

Live Coding Análogo con Dosis Web: Salir de la Pantalla

Camilo Andrés Nemocón Farfán (canfcero@gmail.com)

Álvaro O'Byrne (alvarobyrne@gmail.com)

Laura Zapata (laurazapata1991@gmail.com)

Bogotá, Colombia

Resumen— El laboratorio "Live Coding Análogo con Dosis Web" fue un espacio de experimentación, investigación y creación colectiva centrado en el live coding y el hardware hacking, articulado alrededor de Dosis Web —plataforma de software libre del colectivo mpqtrrxrxnxs (Camilo Nemocón, Laura Zapata y Álvaro O'Byrne) que integra programación algorítmica en tiempo real con Arduino para controlar motores, sensores, luces y actuadores directamente desde el navegador. El laboratorio propone un modelo de creación que integra pensamiento, código y materia, convirtiendo el código en un gesto performático y a los dispositivos electrónicos en extensiones del proceso creativo, dentro de una práctica multidisciplinar que dialoga entre arte, ciencia y tecnología.

Palabras Claves— Live Coding, Hardware Hacking, Arduino, Análogo, Esculturas Cinéticas, Coreografías Humano-Máquina, Performance Audiovisual, Hibridación Análogo-Digital..

I. RESUMEN DEL LABORATORIO

El laboratorio se concibió como un espacio de experimentación, investigación, creación y producción colectiva, centrado en el live coding (codificación en vivo) y el hardware hacking como metodologías principales para la construcción de performances audiovisuales inmersivos y expandidos de manera análoga, proyectados en el Domo del Planetario de Bogotá. La actividad se articuló alrededor de Dosis Web (<https://toplapbogota.github.io/dosisweb/>), una plataforma de software libre para live coding desarrollada por el colectivo mpqtrrxrxnxs (Camilo Nemocón, Laura Zapata y Álvaro O'Byrne), que integra la programación algorítmica en tiempo real con el hardware hacking, ampliando las posibilidades de creación en las artes digitales contemporáneas.

Dosis Web permite ejecutar y modificar código durante la performance para generar audio y visuales en tiempo real, e incorpora una integración nativa con Arduino (<https://www.arduino.cc/en/about/#what-is-arduino>) que posibilita controlar dispositivos físicos, motores, sensores, luces y actuadores directamente desde el entorno web. De esta manera, el microcontrolador responde de forma inmediata a los comandos del usuario, y el código se convierte en un puente entre el mundo digital y el material, permitiendo la construcción y manipulación de esculturas

cinéticas e instrumentos electroacústicos como parte del proceso creativo.

Durante diez sesiones de tres horas, organizadas en siete etapas temáticas: conceptualización, herramientas (Arduino y Dosis Web), live coding visual, artefactos cinéticos análogos, live coding sonoro, creación audiovisual, y cierre y socialización. Los 12 participantes del laboratorio experimentaron con la construcción de objetos electroacústicos, técnicas de hardware hacking y la improvisación con código, fomentando una reflexión sobre la estética visual y sonora y la exploración de dispositivos sonoros intervenidos. En paralelo, se impulsó la creación de visuales mediante objetos cinéticos controlados por Arduino a través del live coding, ampliando la experiencia hacia una narrativa escénica híbrida entre lo digital y lo material.

En síntesis, este laboratorio busca ser un espacio de exploración tecnológica y artística que fomente la imaginación, la creación colectiva y la experimentación estética, trascendiendo los límites de las formas visuales y musicales convencionales. Su propuesta se inspira en la estética de la música electroacústica y el VJing, integrando técnicas interconectadas de live coding y hardware hacking para abrir nuevas formas de expresión entre el mundo físico-analógico y el digital.

El enfoque está puesto en el performance en vivo, privilegiando la improvisación como estrategia creativa. La propuesta, de carácter multidisciplinar, conecta prácticas como el performance, la poesía, la música y los medios audiovisuales, estableciendo un diálogo entre arte, ciencia y tecnología. En este marco, el código deja de ser únicamente una herramienta digital para convertirse en un instrumento performático análogo, capaz de producir experiencias artísticas expandidas.



Figura 1. Invitación pública.

<https://invitaciones.scrd.gov.co/verInvitacion/1100>

II. PLANTEAMIENTO CONCEPTUAL DEL LABORATORIO

En las últimas décadas, las prácticas artísticas contemporáneas han experimentado profundas transformaciones derivadas de la incorporación de tecnologías digitales a los procesos de creación.

La programación, la electrónica abierta, la fabricación digital y las culturas colaborativas han ampliado las posibilidades expresivas del arte, desplazando el interés desde la producción de objetos terminados hacia la construcción de procesos abiertos, experimentales y participativos (Manovich, 2001; Paul, 2016). Como plantea Hansen (2006), la tecnología digital no constituye únicamente un medio de representación, sino un mecanismo que transforma la percepción, el cuerpo y la experiencia del sujeto. En este contexto, la escritura de código, la construcción de circuitos y la improvisación performática constituyen las herramientas para entrelazar arte, ciencia y tecnología, bajo los principios de creatividad, experimentación y pensamiento crítico que fundamentan el laboratorio.

Estas herramientas se vinculan en la práctica de Live Coding y Performance de Algoritmos. McLean (2014) define esta práctica como "tener reglas y cambiarlas mientras se siguen las reglas mismas", resaltando su carácter dinámico, abierto e improvisado; en la misma línea, McLean y Wiggins (2010) y Collins y McLean (2014) la entienden como una práctica performática donde el código visible se convierte en el instrumento de improvisación, mostrando la transparencia del proceso creativo y permitiendo crear composiciones visuales y sonoras en tiempo real. Desde esta perspectiva, el código deja de ser un proceso invisible para convertirse en un instrumento de interpretación donde la composición ocurre simultáneamente con la ejecución (Collins, McLean, Rohrerhuber & Ward, 2003), y la comunidad internacional resume esta filosofía mediante el principio Show us your screens del manifiesto de TOPLAP, reivindicando la transparencia del proceso creativo al hacer visible el código durante la performance.

A partir de este concepto, el laboratorio busca vincular el Live Coding con la práctica análoga de la creación visual y sonora mediante la construcción de artefactos cinéticos, dada por la práctica del Hardware Hacking y la cultura DIY/DIT. Siguiendo los postulados de Nicolas Collins (2006) y John Richards (2013), el hackeo no se entiende como una intervención destructiva de la tecnología, sino como un proceso de apropiación, reinterpretación y resignificación creativa de objetos y sistemas electrónicos. Estas prácticas se articulan con las culturas DIY (Do It Yourself), DIT (Do It Together) y DIWO (Do It With Others), que promueven formas de aprendizaje colaborativo, experimentación abierta y producción colectiva de conocimiento (Lieberman, 2015). De esta manera, en el laboratorio se fomenta la apropiación crítica de la tecnología, transformando objetos cotidianos en interfaces

expresivas sonoras y visuales, y promoviendo una ecología de medios y un empoderamiento tecnológico.

Para relacionar estos dos conceptos —Live Coding y Hardware Hacking— se utiliza la plataforma Dosis Web, la cual se convierte en una herramienta para explorar la máquina (Arduino) y el código (software); ambos se entrelazan para crear nuevas subjetividades y experiencias estéticas, difuminando las fronteras entre lo físico y lo digital. Como señalan Blackwell y Cocker (2022), el Live Coding no solo transforma la relación entre el artista y el computador, sino que redefine la interacción entre pensamiento, acción y representación durante el acto creativo; en el contexto contemporáneo, donde la creación artística transita cada vez más entre lo digital y lo análogo sin establecer jerarquías, Dosis Web ofrece una herramienta metodológica que permite explorar estas hibridaciones desde una perspectiva crítica, experimental y formativa.

Los resultados finales del laboratorio buscan generar una interacción corporeizada y colaborativa. Siguiendo a Blackwell (2015) y a Olaya-Figueroa, Zapata-Cortés y Nemocón-Farfán (2019), estos espacios de experimentación se conciben como un medio para aproximar al artista y la audiencia; por ello, la propuesta busca generar una experiencia dentro del evento Sonar CK:Web, un espacio perfecto, en donde une a artistas y público en un ambiente de diálogo, disolviendo la barrera entre performer y espectador y promoviendo una creación colectiva.

Esta relación entre pensamiento humano, código y máquina puede leerse también desde la Teoría del Actor-Red (Latour, 2005), según la cual tanto los seres humanos como los elementos no humanos participan como actantes dentro de una red dinámica de relaciones: el performer escribe código, el algoritmo interpreta decisiones, Arduino traduce instrucciones digitales, y motores, luces y actuadores responden físicamente, modificando a su vez las decisiones del performer en un ciclo continuo de retroalimentación. La agencia no reside exclusivamente en el sujeto humano, sino que emerge de las interacciones entre múltiples entidades que, de acuerdo con su posición y capacidad de mediación dentro de la red, ejercen distintos niveles de influencia sobre el desarrollo del proceso. Desde esta perspectiva, el concepto de Coreografías Humano-Máquina deja de ser únicamente una categoría teórica para convertirse en un principio metodológico y ontológico que atraviesa todo el laboratorio: la coreografía no describe solamente el movimiento de los dispositivos, sino las relaciones que se establecen entre personas, algoritmos, objetos y materiales durante el proceso creativo.

Finalmente, en este marco el código deja de ser únicamente una herramienta digital para convertirse en un instrumento performático análogo, capaz de producir experiencias artísticas expandidas. El objetivo final del laboratorio es construir un espacio horizontal de colaboración en el que artistas, programadores, diseñadores, makers y comunidades diversas trabajen juntos en la creación de un performance colectivo, utilizando el código y el hardware hackeado como medios expresivos para una práctica artística abierta,

experimental y colaborativa, una pedagogía lúdica y creativa que no separa lo conceptual de lo físico, sino que los comprende como dimensiones coexistentes y complementarias del proceso de aprendizaje.

III. METODOLOGÍA GENERAL

El taller se realizó en 10 sesiones de 3 horas cada una, con 2 sesiones por semana, enfocadas cada vez en un tema relevante a nivel conceptual y técnico en torno al live coding, los artefactos cinéticos y la electrónica. En cada módulo se expusieron las herramientas para su uso y se proveyó a los participantes de los materiales requeridos para hackear y/o construir objetos electroacústicos y artefactos cinéticos. El taller se dividió en siete etapas: (1) conceptualización, teoría e introducción al live coding y hardware hacking análogo; (2) herramientas (Arduino y Dosis Web); (3) live coding visual; (4) artefactos cinéticos análogos; (5) live coding sonoro; (6) creación audiovisual; y (7) cierre y socialización.

Metodológicamente, esta propuesta surge del interés por establecer un puente entre dos prácticas que históricamente han evolucionado de manera paralela dentro de las artes mediales: el Live Coding, centrado en la improvisación algorítmica para la generación de sonido e imagen, y el Hardware Hacking, orientado a la apropiación, modificación y construcción de dispositivos físicos como medio de experimentación artística. Aunque ambos campos comparten una filosofía basada en el software libre, la experimentación y la cultura Do It Yourself, sus espacios de desarrollo rara vez convergen en una misma práctica performática; de ahí la pregunta que orienta el laboratorio: ¿cómo establecer puntos de encuentro creativos entre lo digital y lo análogo mediante la programación en vivo?, y las inquietudes derivadas: ¿cómo co-crear con las máquinas?, ¿cómo aprender colaborativamente mediante la experimentación, la práctica y el error?, ¿cómo reformular las relaciones entre pensamiento, código y materia?

En consecuencia, la metodología no se plantea como un proceso lineal de diseño y validación tecnológica, sino como un proceso de investigación-creación en el que la construcción de la herramienta y la práctica performática evolucionan simultáneamente, aproximándose a los planteamientos de Research through Design, según los cuales el conocimiento puede producirse mediante la creación de artefactos y la reflexión derivada de su uso (Frayling, 1993; Zimmerman, Forlizzi & Evenson, 2007). Dosis Web no constituye únicamente una herramienta de apoyo al laboratorio: es, al mismo tiempo, el dispositivo desde el cual se investiga la relación entre programación, materialidad y performance, siguiendo un proceso iterativo de cuatro fases interdependientes —conceptualización, desarrollo tecnológico, experimentación material y experimentación performática— en las que las decisiones conceptuales, el diseño de la plataforma y la construcción de dispositivos físicos se retroalimentan continuamente.

En términos técnicos, Dosis Web fue implementada como una aplicación web de software libre en HTML, CSS y JavaScript, privilegiando tecnologías abiertas que favorecen

la accesibilidad, la reutilización y la apropiación tecnológica por parte de comunidades creativas (Kelty, 2008; Eglash, Croissant, Di Chiro & Fouché, 2004), y eliminando la necesidad de instalar software especializado al trasladar el proceso creativo al navegador. El editor de código se implementó mediante CodeMirror (Haverbeke, 2012); el control de dispositivos físicos se realiza mediante Johnny-Five (Waldron, 2012) —biblioteca de JavaScript orientada a la robótica y al Internet de las Cosas que utiliza el protocolo Firmata para comunicarse con placas Arduino—, sobre la cual se desarrolló una API propia que simplifica el control de motores, sensores, servomotores, LED, relés y actuadores. La incorporación de la API Web Serial de los navegadores modernos permite la comunicación directa entre el navegador y Arduino, sin depender de aplicaciones nativas en Node.js. La plataforma se integra además con hydra-synth (Jack, 2022) para la generación de visuales en tiempo real, y con el protocolo Open Sound Control mediante BrowserGlue (Silvani, 2021), facilitando la sincronización con herramientas como SuperCollider (McCartney, 2002) y Strudel (Roos, 2017) para la síntesis sonora.

Este proceso metodológico estuvo guiado por una lógica de aprender haciendo (learning by doing), característica de las culturas DIY, DIT y DIWO: en lugar de transmitir conocimientos cerrados sobre programación o electrónica, se propusieron escenarios donde el conocimiento emerge mediante la práctica compartida, la construcción colectiva, el ensayo y el error. El error deja de entenderse como una falla para convertirse en una estrategia de descubrimiento, mientras la colaboración sustituye la lógica tradicional experto-aprendiz por una comunidad de práctica donde artistas, programadores, diseñadores y makers construyen conjuntamente herramientas, dispositivos y experiencias performáticas.

Inicialmente se expusieron los conceptos de hardware hacking, artefactos cinéticos y live coding, mostrando un estado del arte con proyectos relacionados con estos medios. Posteriormente se explicaron las herramientas y programas utilizados para la codificación en vivo y el hackeo de elementos electrónicos, realizando ejercicios introductorios con Dosis Web, Arduino y SuperCollider. En el siguiente módulo se profundizó en la plataforma Dosis Web (<https://toplapbogota.github.io/dosisweb/>; <https://github.com/toplapbogota/escapar-de-la-pantalla>) como herramienta open source de live coding, mediante ejemplos prácticos de composición visual y sonora, analizando desde el código hasta lo práctico para generar visuales análogas que responden al sonido ambiente y a comandos del teclado.

Se continuó con artefactos cinéticos mediante la técnica del Hardware Hacking, proveyendo las herramientas necesarias para construir, reconstruir y alterar elementos con componentes electrónicos y crear objetos cinéticos y electroacústicos, para posteriormente enfocarse en el protocolo de comunicación de datos bidireccional entre la placa Arduino y Dosis Web, generando audio improvisado con los elementos hackeados. La siguiente etapa

correspondió a la sección de audio, en la que se utilizó SuperCollider para crear y modificar síntesis de sonido con live coding, generando una estructura rítmica que complementa la composición sonora de los objetos electrónicos hackeados; la plataforma permite además transmitir mensajes por OSC a otras plataformas de audio, para que ejecuten composiciones a partir de las acciones de live coding generadas desde Dosis Web.

A partir de este conocimiento, los participantes crearon sus propias composiciones sonoras y visuales análogas, reflexionando sobre la adaptación del sistema de live coding y hardware hacking a la forma de pensar del artista, y reconociendo los límites y las posibilidades de expansión del entorno y los medios utilizados. Finalmente, cada participante desarrolló un prototipo de circuito electrónico capaz de mover una escultura cinética productora de sonido, integrando las composiciones visuales análogas y de audio de cada uno en un performance grupal, mediante el cual compusieron colaborativamente un set audiovisual entre todos los participantes.

IV. PROGRAMACIÓN GENERAL DEL LABORATORIO "LIVE CODING ANÁLOGO CON DOSIS WEB: SALIR DE LA PANTALLA"

Día 1 · Miércoles 22 de julio de 2026

Introducción al laboratorio: Introducción al Live Coding, artefactos cinéticos y hardware hacking (filosofía hacker y herramientas).



Figura 2. Charla de Live coding · ciencia abierta · hacktivismo
Foto de Alvaro Obyrne

La primera sesión estuvo orientada a introducir a los participantes en los conceptos, prácticas y referentes que fundamentan el laboratorio. Se realizó inicialmente la presentación de los talleristas y participantes, propiciando un espacio de reconocimiento e intercambio alrededor de los intereses comunes relacionados con el arte, la tecnología y los medios digitales.

Posteriormente se presentó la estructura general del laboratorio, sus objetivos, contenidos y metodología de trabajo, introduciendo los conceptos de Live Coding, Hardware Hacking, artefactos cinéticos, filosofía hacker y herramientas de creación tecnológica.

La sesión finalizó con una charla de la artista y música Laura Zapata sobre Net Art, Live Coding y la historia del hacktivismo, estableciendo un contexto histórico y conceptual para comprender las relaciones entre prácticas artísticas, tecnologías digitales, cultura hacker y creación experimental.

La metodología combinó presentación participativa, conversación colectiva y exposición de referentes, buscando que los conceptos fueran abordados desde la experiencia e intereses de los participantes. Como conclusión, se logró identificar la diversidad de intereses y experiencias del grupo en torno al arte y la tecnología, facilitando la construcción de un lenguaje común para las prácticas que serían exploradas durante el laboratorio.

Día 2 · Viernes 24 de julio de 2026

Herramientas Dosis Web: instalación y explicación de la plataforma.



Figura 3. Entrega de Kits de desarrollo para uso con Dosis Web
Foto de Alvaro Obyrne

La segunda sesión estuvo dedicada a la introducción práctica de Dosis Web como herramienta principal del laboratorio. Se realizó la entrega de los kits electrónicos de desarrollo del taller, y posteriormente la instalación y explicación de la plataforma.

Durante la sesión se desarrollaron los primeros ejercicios prácticos utilizando LED, con el propósito de familiarizar a los participantes con el funcionamiento básico de Arduino, la protoboard y la construcción de circuitos electrónicos sencillos, estableciendo una primera relación entre la escritura de código y la respuesta física de los componentes.

La sesión se desarrolló mediante una metodología de aprendizaje práctico basada en el principio de learning by doing, introduciendo los conceptos de programación y electrónica a partir de ejercicios progresivos. Como conclusión, los participantes comenzaron a comprender la relación entre el código y el comportamiento físico de los dispositivos, planteando desde el comienzo la conexión entre código, dispositivos físicos y creación artística.

Día 3 · Lunes 27 de julio de 2026

Herramientas Dosis Web: plataforma con motores.

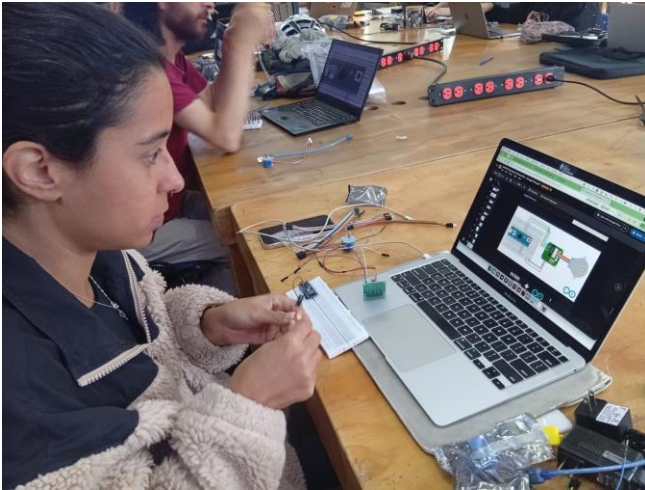


Figura 4. Uso de motores paso a paso con Dosis Web
Foto de Laura Zapata

La tercera sesión estuvo dedicada a ampliar las posibilidades de Dosis Web mediante el control de diferentes tipos de motores (DC, servomotores y motores paso a paso). Los participantes exploraron formas de controlar el movimiento de los motores mediante código, observando cómo la plataforma transforma instrucciones algorítmicas en comportamientos físicos.

Se implementó una metodología progresiva basada en ejercicios prácticos, partiendo de los conocimientos adquiridos en la sesión anterior. Como conclusión, esta sesión de experimentación permitió establecer relaciones entre parámetros del código —velocidad, dirección— y el comportamiento de los motores, evidenciando que Dosis Web trasciende la generación de contenidos digitales al producir movimiento y comportamiento físico.

Día 4 · Miércoles 29 de julio de 2026

Hardware Hacking y artefactos cinéticos: experimentación y ejercicios de componentes electrónicos para la creación de visuales análogos.



Figura 5. Dosis Web y componentes electrónicos
Foto de Camilo Nemocón

La cuarta sesión permitió finalizar el proceso introductorio a Dosis Web mediante un ejercicio práctico con relés y motores DC, seguido de una introducción al Hardware Hacking y a la construcción de artefactos cinéticos.

Como ejercicio de experimentación material, los participantes construyeron rieles para engranajes que servirían como estructura base para el desarrollo posterior de esculturas cinéticas, trasladando los conocimientos de electrónica y programación hacia la construcción física de dispositivos.

La sesión evidenció la importancia de vincular el conocimiento técnico con la experimentación material: el diseño físico del dispositivo condiciona las posibilidades de movimiento y, por tanto, las posibilidades expresivas de la programación.

Día 5 · Viernes 31 de julio de 2026

Hardware Hacking y artefactos cinéticos: experimentación con componentes electrónicos y uso de Inkscape.

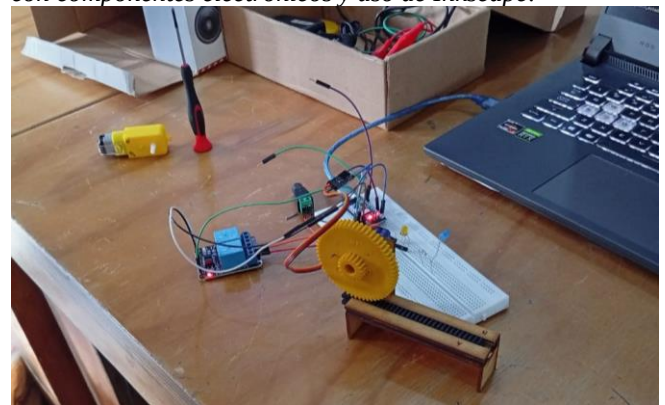


Figura 6. Creación de planos para corte con Inkscape
Foto de Camilo Nemocón

La quinta sesión se centró en la experimentación con componentes electrónicos y la construcción de prototipos cinéticos. Los participantes finalizaron dispositivos basados en servomotores, rieles y poleas, y se introdujo el uso de Inkscape como herramienta para la elaboración de planos y elementos necesarios para la construcción de los dispositivos.

La metodología combinó diseño, construcción, experimentación y programación, incorporando herramientas de código abierto para la creación de planos de corte láser. Como hallazgo, se evidenció que las características mecánicas de cada dispositivo análogo generan nuevas posibilidades y limitaciones dentro de la programación de Dosis Web, motivando ajustes en la plataforma para cumplir con las necesidades expresivas identificadas.

Día 6 · Lunes 3 de agosto de 2026

Hardware Hacking y prototipos cinéticos: experimentación para la creación de prototipos y esculturas cinéticas.



Figura 7. Proceso de construcción de esculturas cinéticas
Foto de Alvaro Obyrne

La sexta sesión profundizó en la experimentación con componentes electrónicos, prototipos y esculturas cinéticas, enfocándose en ejercicios de Hardware Hacking y la construcción de esculturas inspiradas en el trabajo de The VAPE. Dosis Web fue utilizada como herramienta de control para explorar diferentes comportamientos y respuestas de los dispositivos.

La metodología se basó en la experimentación abierta, el prototipado y el ensayo y error, con acompañamiento centrado en resolver problemas técnicos a partir de la experimentación directa. La experimentación permitió identificar que, a partir de elementos cotidianos y de la naturaleza, se pueden crear artefactos cinéticos activados mediante electrónica y código, generando comportamientos que dan vida a las esculturas creadas.

Día 7 · Miércoles 5 de agosto de 2026

Live Coding Audio: composición con SuperCollider y Strudel; creación de patrones musicales y música generativa.



Figura 8. Live Coding con Strudel
Foto de Alvaro Obyrne

La séptima sesión estuvo dedicada a la exploración del Live Coding aplicado al sonido, utilizando SuperCollider y Strudel, trabajando en la creación de patrones musicales, estructuras rítmicas y procesos de música generativa.

Los participantes experimentaron con la escritura y modificación de código durante la ejecución, desarrollando ejercicios prácticos de composición algorítmica. La experimentación sonora amplió la comprensión del Live Coding como práctica artística interdisciplinar, e identificó

posibilidades de relación entre los patrones generados digitalmente y los sonidos producidos por las máquinas y dispositivos construidos durante el laboratorio.

Día 8 · Miércoles 12 de agosto de 2026

Experimentación y creación sonora: composiciones por medio de la improvisación con código, utilizando los prototipos hackeados.

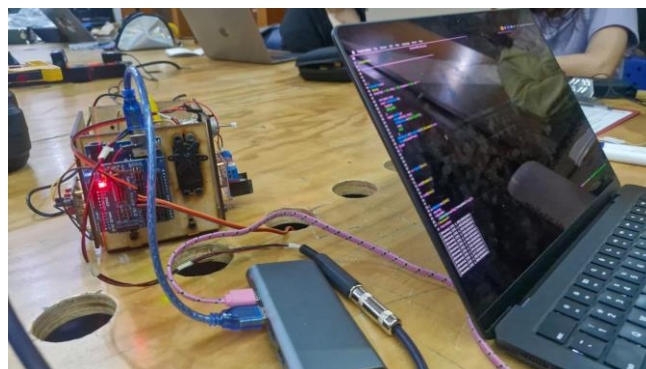


Figura 9. Composición sonora con piezoeléctricos sobre motores
Foto de Camilo Nemocón

La octava sesión profundizó en la creación sonora mediante Live Coding, integrando los dispositivos desarrollados en sesiones anteriores. Los participantes realizaron composiciones sonoras utilizando los prototipos hackeados como fuentes de sonido, pensando las máquinas no solo como objetos visuales, sino como elementos compositivos.

Al finalizar la sesión se conformaron los grupos de trabajo para el desarrollo de las propuestas de la muestra de resultados, iniciando el tránsito del trabajo individual hacia la construcción de propuestas colaborativas.

Día 9 · Viernes 14 de agosto de 2026

Experimentación en hardware hacking y audio: consolidación de las propuestas grupales.

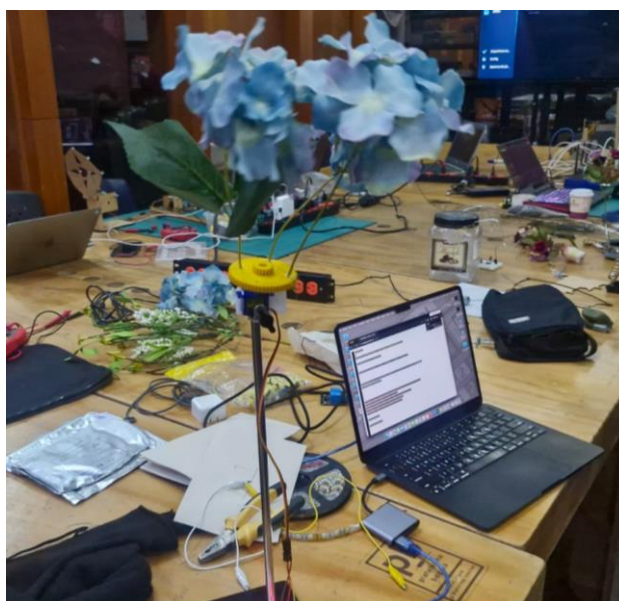


Figura 10. Propuesta de jardín de flores mecánicas
Foto de Camilo Nemocón

La novena sesión estuvo orientada a consolidar las propuestas grupales, continuando el desarrollo de composiciones sonoras mediante improvisación con código y el uso de los prototipos construidos. Cada grupo presentó una primera aproximación de su proyecto y recibió retroalimentación de los talleristas, y se socializaron los requerimientos técnicos y espaciales para la presentación en el Domo.

La metodología combinó presentación de avances, retroalimentación colectiva, experimentación y ajustes técnicos. La presentación de los proyectos permitió identificar diferentes formas de abordar la relación entre máquina, sonido, movimiento e imagen, evidenciando que la misma herramienta puede generar resultados muy diversos según las decisiones conceptuales y expresivas de cada grupo.

Día 10 · Miércoles 19 de agosto de 2026

Experimentación colaborativa: desarrollo de proyectos y preparación de la presentación final.



Figura 11. Desarrollo de propuestas colaborativas
Foto de Alvaro Obyrne

La décima sesión estuvo dedicada al desarrollo de los proyectos grupales y a la preparación de las propuestas performáticas para el Domo: los grupos trabajaron en la articulación entre las máquinas construidas, los elementos sonoros y las visualizaciones a proyectar, realizando ajustes en dispositivos y códigos para una relación coherente entre componentes.

Se implementó una metodología colaborativa basada en la división de tareas, la experimentación conjunta y la retroalimentación permanente, con acompañamiento técnico y conceptual de los talleristas. El trabajo colectivo permitió evidenciar que Dosis Web es una buena herramienta para la expresión creativa en la construcción de máquinas, complementando los diferentes conocimientos de los participantes para resolver problemas de electrónica, construcción y composición.

Día 11 · Viernes 21 de agosto de 2026

Sesión de acompañamiento y apoyo de proyectos: desarrollo y preparación de la presentación final.



Figura 12. Pruebas técnicas de Dosis y máquinas
Foto de Laura Zapata

La undécima sesión estuvo dedicada al acompañamiento final de los proyectos y a la preparación técnica de la muestra, con pruebas de las esculturas cinéticas, los sistemas de control y las composiciones audiovisuales. Adicionalmente, se desarrolló un taller de Hydra, cuya integración permitió generar y procesar visuales directamente desde el entorno de Dosis Web, ampliando las posibilidades audiovisuales de las propuestas.

La metodología se centró en el acompañamiento personalizado, la resolución de problemas, las pruebas técnicas y el ensayo de las propuestas performáticas. La sesión permitió comprender que el objetivo del laboratorio no consistía únicamente en construir máquinas funcionales, sino en convertirlas en instrumentos dentro de una composición audiovisual performática.

Día 12 · Viernes 29 de agosto de 2026

Muestra de resultados del laboratorio se realizó en el marco de la Franja Sonar de CK:\WEB.



Figura 13. Desarrollo de propuestas colaborativas
Foto de Alvaro Obyrne

La muestra de resultados constituyó el cierre del proceso de investigación y creación desarrollado durante el laboratorio. Se presentaron cinco grupos en el Domo, donde las máquinas construidas durante el proceso fueron integradas a performances audiovisuales, proyectando visuales sobre la cúpula e incorporando sonidos producidos o procesados a partir de las máquinas desarrolladas. Durante el performance de cada grupo se practicó el Live Coding, haciendo visible el código y evidenciando su relación con el movimiento y comportamiento de los dispositivos físicos.

La muestra se desarrolló como una experiencia performática en la que código, sonido, imagen, movimiento y dispositivos físicos se integraron en tiempo real, permitiendo trasladar los aprendizajes del laboratorio a un contexto público y convirtiendo el Domo en un espacio de experimentación y socialización de resultados. La presentación materializó el concepto central de "salir de la pantalla", trasladando el Live Coding desde la generación de contenidos exclusivamente digitales hacia el control y comportamiento de máquinas físicas, y evidenciando una relación de co-agencia entre performer, código y máquina, en la que las decisiones tomadas mediante Live Coding producían transformaciones visibles y sonoras en el espacio.

V. CONCLUSIONES DEL LABORATORIO

El desarrollo del laboratorio permitió identificar que la integración entre Live Coding y Hardware Hacking constituye una estrategia efectiva para ampliar las posibilidades de creación audiovisual. A lo largo de las sesiones, el código pasó progresivamente de ser comprendido como un lenguaje asociado exclusivamente al computador a convertirse en un medio para producir movimiento, luz, sonido y comportamiento físico.

Uno de los principales aprendizajes metodológicos fue la importancia del ensayo y error como mecanismo de aprendizaje y creación: las dificultades encontradas en la programación, la electrónica y la construcción de los dispositivos no fueron únicamente problemas técnicos, sino oportunidades para descubrir nuevas posibilidades expresivas. Asimismo, el proceso evidenció la importancia de trabajar desde una metodología horizontal y colaborativa, en la que la diversidad de conocimientos del grupo generó intercambios entre programación, electrónica, sonido, artes visuales y construcción de dispositivos, fortaleciendo la dimensión interdisciplinar del laboratorio.

Finalmente, la muestra en el Domo permitió comprobar la pertinencia de articular el proceso pedagógico con un resultado performático concreto: la posibilidad de presentar los proyectos en este espacio incrementó el compromiso de los participantes y favoreció la consolidación de propuestas más elaboradas e innovadoras.

VI. PERFIL DE LOS TALLERISTAS E INVITADOS

Colectivo mpqtrrxrnxs

Mpqtrrxrnxs es un colectivo interdisciplinar conformado por Álvaro O'Byrne, Camilo Andrés Nemocón y Laura Zapata. El colectivo hace parte de TOPLAP Bogotá (@toplapbogota; youtube.com/@toplapbogota4050) como un nodo de creación, investigación y experimentación alrededor del live coding, el hardware hacking, el sonido, la visualidad, el movimiento y la performance expandida.

Su práctica se articula alrededor de Dosis Web, una plataforma web de software libre creada por el colectivo, desarrollada en JavaScript, que permite controlar dispositivos físicos en tiempo real mediante live coding sobre Arduino. A través de esta herramienta, mpqtrrxrnxs explora la construcción de esculturas cinéticas, máquinas sonoras, dispositivos electromecánicos e interfaces performáticas que trasladan el código fuera de la pantalla y lo convierten en movimiento, luz, sonido y materia.

Como nodo de TOPLAP Bogotá, mpqtrrxrnxs se inscribe en una comunidad dinámica y orgánica de artistas, programadores, investigadoras, músicas, diseñadores y creadoras que entienden el live coding como una práctica de improvisación audiovisual, pensamiento crítico y creación colectiva. Desde metodologías horizontales, colaborativas y experimentales, el colectivo busca desdibujar las fronteras entre cuerpo, máquina, código, instrumento y espectador.

Su trabajo propone una apropiación sensible y crítica de la tecnología, entendiendo los objetos, circuitos y máquinas como sistemas expresivos capaces de generar experiencias estéticas, sonoras y performáticas. Inspirado por prácticas DIY, DIT y DIWO, así como por imaginarios posthumanos y ciberfeministas, mpqtrrxrnxs explora nuevas formas de relación entre lo humano, lo tecnológico y lo material.



Figura 14. Tallerista Alvaro Obyrne
Foto de Plataforma Bogotá

Álvaro José O'Byrne Orozco (@ant_caravan)

Físico de la Universidad Nacional de Colombia, programador de gráficas interactivas y live coder visual. Su práctica se centra en WebGL, JavaScript, Arduino, síntesis sonora, sincronización audiovisual y creación de instrumentos experimentales. Dentro de mpqtrrxrnxs participa en el desarrollo de Dosis Web y en la creación de sistemas que conectan sonido, visualidad, movimiento, iluminación y objetos cinéticos. Actualmente es profesor de programación en la Universidad Escuela de Artes y Letras en Bogotá.



Figura 15. Tallerista Camilo Nemocon
Foto de Plataforma Bogotá

Camilo Nemocón (@camilonemoconprojects)

Diseñador industrial con maestría en Ingeniería de Sistemas de la Universidad de los Andes. Su trabajo explora las nuevas tecnologías como medios para el diseño interactivo, la investigación artística y la creación de experiencias sensibles. Ha desarrollado proyectos en computación visual, tecnologías telemáticas, nuevos medios e interacción. Como integrante de mpqtrrxrnxs, participa en el desarrollo de Dosis Web y en la investigación de dispositivos físicos, interfaces y esculturas cinéticas controladas por código. Actualmente es profesor de interacción en la Universidad Jorge Tadeo Lozano.



Figura 16. Tallerista Laura Zapata
Foto de Plataforma Bogotá

Laura Zapata (@laza_levedad)

Compositora, música e investigadora en música, arte sonoro y tecnología. Su práctica se caracteriza por una profunda fascinación por el juego y la exploración sonora. En sus obras busca desdibujar las fronteras entre diversas disciplinas, promoviendo diálogos entre lo corpóreo, lo plástico, lo performático y lo narrativo, desde una perspectiva situada e histórico-social. A lo largo de su trayectoria ha explorado lenguajes como el paisaje sonoro, el minimalismo, la escucha profunda, la música electroacústica, el livecoding, la performance y el arte sonoro. Dentro de mpqtrrxrnxs participa en la creación conceptual, sonora y performática de Dosis Web, aportando una mirada crítica e interdisciplinar sobre las relaciones entre sonido, cuerpo, tecnología y problemáticas sociales.

Perfil de los participantes



Figura 17. Participante del taller
Foto de Camilo Nemocon

Los participantes del laboratorio "Live Coding Análogo con Dosis Web — Salir de la Pantalla" conforman un grupo interdisciplinar en el que convergen prácticas artísticas, tecnológicas, sonoras, audiovisuales y de experimentación electrónica. En conjunto, se identifica un interés común por trasladar la programación y los lenguajes digitales hacia experiencias físicas, interactivas y performativas, explorando las posibilidades que surgen de la relación entre código, electrónica, objetos, cuerpo, sonido y espacio.

El grupo presenta diferentes niveles de experiencia en las áreas abordadas por el laboratorio. De los 12 participantes analizados, 11 manifiestan experiencia en artes visuales o audiovisuales, 10 en electrónica/Arduino, 9 en programación, 7 en arte sonoro o música y 4 en live coding. Esto evidencia que el laboratorio reúne tanto participantes con experiencia previa directamente relacionada con el live coding como personas provenientes de disciplinas afines que buscan ampliar sus prácticas hacia la programación creativa, el hardware hacking y la creación de dispositivos físicos.

Un aspecto particularmente relevante es que la mayoría de los participantes no se acerca al laboratorio únicamente con la intención de adquirir conocimientos técnicos: sus respuestas evidencian una búsqueda por incorporar estas herramientas a procesos creativos existentes, desarrollar proyectos propios, experimentar con nuevos lenguajes y

generar cruces entre disciplinas. En este sentido, el laboratorio funciona como un espacio de transición entre lo digital y lo material, coherente con el propósito de "salir de la pantalla".

También se observa un marcado interés por las metodologías de experimentación, improvisación, error, código abierto y creación colectiva. Varios participantes expresan la intención de compartir sus conocimientos con otros integrantes y, simultáneamente, aprender de las experiencias y saberes del grupo.

VII. MUESTRA DE RESULTADOS – DOSIS DE MÁQUINAS

La muestra de resultados del laboratorio Live Coding Análogo con Dosis Web se presentó como un performance en el Domo del Planetario, en el marco de la Franja Sonar de CK:\WEB. La presentación reunió cinco grupos de participantes, quienes desarrollaron máquinas, artefactos cinéticos y dispositivos sonoros a partir de los conocimientos y experimentaciones realizados durante el laboratorio, con una asistencia aproximada de 300 personas.



Figura 18. Pieza de socialización en redes
Foto de Plataforma Bogotá

El performance propuso una expansión del Live Coding hacia el espacio físico, integrando código, imagen, sonido, movimiento y materia. Mediante Dosis Web, los participantes controlaron en tiempo real diferentes dispositivos construidos durante el laboratorio, mientras herramientas como Hydra y Strudel permitieron procesar visual y sonoramente las respuestas generadas por las máquinas: el código dejó de operar exclusivamente sobre la pantalla para convertirse también en una forma de producir movimiento, luz, sonido y comportamiento físico.

La muestra no se planteó únicamente como una exhibición de resultados técnicos, sino como una puesta en escena de las exploraciones desarrolladas durante el proceso. Las máquinas fueron concebidas como instrumentos performáticos, capaces de interactuar con el código y participar activamente en la composición audiovisual y mecánica, de modo que cada grupo construyó una propuesta particular a partir de la experimentación con motores, actuadores, mecanismos, sonido e imagen.

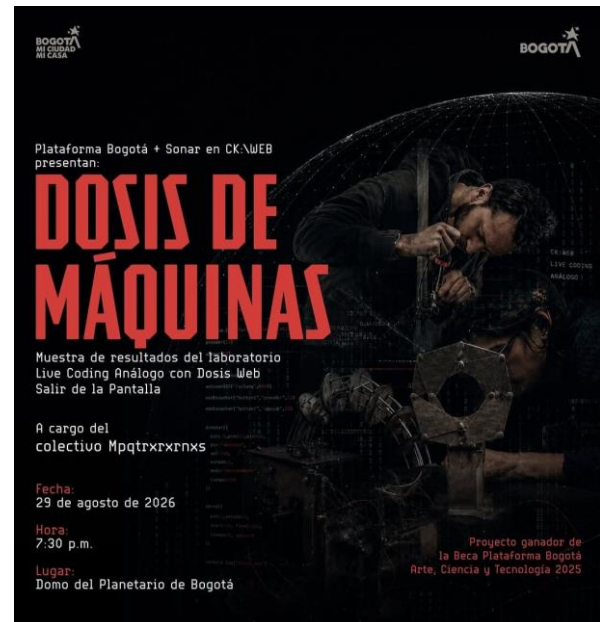


Figura 19. Pieza de socialización en redes
Foto de Plataforma Bogotá

En este contexto, el concepto de Live Coding Análogo Humano-Máquina permitió comprender la muestra como un proceso de interacción entre participantes, código, máquinas y espacio. El movimiento de los dispositivos no constituyó únicamente un resultado programado, sino parte de una relación dinámica en la que las características físicas y mecánicas de cada artefacto incidieron también en las decisiones creativas y en las posibilidades de programación, evidenciando que las condiciones materiales de los dispositivos generan nuevas posibilidades y limitaciones expresivas para Dosis Web.

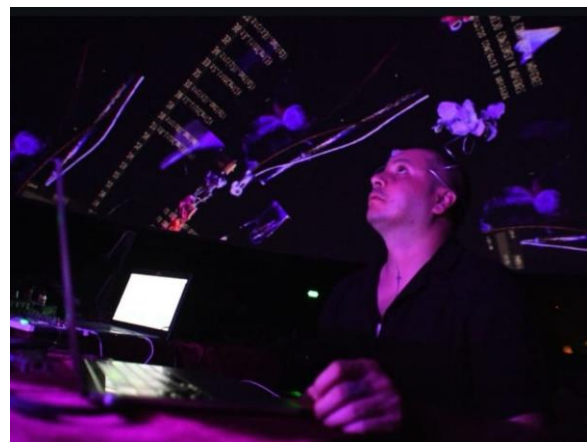


Figura 20. Visuales de Jardín de flores mecánicas sobre Domo
Foto de Plataforma Bogotá

Uno de los aspectos centrales de la presentación fue hacer visible el vínculo entre código y comportamiento físico. El público pudo observar en el Domo tanto las visualidades generadas a partir de las máquinas como el código utilizado durante la performance, evidenciando cómo las modificaciones realizadas en tiempo real producían transformaciones en el movimiento de los dispositivos. Al finalizar, se abrió un espacio de conversación con el público y se invitó a los asistentes a acercarse a las máquinas para observarlas directamente.

De esta manera, Dosis de máquinas sintetizó el propósito del laboratorio: salir de la pantalla para ampliar el campo expresivo del Live Coding hacia la materia, el movimiento y el espacio. La muestra evidenció que la integración entre programación en vivo, electrónica, mecanismos, sonido y visualidad permite construir experiencias performáticas en las que humanos, algoritmos y máquinas participan conjuntamente de una obra que se transforma durante su ejecución.



Figura 21. Performance con Dosis Web sobre Domo
Foto de Plataforma Bogotá

Hallazgos generales del proyecto Dosis Web

Más allá de la muestra puntual, el desarrollo de Dosis Web, como plataforma y como metodología, permitió demostrar que es posible integrar, dentro de un mismo entorno de creación, dos prácticas que tradicionalmente han

permanecido separadas: el Live Coding y el Hardware Hacking. La investigación evidenció que el código puede extenderse hacia el espacio físico y convertirse en un medio para controlar dispositivos electrónicos, esculturas cinéticas e instrumentos electroacústicos, ampliando significativamente las posibilidades expresivas del performance audiovisual.

Uno de los principales hallazgos consiste en que Dosis Web facilita los procesos de improvisación al integrar en una única interfaz la generación de sonido, visuales y el control de hardware. A diferencia de otros entornos de Live Coding, centrados principalmente en la síntesis audiovisual, la plataforma incorpora Arduino como una extensión del lenguaje de programación, permitiendo que cada modificación del código produzca simultáneamente transformaciones sonoras, visuales y físicas, y favoreciendo una improvisación expandida donde el performer compone también con movimiento, luz y artefactos análogos.

Otro resultado significativo fue la posibilidad de construir instrumentos performáticos personalizados: en lugar de utilizar interfaces comerciales estandarizadas, Dosis Web permitió diseñar y desarrollar máquinas sonoras, esculturas cinéticas y dispositivos electroacústicos adaptados a las necesidades expresivas de cada performance. Esta flexibilidad favoreció procesos de apropiación tecnológica en los que los participantes de talleres y laboratorios de Dosis Web resignificaron objetos cotidianos y componentes electrónicos, transformándolos en interfaces de creación artística.

Los resultados también evidenciaron que la construcción de dispositivos físicos modifica la manera en que los participantes comprenden la programación: el código dejó de percibirse como una abstracción informática para convertirse en una herramienta tangible cuyos efectos podían observarse inmediatamente en el comportamiento de motores, luces, sensores y mecanismos cinéticos, fortaleciendo la apropiación crítica de la tecnología y la construcción colectiva de conocimiento a partir del ensayo y el error.

Finalmente, la investigación permitió consolidar el concepto de Live Coding Análogo como una comunicación Humano-Máquina y una forma de práctica artística y metodológica, en la que la creación no reside exclusivamente en el performer ni en el sistema computacional, sino en la interacción dinámica entre cuerpos, algoritmos, dispositivos electrónicos y objetos materiales. Dosis Web actúa así como un mediador que posibilita la emergencia de nuevas relaciones entre pensamiento, código y materia, donde la programación en vivo se expande hacia el espacio físico y las máquinas participan activamente en la construcción de la experiencia performática.

VIII. REFLEXIONES FINALES

La presente experiencia demuestra que es posible establecer un puente entre el Live Coding y el Hardware Hacking, integrando la programación en vivo con la

construcción y control de dispositivos físicos dentro de un mismo proceso creativo. Esta convergencia amplía el campo de acción del Live Coding, donde el código adquiere una dimensión tangible a través del movimiento, el sonido y la interacción con objetos físicos, y donde la integración de programación, electrónica abierta y hardware hackeado facilita la construcción de instrumentos personalizados, expande las posibilidades expresivas del performance audiovisual y promueve nuevas formas de interacción entre humanos y máquinas.

El desarrollo del laboratorio y de la plataforma permitió evidenciar que la creación artística puede entenderse como un proceso de co-creación entre humanos y máquinas, donde el código, los dispositivos electrónicos y el performer participan conjuntamente en la construcción de la obra. En este contexto, la máquina deja de ser un instrumento pasivo para convertirse en un agente que responde, transforma y retroalimenta las decisiones del artista, configurando una relación de co-agencia que amplía las posibilidades expresivas del Live Coding. Dosis Web se proyecta así como una plataforma de software libre con potencial para futuras investigaciones, procesos pedagógicos y prácticas artísticas colaborativas; su carácter abierto favorece la apropiación, modificación y expansión por parte de comunidades de artistas, programadores, diseñadores y makers (<https://github.com/toplapbogota/dosisweb>).

El principal aporte conceptual de esta experiencia consiste en reformular las relaciones entre pensamiento, código y materia, comprendiendo estos elementos no como dimensiones independientes, sino como componentes de un mismo proceso creativo en el que las ideas se materializan mediante algoritmos, los algoritmos adquieren presencia física a través de objetos y máquinas, y la interacción con estos dispositivos transforma continuamente el pensamiento del performer. En este sentido, el laboratorio y la plataforma no solo amplían el campo de acción del Live Coding, sino que proponen una metodología para explorar las Coreografías Humano-Máquina, abriendo posibilidades para futuras investigaciones y prácticas artísticas en la intersección entre arte, ciencia y tecnología.

Como reflexión general sobre el desarrollo pedagógico del laboratorio, tener la oportunidad de presentar en el Domo permitió que los participantes se comprometieran más con el desarrollo del proceso y los motivó a crear propuestas innovadoras y creativas; por esta razón, se sugiere que la muestra de resultados de los laboratorios continúe realizándose en este espacio.

Recomendaciones y consideraciones para el equipo de Plataforma Bogotá

- Observaciones generales: el horario de inicio de las sesiones (4:00 p.m.) resultaba muy temprano para los asistentes, ya que la mayoría trabajaba y, debido a los desplazamientos, terminaban llegando alrededor de las 5:00 p.m. Se recomienda que las sesiones de futuros talleres

inicien a las 5:00 p.m.; asimismo, una duración de dos horas por sesión se considera suficiente.

- Producción: la producción de la muestra de resultados fue muy buena; se destaca y agradece el trabajo de todo el equipo. Sin embargo, en la medida de lo posible, se sugiere destinar más tiempo para los ensayos en el Domo.
- Administrativo: se sugiere evaluar si realmente se requieren todos los formatos administrativos, ya que el formato de memoria condensa de manera detallada lo realizado en el laboratorio.
- Comunicaciones: las piezas realizadas por el equipo de comunicaciones fueron muy buenas, y el manejo de redes sociales para promocionar el laboratorio y la muestra de resultados estuvo muy bien ejecutado.

IX. REFERENTES

- Belting, H. (2007). Antropología de la imagen. Katz Editores.
- Blackwell, A. (2015). Patterns of user experience in performance programming. En Proceedings of the First International Conference on Live Coding (pp. 12–22). <https://doi.org/10.5281/zenodo.19315>
- Blackwell, A. F., Cocker, E., Cox, G., McLean, A., & Ward, A. (Eds.). (2022). Live coding: A user's manual. MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/13770.001.0001>
- Collins, N. (2006). Handmade electronic music: The art of hardware hacking. Routledge.
- Collins, N., & McLean, A. (2014). Algorave: Live performance of algorithmic electronic dance music. En Proceedings of the International Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME 2014). http://www.nime.org/proceedings/2014/nime2014_426.pdf
- Collins, N., McLean, A., Rohrerhuber, J., & Ward, A. (2003). Live coding in laptop performance. Organised Sound, 8(3), 321–330. <https://doi.org/10.1017/S135577180300030X>
- Eglash, R., Croissant, J., Di Chiro, G., & Fouché, R. (Eds.). (2004). Appropriating technology: Vernacular science and social power. University of Minnesota Press.
- Frayling, C. (1993). Research in art and design. Royal College of Art Research Papers, 1(1), 1–5.
- Hansen, M. B. N. (2006). Bodies in code: Interfaces with digital media. Routledge.
- Haverbeke, M. (2012). CodeMirror [Software]. <https://codemirror.net/>
- Jack, O. (2022). Hydra [Software]. <https://hydra.ojack.xyz/>

- Kelty, C. M. (2008). *Two bits: The cultural significance of free software*. Duke University Press.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford University Press.
- Lieberman, Z. (2015, 27 de noviembre). Lessons for students. Medium.
<https://zachlieberman.medium.com/lessons-for-students-cf1acf200ee>
- Lieberman, Z. (s. f.). ofBook — Philosophy. openFrameworks.
https://openframeworks.cc/ofBook/chapters/of_philosophy.html
- Magnusson, T. (2019). *Sonic writing: Technologies of material, symbolic and signal inscriptions*. Bloomsbury Academic.
- Manovich, L. (2001). *The language of new media*. MIT Press.
- McCartney, J. (2002). SuperCollider [Software].
<https://supercollider.github.io/>
- McLean, A. (2011). Artist-programmers and programming languages for the arts. En C. Sommerer & L. Mignonneau (Eds.), *Read_me: Software art and cultures* (pp. 205–221). Aarhus University Press.
- McLean, A. (2014). Making programming languages to dance to: Live coding with Tidal. En *Proceedings of the 2nd ACM SIGPLAN International Workshop on Functional Art, Music, Modeling & Design (FARM '14)* (pp. 63–70). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/2633638.2633647>
- McLean, A. (2016, 18 de noviembre). Friday lunchtime lecture: Live coding, algoraves and opening up music algorithms [Video]. YouTube. Open Data Institute.
<https://www.youtube.com/watch?v=wlvHFuzpULc>
- McLean, A., & Wiggins, G. A. (2010). Tidal: Pattern language for the live coding of music. En *Proceedings of the 7th Sound and Music Computing Conference*.
- McLean, A., & Wiggins, G. A. (2010). Live coding towards computational creativity. En *Proceedings of the First International Conference on Computational Creativity*.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7219926>
- Nemocón, C. (2018). DOSIS [Software]. GitHub.
<https://github.com/camiloNemocon/DOSIS>
- Nemocón, C. A. (2019). DOSIS — Processing live coding interface. En *Proceedings of the Fourth International Conference on Live Coding (ICLC 2019)*. Medialab Prado.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3946351>
- Olaya-Figueroa, J. F., Zapata-Cortés, L. V., & Nemocón-Farfán, C. A. (2019). Full-body interaction for live coding. En *Proceedings of the Fourth International Conference on Live Coding (ICLC 2019)*. Medialab Prado.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3946303>
- Paul, C. (2016). *Digital art* (3.ª ed.). Thames & Hudson.
- Richards, J. (2013). Beyond DIY in electronic music. *Organised Sound*, 18(3), 274–281.
<https://doi.org/10.1017/S1355771813000175>
- Roos, F. (2017). Strudel [Software].
<https://codeberg.org/uzu/strudel>
- Roos, F., & McLean, A. (2022). Strudel: Algorithmic patterns for the web. En *Proceedings of the Web Audio Conference 2022*. Zenodo.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6821023>
- Silvani, D. (2021). BrowserGlue [Software]. GitHub.
<https://github.com/munshkr/browserglue>
- Suchman, L. A. (2007). *Human-machine reconfigurations: Plans and situated actions* (2.ª ed.). Cambridge University Press.
- TOPLAP. (2004). TOPLAP Manifesto. <http://toplap.org>
- Waldron, R. (2012). Johnny-Five [Software]. <https://johnny-five.io/>
- Zimmerman, J., Forlizzi, J., & Evenson, S. (2007). Research through design as a method for interaction design research in HCI. En *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 493–502). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/1240624.1240704>