., Drugman, T., Dupont, S., Picard-Limpens, C., & Riche, N. (2012). Left and right-hand guitar playing techniques detection. *NIME*. http://www.eecs.umich.edu/nime2012/Proceedings/papers/213_Final_Manuscript.pdf
- Rector, D., & Topel, S. (2014). EMdrum: An Electromagnetically Actuated Drum. *Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression*, 395-398.
- Rocha Iturbide, M. (2004). Cronología comparada de la historia de la música electroacústica. *Pauta. Cuadernos de Teoría y Crítica Musical*, 22(Vol. XXII, No. 89). <https://www.artesonoro.net/articulos/Cronologia.pdf>
- Rocha Iturbide, M. (2008). Música y tecnología en México. *Revista Digital Universitaria*, 9(1).
- Schiesser, S., & Schacher, J. C. (2012). SABRe: The Augmented Bass Clarinet. *Proceedings of the International Conference of New Interfaces for Musical Expression*. NIME 2012, Ann Arbor, Michigan.
- Serafin, S., & Young, D. (2003). Bowed String Physical Model Validation through use of a Bow Controller and Examination of Bow Strokes. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustics Conference*, (SMAC 03).
- Sigal Sefchovich, J. R. (2010). Electroacoustic Music in Mexico. *Rupkatha Journal On Interdisciplinary Studies in Humanities - Revisiting Latin American Literature and Arts, Special Issue dedicated to the Bicentennial of Mexican Independence*, 2, 220-246.
- Talbot, M. (2000). The Work-Concept and Composer-Centredness. En M. Talbot (Ed.), *The Musical Work: Reality or Invention?* (pp. 168-186). Liverpool University Press.
- Tympan (s/f-a). GitHub. Recuperado el 7 de junio de 2024, de <https://github.com/Tympan>
- Tympan (s/f-b). Tympan. Recuperado el 7 de junio de 2024, de <https://shop.tympan.org/>
- Vaggione, H. (2001). Some Ontological Remarks about Music Composition Processes. *Computer Music Journal*, 25(1), 54-61.
- Vázquez, H. (2005). Rizoma y gestualidad en la música atonal. *Pauta. Cuadernos de Teoría y Crítica Musical*, Vol. XXIII, No. 95.
- Young, D., Nunn, P., & Vassiliev, A. (2006). Composing for Hyperbow: A collaboration between MIT and the Royal Academy of Music. *Proceedings of the 2006 conference on New Interfaces for Musical Expression*, 396-401. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1142311>