



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

**CENTRO DE LAS ARTES Y LA CULTURA
DEPARTAMENTO DE ARTE Y GESTIÓN CULTURAL**

**TRABAJO PRÁCTICO
PROCESOS DE TRANSDUCCIÓN EN REPRESENTACIONES
CINÉTICAS, LUMÍNICAS Y VISUALES DE AUDIO
EN EL ARTE ELECTRÓNICO**

PRESENTA

Arturo Barrios-Mendoza

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARTE**

TUTORES

Dr. Francisco Javier Fernández Martínez

Dr. Jorge Terrones

LECTOR

Mtro. Armando Andrade Zamarripa

Aguascalientes, Ags., noviembre de 2020

M. EN E. H. ANA LUISA TOPETE CEBALLOS
DECANA DEL CENTRO DE LAS ARTES Y LA CULTURA


PRESENTE

Por medio del presente como **TUTOR** designado del estudiante **ARTURO BARRIOS MENDOZA** con ID 260550 quien realizó el trabajo práctico titulado: **PROCESOS DE TRANSDUCCIÓN EN REPRESENTACIONES CINÉTICAS, LUMÍNICAS Y VISUALES DE AUDIO EN EL ARTE ELECTRÓNICO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 9 de noviembre de 2020.



Dr. Francisco Javier Fernández Martínez
Tutor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

M. EN E. H. ANA LUISA TOPETE CEBALLOS
DECANA DEL CENTRO DE LAS ARTES Y LA CULTURA

PRESENTE

Por medio del presente como *TUTOR* designado del estudiante *ARTURO BARRIOS MENDOZA* con ID 260550 quien realizó el trabajo práctico titulado: *PROCESOS DE TRANSDUCCIÓN EN REPRESENTACIONES CINÉTICAS, LUMÍNICAS Y VISUALES DE AUDIO EN EL ARTE ELECTRÓNICO*, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 9 de noviembre de 2020.


Dr. Jorge Ferrones
Tutor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

M. EN E. H. ANA LUISA TOPETE CEBALLOS
DECANA DEL CENTRO DE LAS ARTES Y LA CULTURA

PRESENTE

Por medio del presente como **LECTOR** designado del estudiante **ARTURO BARRIOS MENDOZA** con ID **260550** quien realizó el trabajo práctico titulado: **PROCESOS DE TRANSDUCCIÓN EN REPRESENTACIONES CINÉTICAS, LUMÍNICAS Y VISUALES DE AUDIO EN EL ARTE ELECTRÓNICO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que el pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 9 de *noviembre* de 2020.



Dr. Armando Andrade Zamarripa
Lector de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado

Fecha de dictaminación dd/mm/aa: 11/11/2020

NOMBRE: Arturo Barrios Mendoza ID 260550

PROGRAMA: Maestría en Arte LGAC (del posgrado): Análisis del Arte, Procesos de Producción y Gestión Artísticas

TIPO DE TRABAJO: () Tesis (X) Trabajo práctico

TÍTULO: Proceso de Transducción en representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio en el arte electrónico.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Sus resultados inciden a nivel regional y nacional porque desarrolló una propuesta metodológica de la Transducción de diferentes procesos y materiales en proyectos audiovisuales desde el arte electrónico.

INDICAR SI/NO SEGÚN CORRESPONDA:

Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:

- SI El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
- SI La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
- SI Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
- SI Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
- SI Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
- SI El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
- SI Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
- SI Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
- SI Cumpe con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)

El egresado cumple con lo siguiente:

- SI Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
- SI Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
- SI Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
- SI Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
- SI Coincide con el título y objetivo registrado
- SI Tiene congruencia con cuerpos académicos
- SI Tiene el CVU del Conacyt actualizado
- NO Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)

En caso de Tesis por artículos científicos publicados

- NO Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
- NO El estudiante es el primer autor
- NO El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
- NO En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
- NO Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
- NO La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado

Sí X
No

FIRMAS

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

DRA. XIMENA GÓMEZ GOYZUETA

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

DR. ARMANDO ANDRADE ZAMARRIPA

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. ARMANDO ANDRADE ZAMARRIPA

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

M en.EH. ANA LUISA TOPETE CEBALLOS

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA) por permitirme desarrollar este proyecto y por apoyarme durante el proceso.

Al Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes por el apoyo otorgado.

A mis tutores, Jorge Terrones y Francisco Javier Fernández Martínez; a Jorge por la sabiduría y perspicacia en las observaciones y sugerencias con las que me orientó, y a Francisco por la constancia y la determinación con la que me acompañó.

A mi lector, Armando Andrade Zamarripa, por siempre aportar una perspectiva fresca y renovada a mi trabajo.

A mi mamá y a mi papá por motivarme y apoyarme siempre para alcanzar mis metas.

A mis profesores, quienes contribuyeron a mi formación y al desarrollo de mi proyecto, especialmente a Raúl Capistrán, Enrique Luján, Rubí Peniche y Cristóbal Ramón.

A Andrea Di Castro, Juan Galindo, Alan Rabchinsky, Adriana Casas, Abraham Sánchez, Nancy Durán y Jorge David García por confiar en mí y fomentar el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, dentro y fuera del aula, por hacer de éste un trayecto alegre y ameno.

Dedicatorias

Dedico esta tesis a mi mamá y a mi papá.

También a ti, que lees este trabajo y que posiblemente te encuentras en un camino de aprendizaje para crear cosas nuevas.



Índice general

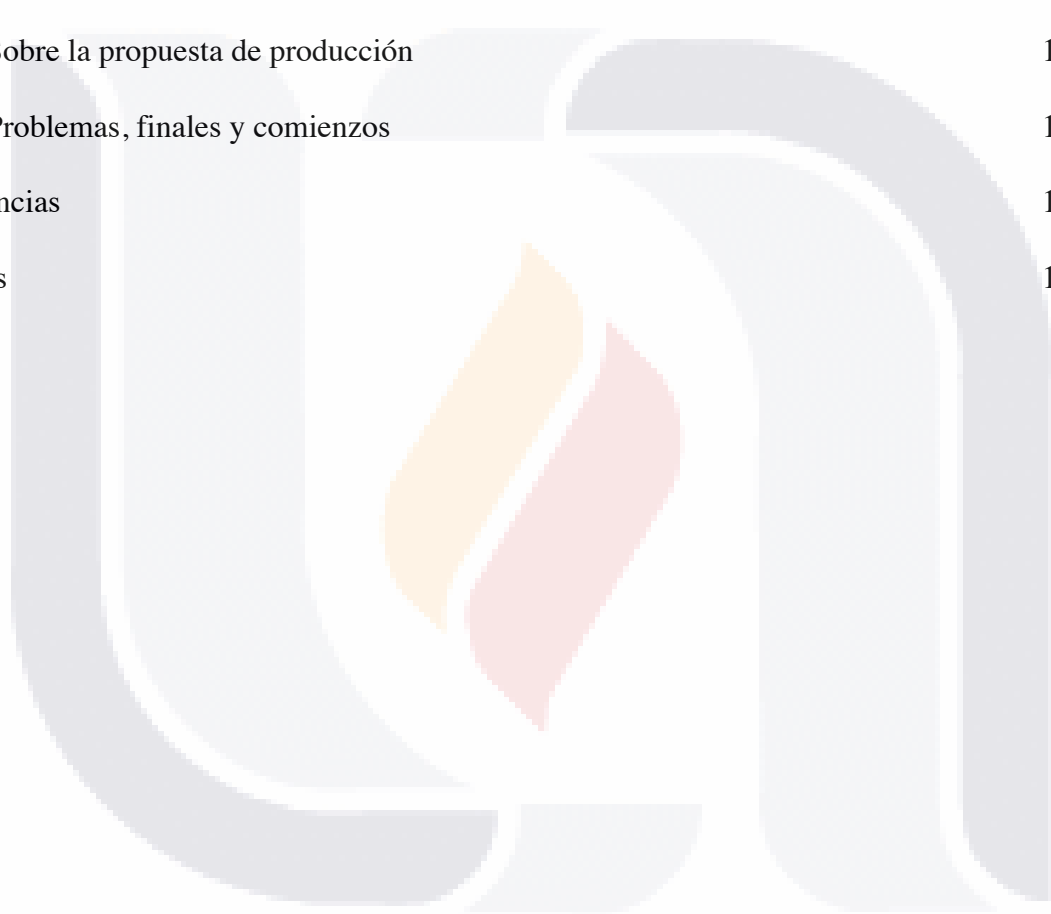
Introducción	13
Antecedentes	13
Planteamiento del problema	15
Justificación	16
Pregunta general	17
Preguntas particulares	17
Objetivo general	17
Objetivos particulares	18
Estado de la cuestión	18
Sobre transducción	19
Sobre arte y tecnología	24
Sobre los artistas y sus obras	27
Marco teórico-conceptual	30
Metodología	36
Metodología general	37
Metodología para la propuesta de producción	38
Aportaciones de este trabajo	42
Aportaciones teóricas	42
Aportaciones prácticas	43
Capítulo 1. Imagen, sonido, luz y movimiento en el arte y su relación con la tecnología	44

1.1 Imagen	45
1.1.1 La vista: sentido privilegiado para el humano	45
1.1.2 La imagen estática: el arte visual tradicional	47
1.1.3 Visualización	48
1.1.4 La computadora digital en la creación de imágenes y la <i>representación numérica</i>	48
1.2 Sonido	50
1.2.1 La tecnología y la grabación del sonido. Diferencia entre <i>sonido</i> y <i>audio</i>	51
1.2.2 Sonificación	53
1.3 Imagen, sonido, luz, movimiento y sus relaciones a través de la tecnología	54
1.3.1 Arte electrónico	56
1.3.2 Luz y movimiento: arte cinético y lumino-cinético	57
1.3.3 Interacción	57
1.3.4 La computadora y las representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio	60
1.3.5 El <i>cómputo físico</i> y el <i>hardware abierto</i>	61
1.4 Mostrar lo invisible: lo simbólico y las <i>máquinas micropolíticas</i>	63
1.5 Conclusiones del primer capítulo	64
Capítulo 2. Una interpretación analógica de la transducción en el arte electrónico	67
2.1 La hermenéutica analógica y la transducción	67
2.1.1 La hermenéutica analógica y las razones <i>unívoca</i> y <i>equivoca</i>	69
2.1.2 La transducción como un texto	70
2.2 La transducción en sí misma	70

2.2.1 Esquema de transformación y esquema de comunicación	71
2.2.2 Un panorama de la transducción	72
2.2.3 Esencia de la transducción	75
2.3 Cinco ejemplos de transducción	76
2.3.1 La transducción en la microbiología	76
2.3.2 La fototransducción visual	77
2.3.3 La transducción en el efecto piezoeléctrico	78
2.3.4 El término <i>arte transductivo</i> de Robert Mallary	79
2.3.5 Transducción e individuación en Gilbert Simondon	82
2.4 Relación entre usos y definiciones	86
2.4.1 Similitudes	86
2.4.2 Contrastes	90
2.4.3 <i>Pulsu(m) Plantae</i> y el problema de la computadora	91
2.4.4 <i>Almacén de corazonadas</i> y otros dos esquemas de la transducción	96
2.4.5 Otros conceptos relacionados. <i>Mapeo e isomorfismo</i>	99
2.5 Uso en el arte electrónico	100
2.5.1 Combinación de elementos tecnológicos y filosóficos	101
2.5.2 Límites del término	104
2.5.3 Propiedades e implicaciones	105
2.6 Conclusiones del segundo capítulo: una interpretación analógica de la transducción en el arte electrónico	108
Capítulo 3. Exploración con procesos de transducción	112

3.1 Propuesta de producción de tres sistemas interactivos-transductivos	113
3.1.1 Sistema 1 - Voz y vibración	114
3.1.2 Sistema 2 - Voz y luz	114
3.1.3 Sistema 3 - Voz y viento	115
3.2 Voz, vibración, luz y viento en los sistemas interactivos-transductivos	115
3.2.1 Voz	116
3.2.2 Vibración y cimática	118
3.2.3 Luz	120
3.2.4 Viento	121
3.3 Esquemas, planeación y materiales	122
3.3.1 Las herramientas digitales: <i>SuperCollider</i> , <i>Pure Data</i> , <i>Arduino</i> y <i>Raspberry Pi</i>	123
3.3.2 Primera asesoría en el Centro Multimedia	126
3.4 Construcción	127
3.4.1 Maquetas de 5V y <i>modulación por ancho de pulsos (PWM)</i> para los sistemas 2 y 3	127
3.4.2 Segunda asesoría en el Centro Multimedia, interfaz electrónica, y maquetas de 12V	131
3.4.3 Sistema 1 y rastreo de frecuencia en <i>Pure Data</i>	142
3.4.4 <i>Raspberry Pi</i> y reducción de dimensiones en el sistema 1	149
3.5 Resultados	150
3.6 Reflexiones del tercer capítulo	154
3.6.1 Sobre los sistemas interactivos-transductivos	154

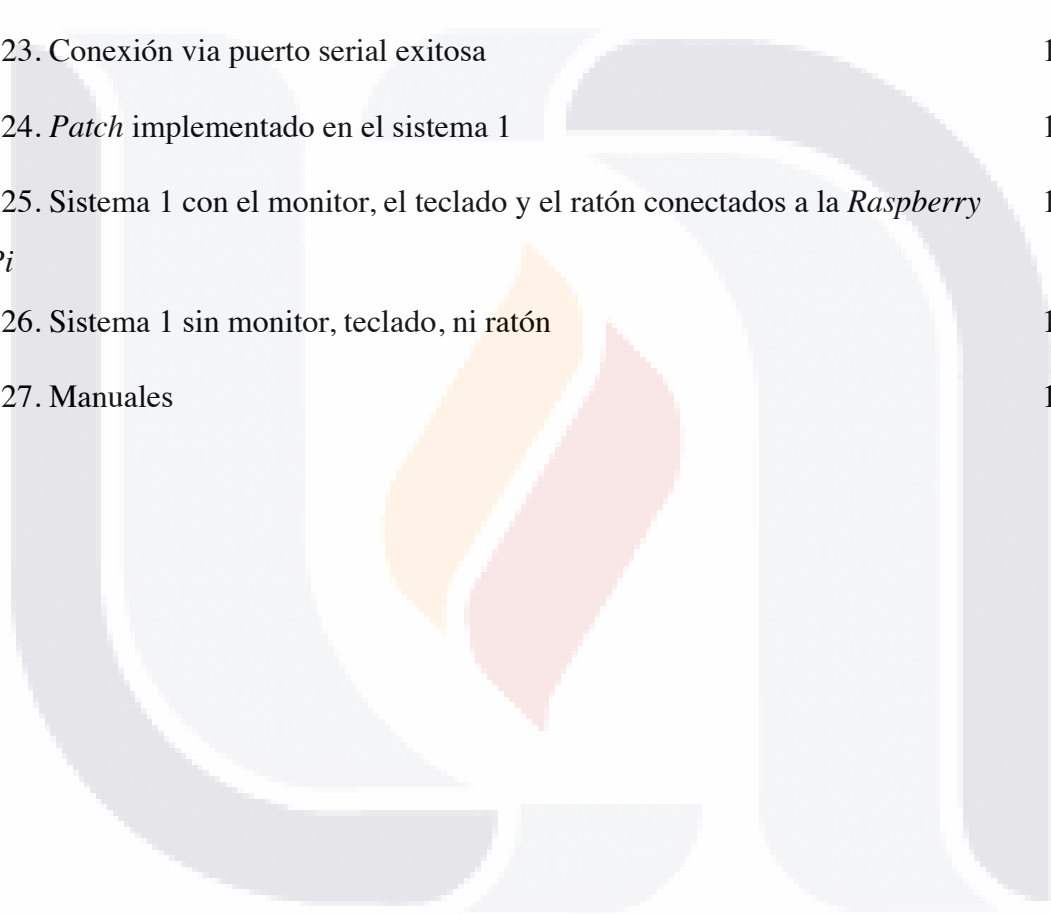
3.6.2 Sobre la metodología de construcción	155
3.6.3 Sobre las herramientas	157
Conclusiones	159
Sobre la tecnología y el arte	160
Sobre la interpretación del concepto de la transducción en el arte electrónico	163
Sobre la propuesta de producción	166
Problemas, finales y comienzos	169
Referencias	172
Anexos	189



Índice de figuras

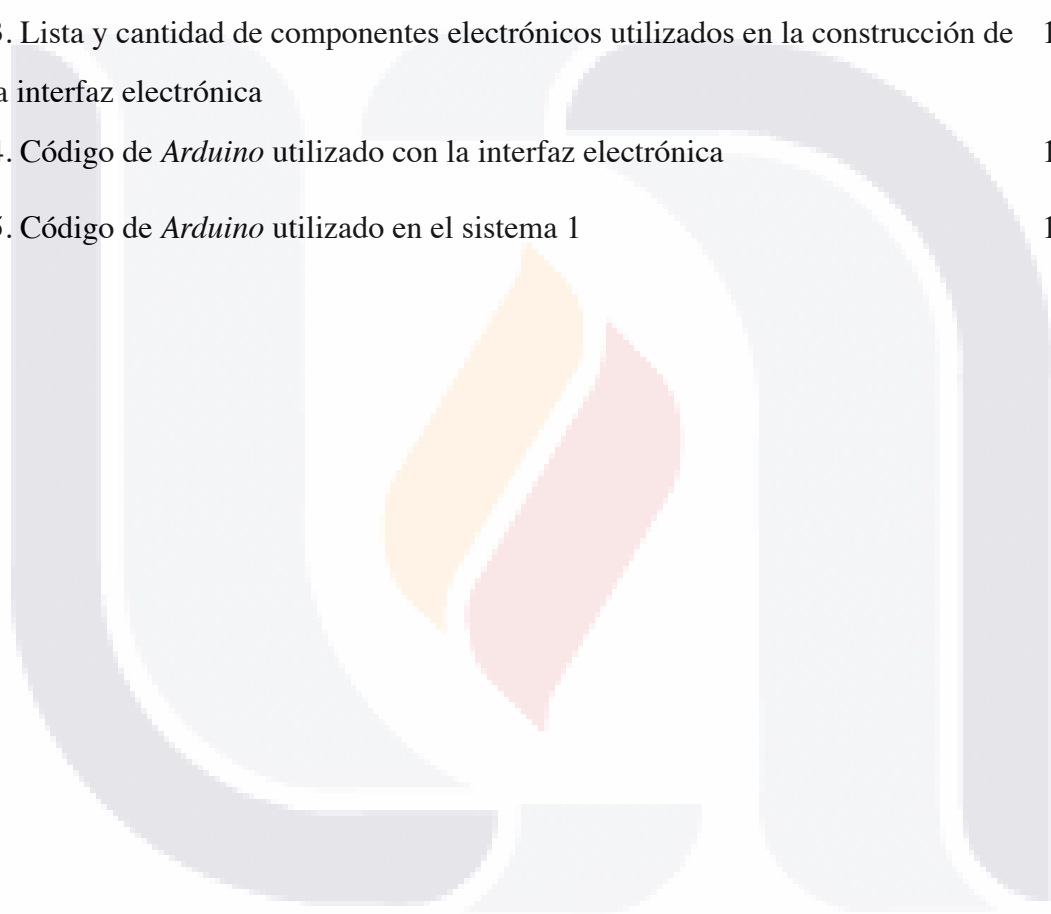
Figura 1. Diagrama de las prácticas que abarca el término <i>New media</i> o <i>arte tecnológico</i>	31
Figura 2. Muestra del formato de registro para las sesiones de trabajo de los tres sistemas <i>interactivos-transductivos</i>	41
Figura 3. Robert Mallary con su escultura <i>Quad 1</i> (1968), realizada con el programa de computadora <i>TRAN2</i>	80
Figura 4. Gilbert Simondon	83
Figura 5. <i>Almacén de corazonadas</i> (2006), de Rafael Lozano-Hemmer, en una exhibición en “Fábrica La Constancia”, Puebla, en 2008	97
Figura 6. <i>The Punishment of Tantalus</i> (2007), de Wu Ziewi	103
Figura 7. Fotografía del libro de artista, <i>Juan 1:1</i> , de Arturo Barrios-Mendoza	116
Figura 8. Fotografía de los tres tableros de <i>Arduino</i> y la <i>Raspberry Pi 4 Model B</i> , utilizados en el proyecto	124
Figura 9. Detalles a los <i>pinos</i> PWM de los tableros <i>Arduino Uno</i> , a la izquierda, y <i>Arduino Mega 2560</i> , a la derecha	129
Figura 10. Maqueta sin botón para controlar un LED con la frecuencia de la voz	130
Figura 11. Maqueta con botón para controlar un LED con la frecuencia de la voz	131
Figura 12. Impresión del circuito diseñado en <i>NI Ultiboard</i>	134
Figura 13. Interfaz electrónica	134
Figura 14. Diagrama de las secciones que conforman la interfaz electrónica	135
Figura 15. Adaptador de CA a CC	136
Figura 16. Cable de alimentación 1 a 4	136
Figura 17. Algunos de los componentes utilizados	137

Figura 18. Primera parte del <i>patch</i> de <i>Pure Data</i>	143
Figura 19. Límite de rango para la detección de frecuencia	143
Figura 20. Mapeo de los datos de frecuencia	144
Figura 21. Recepción de datos de <i>Arduino</i> en <i>Pure Data</i> por medio de <i>comport</i>	147
Figura 22. Dispositivos disponibles en <i>Pure Data</i>	147
Figura 23. Conexión via puerto serial exitosa	147
Figura 24. <i>Patch</i> implementado en el sistema 1	148
Figura 25. Sistema 1 con el monitor, el teclado y el ratón conectados a la <i>Raspberry Pi</i>	149
Figura 26. Sistema 1 sin monitor, teclado, ni ratón	149
Figura 27. Manuales	153



Índice de tablas

Tabla 1. Postulados de la mentalidad técnica aplicados a una metodología de construcción	40
Tabla 2. Problemas en los sistemas 2 y 3 por resolver durante la segunda asesoría en el Centro Multimedia	130
Tabla 3. Lista y cantidad de componentes electrónicos utilizados en la construcción de la interfaz electrónica	133
Tabla 4. Código de <i>Arduino</i> utilizado con la interfaz electrónica	139
Tabla 5. Código de <i>Arduino</i> utilizado en el sistema 1	146



Resumen

En esta investigación se explora el uso del término *transducción* para referirse a los procesos mediante los cuales el sonido se representa a través de imágenes, luz o movimiento en obras interactivas de arte electrónico.

Para comprender la historia y la evolución de este término, al igual que su importancia dentro del arte, se realizó una revisión histórica y de literatura sobre su uso tanto en este campo, por parte de artistas e investigadores, así como en otras disciplinas. A partir de las similitudes y diferencias entre estos usos se desarrolló una interpretación para el concepto de la *transducción* y su uso en el arte electrónico, para lo cual se utilizó la hermenéutica analógica.

Igualmente, se describió la relación que el desarrollo de la tecnología mantiene con las propuestas artísticas en las que el sonido se representa de forma visual, o las imágenes se representan de forma sonora, con lo cual se resaltó la importancia del uso de tecnología en los procesos de transducción.

La propuesta de producción de este proyecto está conformada por la construcción de tres sistemas interactivos-transductivos que representan las variaciones en el sonido de la voz del usuario con la generación de vibración, luz, y corrientes de aire. En esta sección se presentan alternativas para llevar a cabo un rastreo de frecuencia con programas como *SuperCollider* y *Pure Data*, así como para enviar estos datos a *Arduino* y controlar dispositivos de mayor voltaje a través de una interfaz electrónica que recibe una señal de 5V.

Con este trabajo se busca incentivar la reflexión en torno al concepto de la transducción en el arte electrónico, y ofrecer procesos y modelos para desarrollar propuestas de obras y sistemas interactivos.

Palabras clave: transducción, arte electrónico, arte interactivo, arte transductivo, cómputo físico

Abstract

This dissertation explores the use of the term *transduction* for addressing the processes by which the sound is represented through images, light or movement in interactive works of electronic art.

The historic and academic uses of this term by artists and researchers within the arts and other fields were analyzed in order to understand its history and evolution. From the similarities and differences located among these uses, the analogical hermeneutics were used with the purpose of developing an interpretation of the concept of *transduction* that was suited for its use in electronic art.

The relationship between the technology development and the artistic projects in which sounds are represented visually, or images are represented as sounds, was also described, which highlighted the importance of technology in the transduction processes.

The production section of this project consists of the crafting of the three interactive-transductive systems, which represent the fluctuations in the sound of the user's voice, by means of vibration, light and air flow. Alternatives for the frequency tracking with software such as SuperCollider and Pure Data, as well as for the communication between these programs and Arduino, and the subsequent control of higher voltage devices by the 5V Arduino's signal, are presented in this section.

This dissertation seeks to encourage the reflection concerning the concept of transduction in the field of electronic art and to offer processes and models for developing art projects and interactive systems.

Keywords: transduction, electronic art, interactive art, transductive art, physical computing

Prólogo

El interés del autor de este trabajo por dirigir su producción artística y desarrollar una investigación en torno a las prácticas en las que los sonidos son representados de manera visual o las imágenes son representadas a través de sonidos, se originó en el año 2017, después de que egresó de la Escuela Nacional de Pintura, Escultura y Grabado (ENPEG) “La Esmeralda” y realizó una pieza titulada *Juan 1:1*, que consistía en un libro de 116 páginas con mapas digitales trazados a partir de una grabación de audio en la que se escuchaba el versículo de la Biblia, Juan 1:1: “En el principio era el Verbo, y el Verbo era con Dios, y el Verbo era Dios” (Juan 1:1, Reina-Valera Revisada 1960).

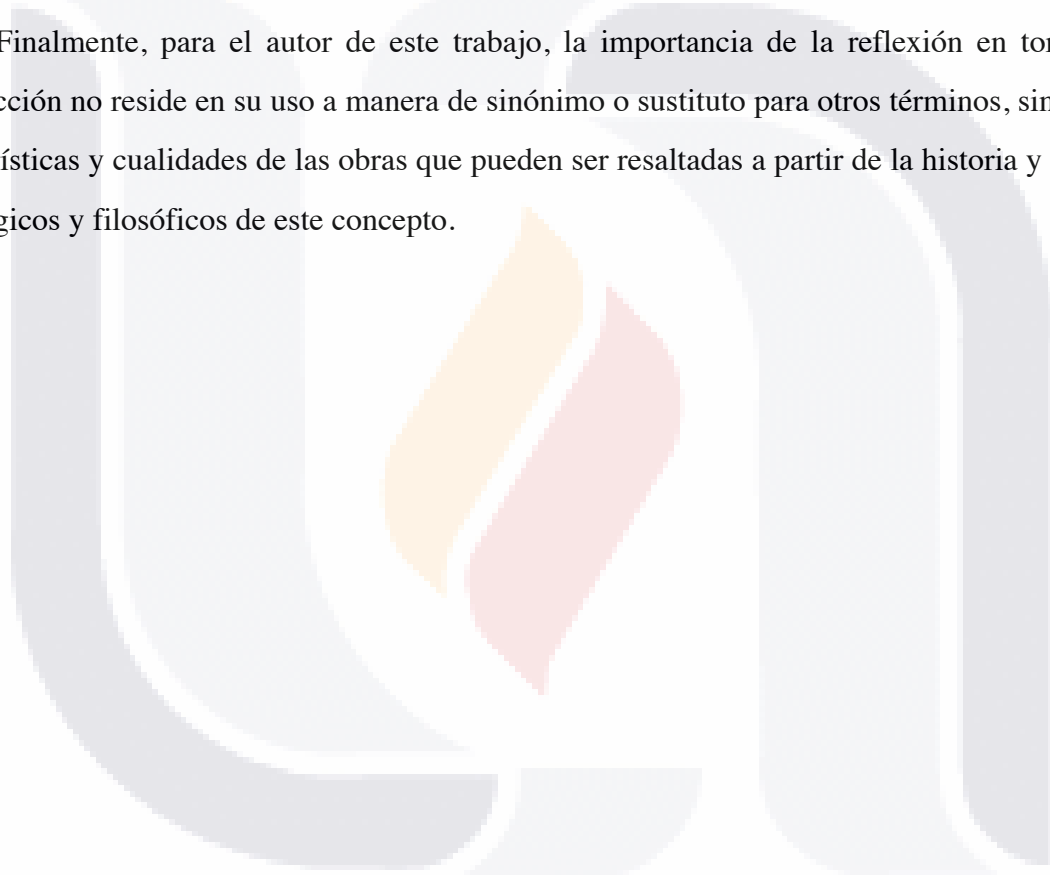
En ese momento, el interés del autor se centraba en la capacidad del lenguaje para construir, delimitar y dividir espacios al nombrarlos. Para realizar aquella pieza se obtuvo una representación visual de una grabación de audio con el osciloscopio digital de un programa de computadora. Posteriormente se manipularon las imágenes obtenidas, de manera que fueran similares a islas vistas desde arriba, en donde el contorno de cada isla estaba dado por el dibujo de las ondas de audio generado en el osciloscopio. El resultado fue un gran mapa con ocho islas, en donde cada isla representaba una de las distintas palabras que conforman el versículo; una metáfora sobre el lenguaje en donde, mediante la representación visual del sonido, éste se convertía en imagen.

El término *transducción* ha sido utilizado para referirse a estos procesos de representación y de conversión de un medio a otro, aunque pocas veces ha sido abordado con profundidad dentro del campo del arte, por lo que el autor decidió recuperarlo y explorar su capacidad para nombrar una tendencia común en distintas obras de arte electrónico. Por otro lado, en la segunda parte de este trabajo es posible observar una especial atención por parte del autor hacia algunas herramientas y procesos técnicos con los que es posible representar sonidos, específicamente el sonido de la voz humana, de forma visual, a través de vibraciones, emisiones de luz y del movimiento de objetos pequeños.

Este trabajo representa el interés del autor por especializarse en la producción de arte

electrónico y computacional pues, a pesar de que los tres sistemas *interactivos-transductivos* que se construyeron en la sección práctica del proyecto no se enuncian como obras de arte, su diseño y su construcción representan un principio técnico para la elaboración de futuras piezas que se encuentran en la misma línea estética. El autor también consideró que la difusión del conocimiento sobre estas herramientas puede resultar importante para otros artistas y estudiantes, por lo que se diseñó este material de modo que sea sencillo para otras personas replicar los sistemas construidos, así como comprenderlos y modificarlos.

Finalmente, para el autor de este trabajo, la importancia de la reflexión en torno a la transducción no reside en su uso a manera de sinónimo o sustituto para otros términos, sino en las características y cualidades de las obras que pueden ser resaltadas a partir de la historia y los usos tecnológicos y filosóficos de este concepto.



Introducción

Antecedentes

La motivación principal de este trabajo se sitúa en comprender algunas clases particulares de interacción o representaciones entre elementos visuales y sonoros que, en la creación artística, han sido impulsadas por el uso de los medios electrónicos y computacionales, y cuya popularidad se ha incrementado durante los últimos 50 años. De igual manera, en la sección práctica que comprende la segunda parte de este proyecto, el autor abordó algunas herramientas y técnicas que ha integrado en su repertorio profesional y creativo, y que le permitirán representar sonidos a través de imágenes, luces o movimiento.

Esta inquietud por traducir elementos de un lenguaje sonoro a uno visual, o viceversa, no es algo nuevo, sino que ha sido una idea constante a lo largo de la historia (Lega, 2013), al menos en Occidente, y se ha tratado en modos distintos y con intenciones también distintas. No obstante, Daniels (2004a) aclaró que “solamente existe un lugar en el mundo en donde la luz y el sonido se afectan mutuamente en un modo que supera tanto a la tecnología como a la física: en la percepción humana” (párr. 3).

Algunos experimentos e invenciones que involucraron interacciones entre el sonido y la imagen se remontan a finales del siglo XVIII, con los patrones geométricos que el físico Ernst Chladni observó al someter placas con partículas de polvo a distintas vibraciones. Años después, en la década de 1960, el científico Hans Jenny desarrolló estos experimentos con mayor profundidad. A este campo de estudio de los efectos visibles de la vibración del sonido, Jenny lo llamó *cimática* (Jenny, 1969; Munoth, Kumar, Vishal, Pavithra, y Srinivasan, 2019).

En el siglo XIX también destaca la creación de instrumentos como el *pirófono*, u *órgano de fuego*, en inglés *pyrophon*, y el *eidofono*, en inglés *eidophone*. El primero, inventado en 1870 por Frédéric Kastner (Daniels, 2004a), produce fuego y sonido de forma simultánea; la intensidad de las flamas guarda una relación directa con las características de los sonidos. Por otro lado, el segundo fue creado por Margaret Watts Hughes en 1885 (Lega, 2013) y utiliza la vibración de la voz humana para formar figuras en la membrana en una caja de resonancia.

En un recorrido histórico sobre este tema, John (2004) recordó que “incluso Platón reconoció una conexión especial entre el ojo y el sonido” (párr. 4). Así mismo, identificó la liturgia cristiana como un antecedente de la interacción entre los lenguajes visuales y sonoros en Occidente. En el Barroco, indicó que la música se convirtió en un tema y una inspiración constante para la pintura, con la obra de Caravaggio como un ejemplo de esto. Rodríguez (2009) también señaló la pintura de Caravaggio, así como la de Johannes Vermeer, como casos en los que “artistas plásticos buscaron inspiración en la obra de compositores o en el escenario musical” (pp. 20-21).

Entre finales del siglo XIX y principios del siglo XX, algunos artistas dedicaron su producción a la exploración de analogías y relaciones entre la imagen y el sonido, entre los que se puede mencionar a Kandinsky, Survage, Klee, Kupka, Delaunay, Ruttman, Eggeling, Fischinger, McLaren, Lye, Picabia, Ciurlionis, Richter, Hirschfeld-Mack, y los Hermanos Whitney¹ (John, 2004; López, 2013). Cabe mencionar que para algunos de ellos el movimiento, a través del filme, se convirtió en otro elemento que permitió reforzar la idea de una representación visual del sonido.

A pesar de esto, fue hasta las décadas de 1960 y 1970, que se produjo una mayor difusión del uso de los medios electrónicos por parte de los artistas con el propósito de transformar un tipo de energía en otro. Aquella creciente popularidad de la representación entre medios sonoros y visuales en el arte fue lo que llevó a Robert Mallary, uno de los pioneros del *arte computacional*, a pensar en una nueva forma de arte; para destacar este desarrollo, en su artículo titulado “Computer Sculpture: Six Levels of Cybernetics”, publicado en mayo de 1969 en la revista *Artforum*, Mallary propuso el término *arte transductivo* para referirse a estos procesos de representación entre distintos medios (Mallary, 1969). Fue así como el concepto de la transducción llegó al campo del arte y, específicamente, al arte electrónico y computacional. El término también fue utilizado cuatro décadas más tarde por Shanken (2009), para quien esta

¹ Como ejemplo del trabajo de estos pintores y cineastas se ofrece una cita de Dietrich (1985) sobre uno de los hermanos Whitney: “El cineasta John Whitney, por otro lado, comenzó a estructurar sus animaciones por computadora en concordancia con las armonías de la escala musical y posteriormente llamó a este concepto *Armonía Digital*” (p. 34).

tendencia representó “uno de los desarrollos más interesantes de las últimas cuatro [o ahora cinco] décadas” (p. 21).

Tradicionalmente, en disciplinas como la física, la palabra *transducción* se refiere al “proceso de convertir un tipo de energía en otro” (Courribet, 2006, p. 3). Entre algunos de los ejemplos más comunes de transductores se encuentran el micrófono y el altavoz que convierten, respectivamente, la energía mecánica en una señal eléctrica y viceversa.

El término *arte transductivo* fue recuperado por Mallary en otro texto (Mallary, 1975), pero no se precisó con mayor profundidad y tampoco obtuvo atención por parte de otros autores, no obstante, cada vez son más las obras que, intuitivamente, podrían ser catalogadas dentro de esta categoría; actualmente, distintos artistas en México, y muchos otros en el extranjero, utilizan procesos de transducción en sus obras o, en otros casos, muestran una preocupación por representar sonidos con imágenes e imágenes con sonidos. Entre ellos se encuentra Rafael Lozano-Hemmer, quien en el año 2007 representó al pabellón mexicano en la edición 52 de la Bienal de Venecia con dos piezas, *Tensión superficial* (1992) y *Almacén de corazonadas* (2007); en la primera obra se presentaba una instalación interactiva en la que un ojo seguía los movimientos del espectador en la sala de exposición, mientras que la segunda pieza “captaba el ritmo cardíaco del visitante mostrado con focos incandescentes” (Ortiz, 2017), de forma similar a lo que hizo Jean Dupuy con polvo en vez de luz en su obra *Heart Beats Dust* (1968).

Ariel Guzik también participó en la Bienal de Venecia, aunque lo hizo en la edición 55, con la pieza *Cordiox* (2013). Al igual que Lozano Hemmer, Guzik ha integrado en repetidas ocasiones procesos de transducción en sus obras, que frecuentemente tratan el tema de “la comunicación entre seres de distinta composición y ambientes” (Andrade, 2019, párr. 10).

Planteamiento del problema

Los proyectos artísticos en los que elementos como el cambio en el entorno de la pieza, en la posición de un objeto, en el brillo de una fuente de luz, y otros tipos de información son transformados en sonido, o los sonidos son representados a través de estímulos visuales, han ganado una mayor popularidad a lo largo de las últimas 6 décadas debido, principalmente, a la

adopción de herramientas electrónicas y computacionales por parte de los artistas.

En el panorama del arte en México han surgido distintos proyectos en los que se incorporan estos procesos con el objetivo de convertir un tipo de energía en otra, por ejemplo: para obtener representaciones cinéticas, visuales o lumínicas a partir de elementos cuya naturaleza original era sonora o, puesto de otro modo, para transformar sonidos en imágenes, en luz o en movimiento.

Después de ser utilizado en áreas de la tecnología y de la filosofía, el concepto de *transducción* fue introducido al campo del arte, en donde se ha empleado en distintas ocasiones para referirse a procesos en los que un estímulo visual es representado de manera sonora o un sonido es representado de manera visual (Mallary, 1969, 1975; López, 2006, 2010, 2013; Courribet, 2006; Shanken, 2009), no obstante, la reflexión en torno a este concepto no ha gozado de la misma popularidad que su aplicación práctica en distintas piezas de arte electrónico y computacional; el mismo origen de la palabra *transducción* en las ciencias naturales y su transición a las humanidades expone la necesidad de definir o explicar lo que este término podría significar y las características a las que podría apuntar en un campo como el del arte, en donde su significado no se ha distanciado suficientemente de lo que representa para otras disciplinas.

Justificación

Las exploraciones realizadas en este proyecto tienen repercusiones en dos áreas principales: por un lado, en el desarrollo profesional y en el crecimiento artístico del autor, quien ha tratado de orientar su práctica personal hacia la especialización en el uso de componentes electrónicos y de dispositivos computacionales con el propósito de representar sonidos a través de imágenes, luces y movimiento; por otro lado, las reflexiones y conclusiones generadas a partir de esta investigación pretenden ofrecer una interpretación y un panorama del concepto de la transducción, que hasta ahora no ha sido desarrollado con gran profundidad ni particularizado en el campo del arte electrónico. Este panorama comprende una exposición sobre la historia y los distintos usos y definiciones del término en diferentes disciplinas, así como algunas posturas sobre su empleo en el arte.

Es importante para el autor, en una posición como artista e investigador, comprender los elementos técnicos y formales involucrados en este tipo de prácticas que invitan a la interdisciplina pero, al mismo tiempo, se considera necesario analizar y reflexionar acerca de este fenómeno, que cada vez cuenta con una mayor popularidad, y no solamente integrarlo de una manera mecánica a una propuesta de producción artística.

De este modo, el presente trabajo de grado no representa únicamente una ruta para la profesionalización del autor, sino que también se suma a la discusión sobre un tema que requiere de atención y que, se propone, podría ayudar a comprender mejor algunos aspectos de la producción artística que involucra medios electrónicos y computacionales.

Pregunta general

¿De qué manera se puede entender el concepto de la transducción para referirse a los procesos de representación visual, cinética o lumínica de audio en el arte electrónico?

Preguntas particulares

- ¿Cuál ha sido la relación entre el desarrollo de la tecnología y las prácticas artísticas que implementan representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio?
- ¿Cómo se pueden interpretar los principales usos y definiciones técnicos y filosóficos del concepto de la transducción para el uso de este término en el ámbito del arte electrónico?
- ¿De qué manera se podrían construir tres sistemas interactivos-transductivos que generen representaciones cinéticas, visuales o lumínicas de audio?

Objetivo general

Aplicar el concepto de la transducción en el ámbito del arte electrónico para referirse a las prácticas en las que el audio se representa de manera visual, cinética o lumínica.

Objetivos particulares

- Describir la relación entre el desarrollo de la tecnología y las prácticas artísticas que implementan representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio.
- Elaborar una interpretación para el uso del concepto de la transducción en el ámbito del arte electrónico a partir de los principales usos y definiciones técnicos y filosóficos de este término.
- Desarrollar tres sistemas interactivos-transductivos que generen representaciones cinéticas, visuales y lumínicas de audio.

Estado de la cuestión

La presente revisión de literatura se dividió en tres partes: la primera está dedicada a los trabajos que se refieren directamente al concepto de la transducción, ya sea dentro del arte o desde cualquier otro campo; la segunda parte abarca la literatura que trata el tema del arte y la tecnología, pero con especial atención a la forma en la que los artistas se han apropiado de desarrollos tecnológicos con el propósito de representar sonidos de manera visual o estímulos visuales a través de sonidos; finalmente, el tercer apartado está dedicado a los artistas que han utilizado la tecnología para integrar estos procesos de representación entre medios distintos en sus obras, así como a las fuentes que hablan sobre ellos y sobre sus trabajos.

El material encontrado consiste en libros, artículos de revistas indexadas, tesis doctorales, tesis de maestría, artículos en revistas de arte y cultura, textos de conferencias, sitios web especializados en arte y nuevos medios, videos en internet, publicaciones de museos, y sitios web de los artistas y de los autores. Los textos recuperados están redactados principalmente en inglés o español, aunque una pequeña porción también está escrita en francés.

Para localizar esta información se utilizaron las siguientes palabras clave en español: *transducción, transductivo, de imagen a sonido, de sonido a imagen, transducción y arte, arte transductivo, arte interactivo, arte sonoro, arte digital, arte multimedia, arte electrónico*. Y en inglés: *transduction, transductive, from image to sound, from sound to image, transduction and*

art, transductive art, interactive art, sound art, digital art, computer art, multimedia art y electronic art.

Sobre transducción

Después de la realización de este estado de la cuestión, es posible afirmar que las fuentes en las que se utiliza la palabra *transducción* con un propósito o significado relacionado con el arte son escasas aunque, por otro lado, algunos de los autores que han utilizado este término, lo han hecho en más de un trabajo. Generalmente, los artículos y las tesis en las que aparece esta palabra se enfocan en las prácticas artísticas que involucran el sonido y el uso de la tecnología. De hecho, una gran parte de los autores que han escrito estos textos tienen una formación en música. Algunos otros términos que también aparecieron constantemente en estos textos fueron: *arte sonoro, arte multimedia, arte electrónico, arte interactivo, y arte digital.*

La palabra transducción tiene su origen en el Latín *transductio*; en esta palabra, *ducere* se refiere a la acción de llevar, transportar o transmitir algo, mientras que *trans* se refiere a que esta acción, de llevar o transportar, sucede a través o más allá de un límite. (Maestro, 2005). Helmreich (2015), cuyo trabajo forma parte de un catálogo de textos sobre palabras utilizadas en el estudio del sonido, localizó una “aparición temprana de la palabra [transductor]” (párr. 3) en un artículo publicado en 1923 en el *Bell System Technical Journal*, titulado “Transient Oscillations in Electric Wave-Filters”.

En aquel texto, Helmreich recordó el surgimiento y el uso de este término en el área de la ciencia y la tecnología, sin embargo, se refirió también a la apropiación que se ha hecho de él en las humanidades. En su opinión, la creciente popularidad de esta palabra está relacionada con una tendencia por “unir lo material con lo semiótico” (párr. 5), y con la intención de ofrecer “un lenguaje conceptual parcialmente compartido entre los académicos en las humanidades y en la ingeniería y los círculos científicos” (párr. 5).

Ejemplos de este tipo de uso se pueden localizar en el pensamiento de Piaget, para quien “la transducción es un tipo de razonamiento que precede a la inducción y a la

deducción” (Cárdenas, 2011), o en el trabajo filosófico de Gilbert Simondon sobre la individuación, en donde la transducción se vuelve un concepto fundamental, que se utiliza para nombrar la “operación dinámica por la cual la energía es actualizada, y se mueve de un estado al siguiente, en un proceso que individua nuevas materialidades” (De Assis, 2017, p. 695), es decir que se trata de un proceso de desarrollo y cambio perpetuo en donde el potencial de cambio genera un *equilibrio metaestable*, o un equilibrio propenso a romperse en cualquier momento y dar paso a un nuevo estado de equilibrio metaestable. Este proceso se desarrolla a medida que los potenciales virtuales se reducen y conforman nuevas realidades concretas y nuevos estados de equilibrio para aquello que se *individua*. En esta propuesta de Simondon, la individuación se relaciona con conceptos como el *devenir*, de Deleuze y Guattari, en donde un proceso cobra mayor importancia que un producto final (Lambert, 2013). La individuación consiste, sobre todo, en un proceso continuo o perpetuo de ontogénesis, o de una génesis del individuo (Barthélémy, 2012).

En el campo de las prácticas sonoras en el arte, relacionadas con el uso de la tecnología, Lara (2016) realizó una investigación enfocada en la producción realizada en México a lo largo de las últimas dos décadas. En ese trabajo, que representa su tesis doctoral, la autora se concentró en la obra de tres artistas: Leslie García, Mario de Vega, y Gilberto Esparza, y la palabra *transducción* apareció en distintas secciones del texto. Principalmente, se utilizó para analizar una pieza de Leslie García, titulada *Pulsu(m) Plantae* (2012), en parte, porque éste es un término que la misma artista ha empleado para hablar sobre su propia pieza (García, 2010, párr. 2).

En el trabajo de Lara (2016), la transducción es tratada como un proceso técnico al que solamente se le puede denominar con este nombre cuando se refiere a la conversión de energía mecánica en energía electromagnética, o viceversa, por lo que otros usos de este término que comprenden el uso programas de computadora o de *cómputo físico* no podrían considerarse como procesos de transducción en un sentido técnico (Lara, 2016, p. 89). A esta perspectiva se oponen los puntos de vista de otros autores, como Adell y Casacuberta (s.f.), quienes incentivan el uso de herramientas computacionales y de programas de computadora, como *SuperCollider*, para llevar a cabo procesos de transducción con salidas sonoras.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Sin embargo, al entender la transducción como un fenómeno físico y mantenerlo en su propia disciplina original, Lara indicó que fueron estas tecnologías involucradas en la transducción de señal las que permitieron, junto con el “arsenal de circuitos eléctricos y mezcladoras de audio, (...) uso de software para procesar cualquier información en sonido” (Lara, 2016, p. 6), el surgimiento de las estéticas de experimentación sonora, al posibilitar la “grabación, amplificación y reproducción sonora” (p. 6).

López es otro de los autores que han utilizado el término *transducción* en distintas ocasiones (2006, 2010, 2013). Sus trabajos artísticos y académicos se sitúan principalmente en el ámbito de la producción musical y audiovisual. Las relaciones entre imagen, sonido, interactividad, gesto y tiempo son constantes, tanto en sus piezas como en sus textos. Para este autor, el concepto de la transducción representa un proceso con aplicaciones en la composición y en la creación de *música visual*².

Además de escribir al respecto, López también ha realizado obras audiovisuales relacionadas con la transducción, entre las que destacan: *Elastic Study* (2007), pieza en la que el autor experimentó con el sonido como controlador; *The Flowers and the Clouds* (2012), en donde el gesto es ahora el controlador; y *Miniature 3* (2012), en donde la velocidad de reproducción de dos archivos de audio es controlada por el movimiento de un sistema de partículas en un video previamente grabado (López, 2013).

Sedes, Courribet, y Thiébaud, del *Centre de recherche Informatique et Création Musicale*, o CICM, de la Universidad de París 8, también han escrito una variedad de textos que circulan alrededor de la idea de la transducción enfocada a la producción sonora, musical y audiovisual. Han producido estos materiales de manera individual, así como en co-autoría, entre ellos y también junto con otros autores (Sedes, Courribet, y Thiébaud, 2003, 2004; Courribet, 2006; Thiébaud, 2005; Thiébaud, Bello, y Schwarz, 2007; Thiébaud, Healey, y Kinns, 2008). En estos textos, los autores se han concentrado en explicar el funcionamiento de sistemas, interfaces y programas que ellos mismos han diseñado, o con los que han trabajado.

² Que consiste en una síntesis entre elementos sonoros y visuales en la que se ofrece la posibilidad de percibir la música de forma visual (Watkins, 2018).

En su tesis de maestría, Jane (2015) discutió los conceptos de *pulso*, *azar*, y *flujo*, en inglés: *pulse*, *chance*, *flux*. Con *flujo* se refería a un “rango extendido de flujos, no limitado a partículas luminosas, magnéticas o eléctricas, sino también a flujos de señales de información, de todos los tipos de lo que podemos llamar energía” (p. 19). De este modo, incorporó también el concepto de la transducción para hablar de sus propias obras, así como de algunas piezas de Joyce Hinterding y de Anthony McCall.

En su trabajo, Jane también identificó dos tipos de procesos transducción: por un lado, están aquellos en los que la transducción verdaderamente se puede realizar, y parece ser entendida tal como la definió Lara (2016); por otro lado, están los procesos alusivos de transducción, en donde “un cambio técnico en el estado de energía no necesariamente se lleva a cabo, pero la apariencia de haberlo hecho podría estar ahí” (Jane, 2015, p. 23).

A pesar de que Jane distinguió dos tipos de procesos de transducción, unos auténticos y otros alusivos, es relevante el hecho de que haya considerado ambas opciones bajo el término de *transducción*, en vez de ubicar a los segundos, los procesos alusivos, con un nombre distinto.

Seiça (2012), por otro lado, no intentó definir los *procesos de transducción*, sino que planteó una alternativa en oposición a una *teoría de la transducción*, y a esto lo llamó *función de transductor*, y la aplicó en el campo de la *literatura electrónica* y del arte digital, en donde Seiça también localizó una presencia constante de procesos de transducción en donde, mencionó, “el transductor se asume técnica y simbólicamente como un mediador y un convertidor” (p. 72). Esta función de transductor representa “un conjunto de procesos de transferencia y conversión de diversos tipos” (p. 78)³.

En esta investigación Mallary (1969) es, posiblemente, una de las figuras más significativas en la aplicación del término de la transducción en el arte pues, a pesar de que sus aportaciones conceptuales no poseen un desarrollo tan profundo como el de otros autores revisados, logró marcar un antecedente de gran importancia y visibilidad para un trabajo como la

³ La tesis de maestría de Seiça (2011) también se enfoca en el concepto de la transducción dentro del ámbito de de la literatura y el arte digital, aunque desafortunadamente no fue posible consultar este material, que en 2017 fue publicado en portugués por Húmus, bajo el título de *Transdução: Processos de Transferência na Literatura Eletrônica e Arte Digital* (Seiça, 2017).

presente tesis. La importancia del artículo de Mallary radica, pues, en dos aspectos principales: por un lado, registró la popularidad que se percibía en el uso de las herramientas electrónicas en las artes visuales con el propósito de representar estímulos visuales con sonidos o sonidos de manera visual desde finales de la década de 1960, además de que dotó a estos procesos de una gran visibilidad, que incluso hoy coloca a su artículo, “Computer Sculpture: Six Levels of Cybernetics”, como un referente para los trabajos que deseen continuar con la discusión sobre este tema; por otro lado, estableció algunos puntos de partida que deben ser considerados en un trabajo como éste; Mallary (1969) consideró que el uso de los procesos de transducción podría dar lugar a una nueva forma de arte, que llamó *arte transductivo*. Es necesario aclarar desde ahora que en el presente trabajo, a diferencia de lo que se sugirió en el artículo de Mallary (1969), la transducción no representa un criterio para establecer una forma de arte o un *tipo apreciativo de arte*, expresión utilizada por Lopes (2010) para distinguir entre el *arte digital* y el *arte computacional*⁴. Defender el *arte transductivo* como una forma de arte actualmente no tendría sentido, pues ahora existen otras categorías y términos que contienen y ayudan a identificar adecuadamente las obras que aquí se mencionan. Si hubo un momento para proponer y defender este uso, fue cuando Mallary (1969) lo hizo, pero ahora las tendencias de la disolución de fronteras entre prácticas artísticas y la hibridación anularían rápidamente los beneficios de diseñar y defender una nueva casilla.

En el artículo de Mallary (1969), también se propuso una distinción entre la *transducción estructurada* y la *no estructurada*. La diferencia entre estas dos variantes afectará directamente el producto final que se presente en la pieza, ya sea como imagen, sonido, movimiento, luz, o cualquier otro medio. Los productos obtenidos a partir la traducción de una melodía o del ruido habitual de un salón de clases a un patrón de luces, por ejemplo, serían muy distintos entre sí, debido a que los sonidos en la melodía han sido acomodados y organizados previamente, mientras que los sonidos producidos en un salón de clases o en un centro comercial son caóticos.

⁴ De acuerdo con Lopes (2010) lo correcto es hablar sobre *arte computacional* y no sobre *arte digital*, pues el primero sí representa un tipo apreciativo de arte mientras que el segundo no. Un tipo apreciativo de arte comprende, explicó, una serie de obras que poseen una característica o un grupo de características en común y que son apreciadas debido a esta característica; en el caso del arte computacional, esta característica es el uso de la computadora y no la codificación digital.

Por este motivo, Mallary (1969) sugirió que la computadora podría ser utilizada para “desempeñar un papel en la sintaxis de la traducción intermedia, mediando la transferencia transductiva del medio original (...) al medio receptor (...) para lograr una transferencia de información significativa, estructurada” (pp. 30-31). La noción de la estructura en relación con la transducción en el arte también ha sido abordada por autores como Courribet (2006), López (2006; 2010) y Fox (2015a).

Aunque la propuesta de Mallary en cuanto al uso de los procesos de transducción no fue ampliamente discutida o analizada, logró alcanzar cierto reconocimiento en fechas más recientes; en su libro *Art and Electronic Media*, Shanken (2009) utilizó el término de arte transductivo propuesto por Mallary, aunque tampoco lo definió con profundidad, sino que mencionó algunos ejemplos de obras que bien podrían ser agrupadas dentro de esa categoría.

Shanken (2009) declaró que el uso de los medios electrónicos les ha facilitado a los artistas integrar conceptos como movimiento, duración, e iluminación en sus piezas y, a pesar de que estas mismas preocupaciones han estado presentes a lo largo de la historia, fue alrededor de la segunda década del siglo XX, en donde Shanken (2009) ubicó un momento importante en el que, mediante elementos electrónicos, las obras de arte dejaron de ser estáticas, y comenzaron a incorporar auténtico movimiento y a ser, en sí mismas, fuentes de luz.

Sobre arte y tecnología

En comparación con la literatura referente a la transducción, los trabajos que han tratado el tema de la relación entre el arte y la tecnología son mucho más abundantes. La información reunida en este apartado ha servido para localizar ejemplos históricos sobre el uso de la tecnología en la búsqueda de vías para representar estímulos visuales a través de sonidos o sonidos de forma visual, y además ha sido fundamental para realizar distinciones de gran utilidad entre algunos conceptos y periodos. Las palabras clave utilizadas en la conformación de esta sección fueron: *arte electrónico*, *arte tecnológico*, *media art*, *arte computacional*, y *arte digital*. Del mismo modo, los momentos más representativos se ubicaron en: la década de 1920; la década de 1960, especialmente los años de 1965 y 1968; y la década de 1990.

El desarrollo tecnológico a lo largo de la historia ha originado cambios en la forma en la que se produce y se piensa el arte y, a pesar de que ocurrieron eventos e invenciones significativas desde los siglos XVIII y XIX, la década de 1920 puede considerarse como un punto de reencuentro entre el arte y la tecnología (Alonso, 2006). Fue también alrededor de esa década, que “una nueva generación de artistas comenzó a probar las posibilidades estéticas de los medios audiovisuales” (Daniels, 2004a, párr. 19).

De acuerdo con Daniels (2004b), la Segunda Guerra Mundial tuvo un impacto en el desarrollo y en la percepción de la tecnología en el arte que, después de ser recibida de forma positiva, incluso utópica⁵, pasó a ser asumida con un tono de resignación en el periodo de posguerra (Daniels, 2004b; Alonso, 2006), aunque algunas ideas de interacción entre la imagen y el sonido fueron rescatadas en las décadas de 1950 y 1960, con la ayuda de los medios electrónicos (Daniels, 2004a; Shanken, 2009).

Sería válido marcar otro momento de gran importancia para el arte y la tecnología en la década de 1960, puesto que una gran parte de los autores consultados coincidieron en que una gran cantidad de eventos que visibilizaron las posibilidades del uso de la tecnología, en especial de la computadora, en el arte se llevaron a cabo durante esos años. Esto no quiere decir que el periodo entre las décadas de 1920 y 1960 estuviera vacío o que ningún evento relevante haya ocurrido a lo largo de ese tiempo; Nake (1971) incluso afirmó que antes de 1960 las computadoras digitales habían sido utilizadas para crear poesía y música, mientras que también se encontraron aplicaciones para las computadoras análogas en la generación de “dibujos de conjuntos de curvas matemáticas y representaciones de oscilaciones” (p. 18). No obstante, Dietrich (1985) ubicó el nacimiento del *arte computacional* en el año de 1965⁶, el mismo año en

⁵ En oposición al calificativo de *utópico* atribuido al arte de las décadas de 1910 y 1920, Smirnov y Pchelkina (2011) argumentaron que no existe un solo estilo o definición con la que se puedan abarcar las propuestas artísticas, ni una manera de uniformar los procesos experimentados de aquel periodo. Entre los nombres mencionados por Smirnov y Pchelkina (2011) en ese contexto se encuentran los de los inventores Léon Theremin, creador del *thereminvox* o *theremin* (1919), y Evgeny Sholpo, creador del *variofono*, en inglés *variophone*, (1932), un sintetizador electro-óptico.

⁶ Stiles (2012) y Popper (1993) mencionaron eventos anteriores, por lo que comenzaron sus historias del arte computacional en el año de 1952, cuando Ben F. Laposky utilizó una computadora analógica para componer *Electronic Abstractions*. Es posible que esta pieza, junto con ejemplos similares, fueran las aplicaciones a las que se refirió Nake (1971).

el que se celebraron las primeras exposiciones de *computer art* en Estados Unidos y en Alemania.

Computergrafik (5 - 19 de febrero de 1965), de Georg Nees fue la primera exposición de imágenes creadas por computadoras digitales en el mundo, solo algunas semanas antes de *Computer-Generated Pictures* (6 - 24 de abril de 1965), de Michael Noll y Béla Julesz, en la Howard Wise Gallery. Inspirada por la primera exhibición, en noviembre de ese mismo año se inauguró *Computer-Grafik*, en donde Georg Nees estuvo acompañado por Frieder Nake (compArt, s.f.a, s.f.b, s.f.c). A estos eventos les siguió la famosa *Cybernetic Serendipity* (2 de agosto - 20 de octubre de 1968), de Jasia Reichardt en el Institute of Contemporary Art, en Londres, anunciada como la primera exhibición internacional en el Reino Unido sobre arte y tecnología (Institute of Contemporary Art, s.f.; Fernández, 2008).

De acuerdo con Shanken (2009), más allá del arte computacional, el año de 1968 también registró una gran actividad para el arte electrónico pues, además de *Cybernetic Serendipity*, también resuenan otros nombres significativos de exposiciones como *The Machine: As Seen at the End of the Mechanical Age*, curada por Hultén, o *Some More Beginnings*, de la organización *Experiments in Art and Technology*, o E.A.T., que había sido fundada dos años antes por Robert Rauschenberg y Billy Klüver, “con el objeto de propiciar las relaciones entre arte y tecnología a partir del trabajo conjunto de artistas e ingenieros y técnicos de todo tipo” (Alonso, 2006, p. 31)⁷. En la década de 1920 surgieron los antecedentes de lo que ahora conocemos como *media art*, pero fue alrededor de 1960 en donde realmente es posible fijar un punto de partida para estas

⁷ Como un ejemplo de la producción colaborativa entre artistas e ingenieros se puede mencionar una pieza de los mismos creadores de la E.A.T., Robert Rauschenberg y Billy Klüver; cabe recordar que Klüver se graduó como ingeniero eléctrico en el Real Instituto de Tecnología, en Estocolmo (compArt, s.f.d.). La pieza en cuestión es *Mud Muse* (1968-1971), una instalación en donde el lodo depositado en una gran tina se activa con una grabación de audio; las burbujas y los saltos del lodo representan cambios en los sonidos reproducidos. Es posible observar un video del MoMA (2017) sobre esta pieza en <https://www.youtube.com/watch?v=Tvt-VSgPd4c>

Otro ejemplo más antiguo de la colaboración entre artista e ingeniero que también incluyó a Klüver es el de *Homage to New York* (1960), en donde colaboró con Jean Tinguely en la construcción de la célebre máquina autodestructiva (Frohnert, 2009). Sobre la unión de elementos artísticos y tecnológicos en las obras que conformaron *The Machine: As Seen at the End of the Mechanical Age*, incluso se mencionó que los artistas y los ingenieros no habrían logrado aquellos resultados si hubieran trabajado por separado (Lovejoy, 1997, en Frohnert, 2009).

Por otra parte, también existen posturas como la de Noll (2016), quien no estaba de acuerdo con las ideas de colaboración expuestas por Klüver, y argumentó que los artistas debían aprender a programar y a utilizar las computadoras.

prácticas (Daniels, 2004a, 2004b).

A pesar de ello, sería problemático utilizar el término *media art* para referirse a los trabajos de aquella época; Hatanaka (2016) explicó que esta expresión, *media art*, no existía en la década de 1960, por lo que él se refiere a los movimientos de ese periodo como “technology art”(p. 4), o *arte tecnológico*. Por otro lado, el término *media art* lo reservó para otro periodo que inició en la década de 1990, cuando el vocablo era ya conocido.

Mientras tanto, en México todavía era reciente aquella exposición que Mayer (2013) identificó como “la primera (...) de arte digital en México” (párr. 7), titulada *Electrosensibilidad*, que se realizó en 1988. Seis años más tarde, en 1994, CONACULTA inauguró el Centro Multimedia, un proyecto fundado y dirigido hasta el año 2001 por Andrea Di Castro (Lara, 2016) en el Centro Nacional de las Artes que, a la fecha, es un espacio de experimentación, enseñanza e investigación para el uso de las nuevas tecnologías en el arte (Sáizar, 2009).

Sobre los artistas y sus obras

Este apartado se dedicó a una selección de obras en las que distintos artistas han utilizado herramientas electrónicas y computacionales para representar sonidos a través de imágenes, luces o movimiento, o también casos en los que han representado de manera sonora información que antes no era sonido. También fue importante considerar aquellos casos en los que los mismos artistas u otros autores emplearan el término *transducción* para referirse a estas obras. Se procuró incluir ejemplos a nivel nacional e internacional. La mayoría de estas piezas fueron mencionadas en las fuentes que componen el primer y el segundo apartado de este estado de la cuestión.

En este contexto, la pieza más antigua que el autor ha localizado se titula *Heart Beats Dust* (1968), que fue realizada por Jean Dupuy en colaboración con los ingenieros Ralph Martel y Harris Hyman, y que obtuvo el primer lugar en la exposición organizada por la E.A.T., *The Machine: As Seen at the End of the Mechanical Age* (Frohnert, 2009; Gronlund, 2017). Es también por esta razón que en el apartado anterior se ha marcado la década de 1960 como un momento de gran relevancia para esta investigación, pues también contiene la pieza más antigua

de lo que Mallary llamaría, un año más tarde, arte transductivo. En *Heart Beats Dust*, el pulso del espectador era representado como sonido y como movimiento; el sonido de cada latido se transmitía a la base de una caja, que hacía saltar una porción de polvo colocado sobre ella. Esta pieza fue mencionada por Shanken (2009) como un ejemplo de la frase *arte transductivo*, de Mallary (1969), junto con *Protrude, Flow* (2001), de Sachiko Kodama y Minako Takeno, en donde un fluido magnético alteraba su movimiento en respuesta a los estímulos sonoros de su entorno.

En su tesis de maestría, Jane (2015) escribió sobre tres piezas que realizó durante su investigación, la segunda, *Black Noise* (2012), es “un ensamblaje de objetos unidos por señales de audio y señales eléctricas, en donde la información cambia de estado de un extremo del sistema al otro” (Jane, 2015, p. 31). En el sitio web de la artista también es posible encontrar un breve ensayo sobre esta pieza, escrito por Dirk de Bruyn (2012). En su tesis, Jane no sólo habló sobre su propia producción, sino que también mencionó obras de otros artistas. Una de ellos es Joyce Hinterding, y las piezas seleccionadas por Jane pertenecen a la serie *Aura* (2009); esta serie consiste en dibujos realizados con oro y con grafito, que funcionan como antenas y “resuena[n] simpáticamente a los campos electromagnéticos dentro de la galería” (Haines & Hinterding, 2009, párr. 3).

En la edición del Lumen Prize for Art and Technology celebrada en el año 2018, el premio de la categoría *3D/Interactive Award* fue otorgado al artista de Honk Kong, Leung Kei-chuek, también conocido como *GayBird*, quien participó con una obra titulada *Fidgety* (2015). En ella, los latidos del artista son reproducidos por 40 altavoces, y cada uno de estos altavoces hace saltar una varilla con caracteres chinos (The Lumen Prize, s.f.a). En el mismo evento la artista Ziwei Wu, también de China, ganó en la categoría *Meural Student Award* con una obra titulada *The Punishment of Tantalus* (2017), en donde el sonido también exhibe una manifestación cinética y hace que unas figuras doradas se sacudan mediante el uso de altavoces (The Lumen Prize, s.f.b).

Ya se ha mencionado a Rafael Lozano-Hemmer y a Ariel Guzik en el panorama de las artes visuales en México, aunque es posible encontrar más ejemplos del uso de procesos de

representación entre elementos sonoros y visuales en el trabajo de artistas como Gilberto Esparza, Marcela Armas, Arcángel Constantini, Leslie García, Hugo Solís, Manuel Rocha Iturbide, Tania Candiani, y Juanjosé Rivas, así como del artista cubano Iván Abreu, o del belga Basile Richon, quienes han desarrollado parte de su producción artística en México.

Carlson y Schmidt (2012) publicaron un artículo sobre la instalación de Rafael Lozano-Hemmer, *Almacén de corazonadas*, en donde mencionaron frases semejantes a la definición de la transducción, aunque no emplearon este término. En su lugar, se refirieron a la producción de energía en los medios electrónicos, que compararon con el concepto de Deleuze de *materia signalética*, para después hablar sobre la *modulación* y la *significación* en esta instalación de Lozano-Hemmer.

Muchos de los nombres que integran esta selección, como los de Ariel Guzik, Leslie García, Juanjosé Rivas, Hugo Solís, Gilberto Esparza, Marcela Armas, y Arcángel Constantini, fueron mencionados por Lara (2016) pues, además de que han trabajado con procesos de transducción, todos ellos están relacionados con la experimentación sonora y con el arte electrónico, temas centrales para la investigación que realizó Lara (2016).

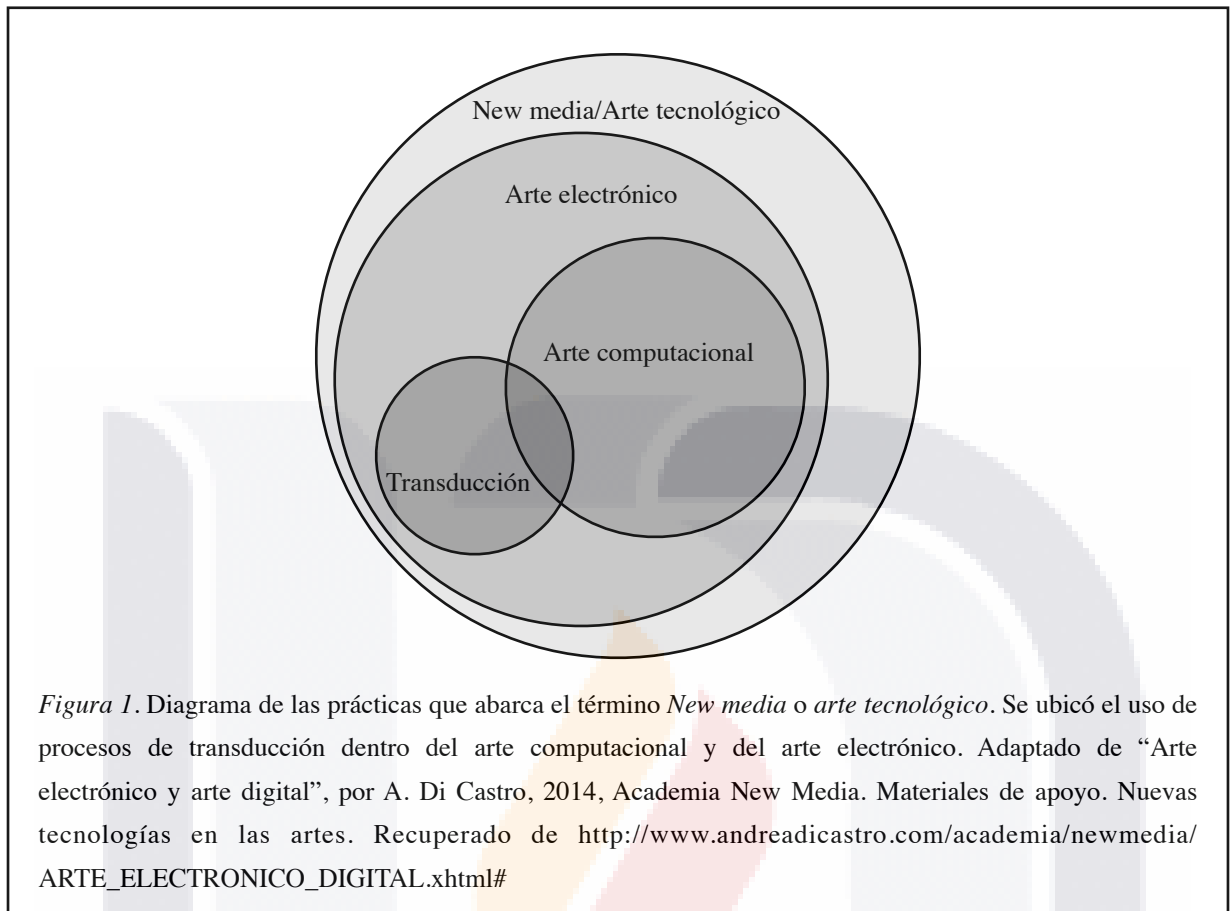
A lo largo del segundo capítulo de este trabajo se abordó una serie de obras con mayor profundidad⁸. Éstas son: *Almacén de corazonadas* (2006) de Rafael Lozano-Hemmer, *Hear Beats Dust* (1969) de Jean Dupuy, *The Punishment of Tantalus* (2017) de Ziwei Wu, *Biolesce* de Tyler Fox, *Akousmaflora* (2007) de Scenocosme, *Pulsu(m) Plantae* (2012) de Leslie García. Adicionalmente, se mencionaron *Fidgety (in between up and down)* (2015) de GayBird, y *Biopoiesis* (2011-2013) de Carlos Castellanos y Steven J. Barnes.

⁸ Existen otras piezas realizadas en México o por artistas mexicanos similares al conjunto seleccionado para la discusión del segundo capítulo, pero no fue posible integrarlas al mismo. Algunas de estas obras son: *Ping Roll* (1997) de Manuel Rocha Iturbide, *Residuo sonoro postconsumo* (2006) de Iván Abreu, *Órgano* (2012) de Tania Candiani, *FORM* (2013) de Juanjosé Rivas, *Helix Aspersa* (2014) de Hugo Solís, *BioSoNot 2.0* (2015-2017) de Gilberto Esparza, *Discusión de tortillas* (2016) de Basile Richon, *Sonoluminente* (2017) de Arcángel Constantini, y *Tsinamekuta* (actual) de Marcela Armas.

Marco teórico-conceptual

Se ha considerado relevante retomar algunos de los conceptos que ya se han mencionado en los apartados anteriores, y que también aparecen con frecuencia en las secciones subsecuentes, no con la intención de elaborar una distinción taxonómica gratuita en la que se encasille a las prácticas y a los artistas, sino por tres razones importantes: la primera de ellas es que explicar por qué se utilizan algunos de estos términos le brindará una mayor claridad al resto del trabajo, además de que facilitará la argumentación en el segundo capítulo; la segunda razón reside en el vínculo que algunos de estos términos establecen entre prácticas artísticas y momentos específicos en la historia del arte; finalmente, se espera que las razones para la elección de estos términos, entre muchos otros que se emplean comúnmente, le ofrezca al lector un panorama para que pueda, a su vez, construir, modificar o cuestionar su propio panorama de términos en relación con estas prácticas. Para esto se ha escogido la siguiente figura (Figura 1), que está basada en un diagrama realizado por Di Castro (2014). En la figura original se mencionaban los términos: *new media*, *artes electrónicas*, *arte digital*, *arte en red*, y *video*. Los últimos dos se han removido, pues no se tratarán en este texto. Por su parte, los otros términos se han adaptado con la información recuperada en este trabajo.

Para Di Castro (2014), *new media* se refiere a *new media art*, y comprende “otras formas expresivas que [en ocasiones] utilizan tecnologías que no son electrónicas, como la óptica, procesos fotoquímicos, químicos, la biología, etc.” (Di Castro, 2014, párr. 2). Para esto también se suele utilizar el término *media art*, aunque éste se dirige a aquellas obras y eventos que tuvieron lugar después de la década de 1990, pues antes de esa fecha, argumentó Hatanaka (2016), el término *media art* aún no existía, por lo que en su lugar se utilizaba *technology art*, traducido como *arte tecnológico*. Para dar uniformidad a este trabajo, en donde se presentan obras realizadas en la década de 1960 así como otras piezas producidas en fechas recientes, se ha optado por usar el término *arte tecnológico*, debido al carácter atemporal expuesto por Hatanaka (2016), además de que con él se resalta no sólo la presencia de distintos medios novedosos en la producción artística sino, de manera concreta, el uso de la tecnología.



Otros conceptos que aparecieron frecuentemente en las fuentes consultadas son *arte digital* y *arte computacional* los cuales, a pesar de que han llegado a utilizarse de forma indistinta, no deben ser confundidos. Lopes (2010) argumentó que normalmente se conciben las obras de arte digital como aquellas que aprovechan la capacidad de la computadora para procesar información en un código digital común, aunque existen otros códigos digitales, como el alfabeto o la notación musical, sin embargo, continuó Lopes, esto no convierte a una obra de Shakespeare en una obra de arte digital, a pesar de que esté codificada digitalmente. Por lo tanto, el término de arte digital no es suficientemente preciso, pues la codificación a la que se refiere implica el uso de la computadora, y este uso es claro en el término *arte computacional*. Además, Lopes (2010) también comentó que en la década de 1980, *arte computacional* era la forma más común de referirse a estas prácticas. Es posible observar esto al consultar los textos de Dietrich (1985) o Nake (1971), en donde el término *arte digital* no aparece. Noll (2016) incluso mencionó que la palabra *digital* se usaba antes del término *arte computacional* para distinguirlo del arte

computacional que utilizaba computadoras análogas, el cual surgió primero. Expuesto esto, en este trabajo se dará prioridad al término *arte computacional*.

El término *arte electrónico* se ha escogido como una versión más corta de *arte de los medios electrónicos* que, como su nombre lo indica, no se refiere a otra cosa más que a la producción artística en la que el creador utiliza medios electrónicos. El libro de Edward A. Shanken (2009), *Art and Electronic Media*, ha sido un referente fundamental para tratar el tema del arte electrónico a lo largo de este trabajo. En este tipo de arte, el creador no sólo utiliza los medios electrónicos; también los reutiliza y los inventa “en modos que deleitan los sentidos, desconciertan la mente y ofrecen perspectivas profundas hacia las implicaciones, tanto positivas como negativas, de la cultura tecnológica” (Shanken, 2009, p. 15).

Shanken (2009) también explicó que el uso de los medios electrónicos le permite al artista producir obras que escapan del formato estático del arte tradicional. De esta manera, se presenta la posibilidad de incorporar el movimiento, la duración y la iluminación de modos distintos a los que permiten técnicas y disciplinas tradicionales.

En el Cambridge Dictionary (s.f.a) se definieron los *medios electrónicos* (*electronic media*, en inglés) como las “vías de comunicar información que son electrónicas en vez de usar papel, por ejemplo, la televisión y el internet” (párr. 1), mientras que el adjetivo, *electrónico* (*electronic*, en inglés), se refiere al equipamiento que “utiliza, se basa en, o es utilizado en un sistema de operación que involucra el control de corriente eléctrica” (Cambridge Dictionary, s.f.b, párr. 1). Por otro lado, la definición que ofrece el diccionario Oxford Reference (s.f.) de *medios electrónicos* se enfoca específicamente en la aplicación del término en el arte, para referirse a: “las distintas tecnologías alimentadas por la electricidad, a las que artistas modernos y contemporáneos han recurrido en su obra: [...] incluyen grabaciones digitales de audio o de video, [...] CD-ROM y contenido en línea, así como [...] televisión, radio, teléfono y computadora” (párr. 1). Esta definición coincide a detalle con la que ofrece el glosario de términos artísticos de la Galería Tate (Tate, s.f.). Aquí es necesario resaltar la importancia del adjetivo *electrónico* sobre los medios de comunicación y dar una prioridad especial al uso y control de la corriente eléctrica.

Los términos presentados sirven para poner en contexto las prácticas que componen la propuesta de producción de este trabajo, así como para orientar la estructura y el contenido de los

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

primeros dos capítulos, pues los procesos de representación de sonidos a través de imágenes, luz y movimiento que conciernen a esta investigación implican el uso de tecnologías electrónicas o de la computadora como interfaz mediadora y de conversión. Existen muchas posibilidades para la representación de estímulos visuales a través de sonidos o de sonidos de manera visual, pero en este caso el uso de la tecnología es fundamental pues, como se expone más adelante, aun en sus definiciones más tradicionales, los procesos de transducción se relacionan con el manejo de la corriente eléctrica. De este modo, las piezas en las que se aplica el concepto de la transducción para referirse a un proceso de representación a través de medios distintos y guiado por herramientas tecnológicas, pueden ser catalogadas tanto dentro del arte electrónico como dentro del arte computacional, los cuales se hayan, a su vez, dentro del arte tecnológico.

Por otro lado, la segunda parte de esta sección está dedicada a presentar algunos elementos del trabajo del filósofo francés, Gilbert Simondon⁹, calificado por Banerji (2015) como “el más sofisticado de los filósofos de la tecnología de finales del siglo XX” (p. 74). Este hecho lo sitúa en una posición relevante para esta investigación pues, como Hart (1980) explicó, la publicación de *Du mode d'existence des objets techniques*, originalmente en francés en el año de 1958, se presentó como “una introducción hacia una nueva manera de entender la tecnología” (p. i). Una propuesta filosófica con este enfoque es de gran importancia para un proyecto centrado en el vínculo entre el arte y la tecnología, incluso para proponer un método de producción que se presentará más adelante.

Además, Simondon ha tomado algunos conceptos de otras disciplinas, como la física y la termodinámica, y los ha adaptado en su proyecto filosófico. De este modo, palabras como *transducción* y *metaestabilidad* son dos de los conceptos clave en la filosofía *simondoniana*. Para Fox (2015a), “la filosofía de la individuación y de la tecnología de [...] Simondon proveen de valiosas herramientas conceptuales para comprender obras de arte contemporáneo con bases tecnológicas” (p. 96).

A grandes rasgos, en una entrevista realizada por Iliadis (Barthélémy e Iliadis, 2015), Barthélémy, filósofo francés director del *Centre international des études simondoniennes*, describió la principal tesis de Simondon sobre la individuación del siguiente modo:

⁹ Quien nació el 2 de octubre de 1924 en Saint-Étienne y murió el 7 de febrero de 1989 en Palaiseau. Su obra ha sido influyente para otros autores, como Gilles Deleuze y Bernard Stiegler (Editorial Herder México, s.f.).

Se puede considerar la ontología de Simondon [...] como la re-elaboración de la cosmogénesis vitalista de Henri Bergson a la luz de la epistemología anti-sustancialista y no-vitalista de Gaston Bachelard. Pero también es una continuación y una transformación de la ontología expuesta por Maurice Merleau-Ponty en *La structure du comportement*. (Barthélémy e Iliadis, 2015, p. 103).

Un elemento característico de la filosofía de Simondon es su crítica a la perspectiva aristotélica del *hilemorfismo*, en donde se concibe que “al menos algunos objetos materiales están conformados por ambos, materia y forma” (Skrzypek, 2017, p. 360). Es en oposición, tanto al hilemorfismo, como al *sustancialismo*, que Simondon construyó su teoría de la individuación, que puede entenderse como un sinónimo de *ontogénesis* (Barthélémy, 2012), es decir, el proceso de formación del individuo, un proceso al cual Simondon le atribuyó una mayor importancia que al individuo mismo, que representa únicamente la interrupción de dicho proceso. Simondon aplicó su modelo de individuación a objetos físicos y a seres vivos (Builes, 2018) que, para él, están involucrados en un proceso de devenir y génesis constante: en un proceso de auto-evolución, auto-generación y auto-diferenciación (Letiche y Moriceau, 2017).

Este proceso de individuación es dirigido por una *operación* física, biológica, mental o social, a la que Simondon se refirió como *transducción*. A través de esta operación, una actividad estructura y se propaga a través de un campo o dominio (Builes, 2018; Barthélémy, 2012; Courribet, 2006; Lapworth, 2016). El ejemplo paradigmático que Simondon utiliza para ilustrar el proceso de individuación es la formación de cristales (Lapworth, 2016; Heredia, 2018); la cristalización detona las tensiones entre dos disparidades (Lapworth, 2016) que demandan una resolución: la formación del cristal. Para Fox (2015a), su crecimiento “estructurado, capa por capa [...] demuestra muy bien [la operación de] la transducción” (p. 100).

Existen otros conceptos utilizados por Simondon que sin duda representan una gran utilidad para esta investigación, sin embargo, presentarlos todos ellos en esta sección tendría como resultado un apartado similar a un glosario sobre su filosofía. Por esta razón se ha limitado únicamente a exponer de manera breve su teoría del proceso de la individuación y el mecanismo que la dirige, es decir, la transducción, pero existe aún otro elemento del pensamiento simondoniano que guiará una parte de este trabajo, llamado *mentalidad técnica* (Simondon, 2009). Para Fox (2015a), separar la teoría sobre la individuación de Simondon, de su trabajo

sobre tecnología, sería un error, y una vez que se ha conocido con mayor detalle su trabajo, es difícil tener una perspectiva distinta a ésta.

La mentalidad técnica, apuntó Simondon (2009), “está en desarrollo, y por tanto incompleta y en riesgo de ser prematuramente considerada como monstruosa y desequilibrada” (p. 17). En su texto, Simondon (2009) pretendía “mostrar que la mentalidad técnica es coherente, positiva, productiva en los campos de los esquemas cognitivos, pero incompleta y en conflicto consigo misma en el campo de las categorías afectivas porque aún no ha emergido apropiadamente” (p.17). La mentalidad técnica es presentada con dos postulados, que están directamente relacionados con la manera en la que Simondon entiende el *objeto técnico*.

En el primer postulado se establece que, “los subconjuntos [del objeto técnico] son relativamente removibles de la totalidad de la que forman parte” (Simondon, 2009, p. 19). Esto se refiere a que el objeto técnico está compuesto por partes y subconjuntos que pueden separarse, repararse o sustituirse. No se trata de un objeto indivisible, sino de un objeto susceptible de “requerir control, reparación y mantenimiento, a través de la prueba y la modificación o, si fuera necesario, del cambio completo de uno o varios de los subconjuntos que lo conforman” (Simondon, 2009, p. 19).

En el segundo postulado se menciona que “si se quiere comprender completamente un ser se debe estudiar considerándolo en su *entelequia* [cursivas añadidas], y no en su inactividad o en su estado estático” (Simondon, 2009, p. 19). En este postulado Simondon expuso la existencia de límites, inferior y superior, dentro de los cuales el objeto técnico puede funcionar. Estos límites o condiciones son asumidos durante la invención del objeto técnico, mientras éste es una propuesta en el papel, pero es en el ensamblaje cuando ocurre la *condensación* y la *concretización*. En ese momento los elementos que componen el objeto técnico pueden ser reducidos al mínimo y el objeto, a su vez, gana autonomía en su funcionamiento (Simondon, 2009; Mulder, 2016).

Más adelante, Simondon (2009) explicó que el objeto técnico puede permitir el desarrollo de la mentalidad técnica, pero solamente si éste posee una “*estructura reticular* [cursivas añadidas]” (p. 24). Esto significa que no debe ser un objeto *cerrado*, sino *abierto*; con una combinación de partes resistentes y durables y otras con una “alta capacidad para ajustarse, tanto al uso, como al desgaste o a la rotura” (p. 24). Un objeto de este tipo, concluyó Simondon, puede

ser “completado, mejorado, puede mantenerse en un estado de actualidad perpetua” (p. 24).

Finalmente, el texto sobre la mentalidad técnica de Simondon (2009) presenta un ejemplo de la contribución de ésta a la arquitectura, pues afirmó que “una extensión de la mentalidad técnica es posible, y comienza a manifestarse particularmente en el campo de las Bellas Artes” (p. 24); el Convento de Santa María de La Tourette, de Le Corbusier, continuó Simondon:

incluye en sus planos su línea adecuada de expansión [...]: será posible, sin ningún quiebre entre lo viejo y lo nuevo, seguir utilizando concreto, placas de hierro, cables, y la estructura tubular de largos corredores. La exhibición de sus medios, la amabilidad de la arquitectura hacia sus materiales que se traduce a través de una *tecnofanía* [cursivas añadidas] constante, se suman a una resistencia a la obsolescencia y a un descubrimiento productivo entre especies sensibles de la disponibilidad permanente del material industrial como la fundación para la continuidad de la obra. (Simondon, 2009, pp. 24-25).

Metodología

Los primeros dos capítulos de este trabajo tienen una orientación teórica y reflexiva. En ellos se abordaron cuestiones sobre la imagen, el sonido, la luz y el movimiento que han sido motivo de discusión, y que han representado nuevas y radicales formas de producir y pensar el arte desde las primeras décadas del siglo XX, así como la relación entre el desarrollo de la tecnología y las representaciones del sonido de manera visual o la representación de estímulos visuales a través de sonidos. El segundo capítulo también abarca el desarrollo de una interpretación para el concepto de la transducción en el arte electrónico. En contraste, el tercer capítulo se dedicó a la producción de tres *sistemas interactivos-transductivos* que, por medio de procesos de transducción, generan representaciones visuales, lumínicas y cinéticas de sonidos, específicamente a partir del sonido de la voz humana.

Esta manera de dividir y estructurar el texto coincide con la forma en la que se han realizado trabajos similares en los que sus respectivos autores, a partir de sus propias inquietudes y necesidades profesionales, han tratado de especializarse en una técnica o en un campo de producción artística y, al mismo tiempo, de reflexionar sobre las herramientas, los procesos y los

conceptos involucrados en aquellas técnicas.

Entre algunos ejemplos del uso de esta estructura se encuentra la tesis doctoral del artista español, Ferrán Lega Lladós (Lega, 2013) en la Universidad de Barcelona, quien analizó el uso de la cimática como herramienta de expresión artística; o la tesis de maestría de la artista australiana, Marcia Jane (Jane, 2015) en la Universidad de Melbourne, quien escribió sobre “las posibilidades para extender la proyección del filme análogo y del video digital más allá de la mera reproducción de imágenes para convertirse en una transmisión de energía encarnada” (p. 2).

Metodología general

Con base en los ejemplos anteriormente mencionados se decidió realizar en la primera parte de esta tesis, que comprende los primeros dos capítulos, una revisión histórico-documental sobre:

- a) El uso y la reflexión en la práctica artística, de los elementos involucrados en la propuesta de producción del presente trabajo, es decir, la imagen, la luz, el movimiento y el sonido.
- b) La relación entre el desarrollo de la tecnología, en particular de herramientas electrónicas y computacionales, y las prácticas artística que, a partir de las primeras décadas del siglo XX, se distanciaron de los formatos de representación estáticos, así como su impacto en las maneras de representar sonidos a través de imágenes, luces y movimiento, o de representar también distintos tipos de información a través de sonidos.
- c) Las obras artísticas y las fuentes bibliográficas que incorporan o definen el concepto de la transducción, tanto en el arte como en otras disciplinas.

En el segundo capítulo, para componer una interpretación de la transducción que pueda utilizarse apropiadamente en el ámbito del arte electrónico, y que no se limite a su concepción tradicional en el campo de la física, se recopilaron distintas definiciones y abordajes sobre este concepto desde diferentes disciplinas y autores. A partir de esta colección de definiciones, se distinguieron y se compararon los elementos más relevantes.

Para desarrollar esta interpretación de la transducción en el arte electrónico se utilizó la

hermenéutica analógica, una propuesta de Mauricio Beuchot para la interpretación de textos cuya principal característica es el balance que establece entre la razón unívoca y la razón equívoca (Beuchot, 2009, 2018). Esta característica fue de gran utilidad, pues en este trabajo se pretendía alcanzar un equilibrio entre las definiciones de la transducción más técnicas y excluyentes, y sus usos menos estrictos o menos detallados. Para esto se consideró a la transducción como un texto con distintas interpretaciones en las disciplinas en las que se ha utilizado este término.

El uso de la hermenéutica analógica también guarda una relación cercana con la atención al trabajo de Simondon y su importancia para este trabajo pues, como explicó Barthélémy (2012) con relación al *razonamiento análogo* de Simondon, “uno de los mayores objetivos de Simondon es de hecho una tercera rehabilitación: en la filosofía [cursivas removidas], él busca rehabilitar la analogía, definida como *identidad de relaciones* [cursivas añadidas]” (p. 204). Esta búsqueda, a saber, es la que llevó a Simondon a utilizar palabras como *transducción* y *metaestabilidad* en su trabajo. Es importante aclarar que para Simondon, la rehabilitación de la analogía funciona como una herramienta generadora de conocimiento solamente en la filosofía y no en la ciencia. Además, distinguió entre dos tipos de analogía: operacional y estructural, aunque para Simondon, ésta última consiste únicamente en semejanza (Barthélémy, 2012; Chabot y Lagarde, 2013).

En concordancia con otros trabajos más extensos sobre el razonamiento análogo, se buscó también que en estas analogías entre definiciones de transducción y obras de arte fuera posible establecer similitudes, no sólo entre las características en ambos sistemas, sino también entre las relaciones que mantienen estos elementos en sus respectivos sistemas (Falkenhainer, Forbus y Gentner en Bartha, 2019).

Metodología para la propuesta de producción

En la propuesta de producción de este proyecto se construyeron tres sistemas interactivos-transductivos que generan representaciones visuales, lumínicas y cinéticas a partir del sonido de la voz humana. Este proceso de construcción no requirió de muchos participantes; la mayor parte del tiempo fue el autor quien buscó información, reunió materiales y realizó pruebas sobre el diseño y el funcionamiento de los sistemas interactivos-transductivos.

En otras ocasiones, que se limitaron a las asesorías, talleres y cursos, el autor recibió orientación y apoyo técnico por parte de expertos y artistas que se especializan en el uso de tecnologías electrónicas y computacionales. Estas tecnologías comprenden circuitos y componentes electrónicos, además de cómputo físico, con la implementación de tableros de *Arduino* y la programación que estos, a su vez, conllevan. Entre estos especialistas se encuentran los ingenieros Juan Galindo y Alan Rabchinsky jefes respectivos de los laboratorios de *Robótica e interfaces electrónicas* y de *Audio* del Centro Multimedia, del Centro Nacional de las Artes, así como Paloma López y Emmanuel Anguiano, del *colectivo nómada multi-especie, Interspecifics*. Así mismo, destaca el apoyo recibido por parte de Arturo Ortega, de *Andromorfosis*, y del colectivo *Artemia*, integrado por Armando Andrade y Roberto Domínguez.

En su trabajo sobre el uso de la cimática en la producción artística, Lega (2013) decidió recurrir a una metodología *científica experimental*, pues no pretendía construir máquinas, dispositivos o sistemas, sino desarrollar técnicas “para la implementación de los procesos cimáticos como herramientas para la creación artística” (p. 19). Por otro lado, en este proyecto no se buscó la estandarización de técnicas y métodos, sino la construcción de una serie de sistemas. De nuevo, una parte de la obra filosófica de Simondon sirvió como guía para la realización de la propuesta de producción, evidentemente cargada con un carácter técnico y tecnológico. Se trata de la mentalidad técnica, descrita en el marco teórico-conceptual.

Existen antecedentes del uso de la mentalidad técnica y del razonamiento transductivo de Simondon en el diseño de objetos técnicos, como constata el texto de Mulder (2016), quien aplicó estos conceptos en el desarrollo de un riñón artificial portátil. Por otro lado, con esta metodología de producción se intentó estructurar, de manera clara y atractiva para el lector, un proceso amplio y complejo, como es el diseño y la construcción de los sistemas mencionados anteriormente. Para esto, se tomaron como base los dos postulados de la mentalidad técnica de Simondon (2009).

Se diseñó la siguiente tabla (Tabla 1) para ilustrar la relación entre los postulados de la mentalidad técnica, el requisito que implican para el objeto técnico, y el modo resultante en el que se procedió durante la construcción de los sistemas.

Tabla 1

Postulados de la mentalidad técnica aplicados a una metodología de construcción

Postulado	Como se presentan en el texto de Simondon (2009)	Requisitos	Procedimientos
1	“Los subconjuntos son relativamente removibles de la totalidad de la que forman parte” (p. 19)	<ul style="list-style-type: none"> - Concebir los sistemas como subconjuntos - Seleccionar, por medio de pruebas, los componentes que se adaptan mejor a las necesidades de cada sistema - Distinguir los componentes y subconjuntos susceptibles de ser reemplazados en futuras versiones de cada sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Se identificarán los materiales y componentes necesarios para construir cada sistema - Se realizarán pruebas con distintos componentes y parámetros para seleccionar o implementar aquellos que optimicen el funcionamiento de cada sistema - Se identificarán los componentes y subconjuntos que podrán ser sustituidos por otros más sofisticados y con mejores capacidades
2	“Si se quiere comprender completamente un ser, se le debe estudiar considerándolo en su entelequia, y no en su inactividad o en su estado estático” (p. 19)	<ul style="list-style-type: none"> - Distinguir los momentos en los que se precisa reducir los componentes del sistema para optimizar su funcionamiento - Promover, por medio de pruebas, la modificación de los esquemas originales en cada sistema 	<ul style="list-style-type: none"> - Se realizarán pruebas para identificar aquellos componentes que pueden cumplir con más de una función y, así, eliminar los componentes que no sean esenciales - Se tratará de mantener una perspectiva abierta a la modificación de los esquemas originales

Los cinco procedimientos presentados no siguen un orden particular, sino que la mayoría de ellos pueden desarrollarse simultáneamente. El primero de ellos, sobre la identificación de materiales y componentes necesarios para la construcción, podría colocarse en un momento anterior al de los otros cuatro, aunque también podrá retomarse cuando sea necesario replantear o incluir un nuevo subconjunto.

Para registrar los avances en la construcción se diseñó el siguiente formato (Figura 2), que permitió mostrar en qué sistema o sistemas se trabajó durante cada sesión, así como la participación y apoyo de otras personas. También se registraron las modificaciones realizadas a los planteamientos anteriores. Además, en la sección denominada *evidencias*, se anexaron imágenes, esquemas de los circuitos utilizados y vínculo a videos en línea sobre el funcionamiento de las maquetas o subconjuntos. Cabe mencionar que en los formatos que se utilizaron, las secciones de *descripción* y *evidencias* son más amplias.

Registro de construcción Sesiones de trabajo			
Número de sesión:	Fecha:	Duración:	Lugar:
Título de la sesión:			
Participantes:			
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (sonido y vibración) ()	Sistema 2 (sonido y luz) ()	Sistema 3 (sonido y viento) ()
Materiales utilizados:			
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:			
Descripción de la sesión:			
Problemas que se presentaron:			
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:			
Evidencias			
Enlaces a videos:			
Fotografías, esquemas o código:			

Figura 2. Muestra del formato de registro para las sesiones de trabajo de construcción de los tres sistemas *interactivos-transductivos*. Formatos realizados por el autor. En los registros completos el área para la descripción de la sesión y para muestra de evidencias es mayor.

Aportaciones de este trabajo

Este trabajo está enfocado a incidir en un grupo definido, que está constituido por artistas y estudiantes de artes visuales, en particular, aquellos artistas y estudiantes interesados en el uso de la tecnología y del sonido, así como en la representación visual del sonido con medios computacionales y electrónicos. Se espera que también se convierta en una referencia con respecto al uso del término *transducción* para referirse a la representación visual, lumínica y cinética de audio en el arte electrónico.

Estas aportaciones se dividen en dos grupos; *aportaciones teóricas* y *aportaciones prácticas*. Ambos grupos pueden funcionar adecuadamente por separado o en conjunto. Algunos lectores podrán referirse a las propuestas teóricas que aquí se presentan, mientras que otros encontrarán en estos planteamientos técnicos, una herramienta con la cual podrán replicar, modificar y expandir los sistemas interactivos realizados en este proyecto, aunque la mejor ruta para comprender ambas partes es estudiarlas en conjunto y observar las relaciones que existen entre ellas.

Aportaciones teóricas

La principal aportación teórica de este trabajo consiste en la propuesta de una interpretación para la transducción, que puede aplicarse en el arte electrónico y que establece un punto de equilibrio entre sus usos en la física y en la tecnología, y en sus aplicaciones más artísticas y filosóficas. Así, artistas e investigadores podrán contar con un término para nombrar algunos fenómenos que se observan incluso en piezas que han representado a México en muestras internacionales como la Bienal de Venecia. No sólo se espera que utilicen este término, sino que también lo critiquen, lo mejoren y desarrollen, a partir de este trabajo, otras propuestas. La elección de esta palabra no es aleatoria, pues se rastrearon distintos casos en los que, a lo largo de casi cinco décadas, este término fue utilizado por artistas y autores en el campo del arte.

Otra aportación es el uso de la hermenéutica analógica de Mauricio Beuchot para comprender un fenómeno y formular una interpretación para él. En esta aplicación, aquello que

se busca comprender no es un escrito ni una obra de arte, sino un proceso cuyas características coinciden con distintas definiciones del término *transducción*.

Aportaciones prácticas

En cuanto a las aportaciones prácticas, en este proyecto se construyeron tres sistemas interactivos, de los cuales dos comparten algunas similitudes en su funcionamiento, que también conllevó la construcción de una interfaz y de un circuito electrónicos, así como la elaboración de *sketches* y *patches* en programas como *Arduino* y *SuperCollider* y *Pure Data*.

Junto con este trabajo también se otorga la libertad de replicar, modificar y expandir el planteamiento técnico entero de los tres sistemas. De este modo, los estudiantes de artes visuales que comiencen a aproximarse al arte electrónico o que tengan intereses similares a los del autor de este proyecto, podrán contar con un base más amplia para desarrollar obras en las que deseen representar sonidos de manera visual, por medio de luces o de movimiento.

Todas las herramientas, los pasos y los resultados que el autor halló por separado y reunió en este trabajo, se presentan en un solo material. También se procuró explicar los procedimientos y las herramientas utilizadas para conformar un texto amigable, pensado para ser consultado y comprendido por estudiantes de artes. No sólo se podrán replicar los sistemas, sino que será posible entender su funcionamiento y relacionarlos, a su vez, con el resto del contenido teórico presentado a lo largo de los primeros dos capítulos y en las conclusiones de esta investigación.

Capítulo 1. Imagen, sonido, luz y movimiento en el arte y su relación con la tecnología

La imagen, el sonido, la luz y el movimiento, son los elementos que conforman la propuesta de producción de este proyecto, pues el propósito de los sistemas interactivos que se construyeron es producir luz, movimiento y patrones geométricos a partir del sonido. En este capítulo se abordan estos elementos, así como la relación que su incorporación y uso en la producción artística mantiene con el desarrollo de la tecnología.

La tecnología y el arte, desde siempre, se han afectado mutuamente; su presencia ha implicado una amplia gama de consecuencias; desde el uso de materiales y pigmentos que, aun en las técnicas más tradicionales, facilitan su manejo por parte de los artistas y los ayudan a conseguir resultados innovadores y a desarrollar nuevos estilos, hasta la creación de nuevas herramientas y procesos que ofrecen posibilidades sin precedentes para incorporar diversos elementos e incluso para fundar nuevos tipos y géneros de arte. Esta idea se sintetiza en palabras de Lara (2016): “la inventiva tecnológica dicta la producción de contenidos estéticos” (p. 2).

Shanken (2009) aseguró que los artistas siempre han utilizado las técnicas y los materiales más avanzados mientras que, en otras ocasiones, han inventado aquello que requerían para materializar sus ideas. Hay que recordar que el óleo, con el que hoy se asocia una idea de historia y tradición, fue alguna vez una nueva tecnología, al igual que la pintura acrílica. Sería erróneo pensar que la tecnología se relaciona inequívocamente con el uso de herramientas electrónicas o computacionales.

La tecnología no sólo ha tenido efectos en el uso de la imagen, el sonido, la luz y el movimiento de manera individual, sino que también ha facilitado la interacción entre estos elementos y la manera en la que los artistas pueden representar a través de sonidos algunos de los elementos que, originalmente, se percibían por medio de la vista, o del modo contrario.

De estos cuatro elementos, la imagen es la que, a lo largo de la historia del arte e incluso ahora, se ha discutido y aún se discute con mayor amplitud y detalle. Esta palabra no se ha relacionado únicamente con las expresiones visuales englobadas dentro del arte, sino que también se ha utilizado para tratar de comprender la manera en la que el humano se relaciona con el

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

mundo que lo rodea. Por lo tanto, es apropiado abordarla, primero y de manera breve, fuera de un enfoque en el arte para, después, limitarla al área particular que se traza entre el arte y el uso de la tecnología.

1.1 Imagen

La imagen no siempre responde a la noción más común e intuitiva relacionada con la percepción visual; en algunos casos, como es el de la gramática cognitiva, la imagen se relaciona con la concepción, estructuración e interpretación de una situación (Cuenca y Hilferty, 1999). La imagen también se puede entender, desde la percepción, como un *objeto-imagen*, es decir, un objeto que es parecido o semejante a otro, que se podría llamar *objeto-original* (Arias, 2016; Diccionario de la lengua española, 2015a).

A su vez, Simondon (2013) definió la imagen como “una representación concreta de contenido sensorial construida en ausencia de estimulaciones sensoriales —o que aparece en ausencia de dichas estimulaciones—” (p. 116). Él consideró la imagen como una “actividad local, endógena” (p. 10) la cual insertó en un ciclo de cuatro fases, pues “existe tanto en presencia del objeto (en la percepción) como antes de la experiencia, como anticipación, o después, como símbolo-recuerdo” (p. 10). Este ciclo de la imagen concluye con la invención. El carácter visual de la imagen en Simondon no ocupa una posición especial. Incluso declaró que “todos los sentidos tienen sus imágenes” (p. 22).

Gubern (1987), por su parte, también fue cuidadoso al elaborar una clasificación de los *estímulos visuales* y no de las imágenes. Es por estos motivos que en este trabajo es necesario acotar lo que se entiende por *imagen* dentro del contexto de la percepción visual, como lo hizo Zunzunegui (2010): “Así, hablar de la imagen será hacerlo de un soporte de la comunicación visual en el que se materializa un fragmento del universo perceptivo” (p. 22).

1.1.1 La vista: sentido privilegiado para el humano

Después de relacionar la imagen con un sentido específico, la vista, es más fácil comprender la

popularidad de manifestaciones artísticas como el dibujo, la pintura, la escultura, la fotografía o incluso el cine. Zunzunegui (2010) declaró que “la información y la cultura que se generan en nuestros días tienen un tratamiento predominantemente visual” (p. 21). De un modo similar, cuando Simondon (2013) se refirió a la imagen en un contexto visual, mencionó que “el sentido de la visión es (...) el que puede escuchar (...) más información” (p. 116). Esta superioridad fue resumida por Gubern (1987) en un fragmento contundente: “A diferencia de otros mamíferos, para los que el olfato o el oído ocupan un lugar más elevado en la jerarquía informativa de los sentidos, el ser humano es primordialmente un *animal visual*” (p. 1).

Más allá de las razones físicas y fisiológicas por las cuales la vista representa un sentido crucial, existen otros motivos culturales que han fortalecido el protagonismo de la vista en comparación con los otros sentidos; probablemente el más importante es la percepción de que en la Edad Moderna se privilegió la información adquirida visualmente. De ahí que algunos de los inventos más importantes para la ciencia durante este periodo estén relacionados con la posibilidad de extender el sentido de la vista, como lo hacen el microscopio y el telescopio (Gubern, 1987; Jay, 1988; Arias, 2016).

Es posible identificar, entonces, dos hechos distintos que nutren el privilegio de la vista sobre los otros sentidos: por un lado, la naturaleza y la biología del ser humano, en donde la vista es importante para tareas tan fundamentales como transitar por el espacio. Por otro lado, la posibilidad de poder observar *algo* ha sido apreciada, al menos en Occidente a lo largo de los últimos siglos. D’Ignazio (2005) señaló que los “occidentales han estado inmiscuidos en una larga historia de aspirar a volver visible lo invisible (la Ilustración [por ejemplo] significa, literalmente arrojar luz [comillas omitidas]” (p. 1). Arias (2016), por su parte, también se refirió a la Ilustración como el origen de un giro icónico, de acuerdo con el cual la imagen representa una ruta hacia una adquisición del conocimiento más rápida y eficaz, lo que la colocaría en un puesto superior a la palabra. En ese periodo, de acuerdo con Arias (2016), incluso se planteó la posibilidad de utilizar la imagen o, específicamente, el símbolo, en sustitución de la palabra con la ambición de crear una lengua universal.

En oposición a la superioridad otorgada a la vista, Aristóteles le atribuyó mayor

importancia al tacto pues, en contraste con los otros sentidos, no viaja a través de un medio transmisor y, por lo tanto, no puede ser engañado (Gubern, 1987). De modo semejante, Platón señaló “al componente visual del lenguaje [la escritura] como enemigo de dos elementos esenciales del conocimiento: el maestro y la memoria (dos conceptos, por cierto, rechazados por la moderna pedagogía” (Arias, 2016, pp. 144-145).

A partir de lo anterior se apunta a que el privilegio de la imagen y de lo visual no cuenta únicamente con motivos de naturaleza tanto fisiológica como cultural, sino que también está localizado geográficamente y temporalmente.

1.1.2 La imagen estática: el arte visual tradicional

Shanken (2009) afirmó que “el arte visual tradicional es estático: captura o representa un momento en el tiempo” (p. 16). A diferencia de otras manifestaciones que recurren a tecnologías electrónicas o computacionales, el arte visual tradicional no cambia, además de que la participación del espectador es distinta; en el arte visual tradicional, la interactividad entre la obra y el espectador es limitada; el espectador solamente observa (Martínez y Jasso, 2006; Jeon, Fiebrink, Edmonds, y Herath, 2019).

En la teoría estética clásica, de acuerdo con Giannetti (2004), el espacio y la forma son permanentes, estáticos; la estructura está definida y es dada por el artista al público. Así, la atención en esta postura se centra en el objeto y no en el espectador.

Estos modos de representación estáticos fueron cuestionados por distintos artistas desde las primeras décadas del siglo XX, como Marcel Duchamp o Jean Tinguely. El primero incorporó el movimiento en su trabajo, en ocasiones mediante el uso de motores (Chen, Lin, y Fan, 2015). Por su parte, Tinguely exhibió una postura opuesta a la imagen estática con su manifiesto titulado *Für Statik*; Chau (2014) relató cómo en 1959, Tinguely repartió 15000 copias de dicho manifiesto, en el que llamó, entre otras cosas, a aceptar la inestabilidad y a vivir en el presente. Es evidente, en las líneas del manifiesto de Tinguely, que el rechazo al arte visual tradicional y estático, al igual que la necesidad de recurrir al movimiento, están directamente relacionados con la necesidad de referirse al tiempo. Esto se observa en particular en las siguientes frases: “Dejad

de ‘pintar’ el tiempo. Dejad de construir catedrales y pirámides que se desmoronarán como si fueran de azúcar. Respirad hondo, vivid el presente; vivid por un tiempo y en el Tiempo. Para una realidad bella y absoluta” (Tinguely en Ruiz, 2018, párr. 2).

1.1.3 Visualización

La palabra *visualización*, al igual que otras de las que se utilizan en esta investigación, como *transducción*, es propensa a ser interpretada de modos muy distintos. Recientemente esta palabra, de la mano del desarrollo de la tecnología, se ha utilizado en conjunto con otra: *información*, para formar el término *visualización de información*, o *information visualization*, en inglés, también referida como *InfoVis*. Así, se definió como “un área de investigación relativamente nueva, la cual se enfoca en el uso de técnicas de visualización para ayudar a la gente a entender y analizar datos [sic]” (Kerren, Stasko, Fekete y North, 2008, p. V).

Esta capacidad de las representaciones visuales para promover la comprensión y el análisis no debe entenderse como una postura opuesta a los argumentos de Arias (2016) sobre el uso de las imágenes al servicio del conocimiento, puesto que una definición de la visualización de la información, calificada por Fekete, Wijk, Stasko y North (2008) como “la más aceptada” (p. 2) fue clara al ubicar el propósito de la visualización en “amplificar la cognición” (p. 2).

Otra definición de la visualización remite, de nuevo, al problema tratado previamente, sobre la asociación común entre la imagen y lo visual: Spence (2011) definió la acción de *visualizar* como “formar una imagen mental de algo” (p. 16). En consecuencia, explicó Spence (2011), existiría un tipo de visualización “dependiendo del sentido humano por el cual los datos codificados sean percibidos” (p. 16). La visualización, para Spence (2011), no tiene nada que ver con las computadoras, al contrario de lo que se expresó en la definición recuperada por Fekete et al. (2008).

1.1.4 La computadora digital en la creación de imágenes y la representación numérica

Una parte de los primeros experimentos en el uso de la computadora para la creación de

imágenes con propósitos artísticos en la década de 1960 fueron impulsados por la visualización de fenómenos físicos y fisiológicos con propósitos científicos, principalmente dentro de lo que concierne al trabajo realizado en *Bell Telephone Laboratories* (Dietrich, 1985; Noll, 2016); Noll (2016), quien participó directamente en este desarrollo, describió cómo los gráficos por computadora “proveían un medio poderoso para mostrar datos científicos y tecnológicos calculados por una computadora digital” (p. 55). Noll (2016) también comentó que sus primeras obras producidas con ayuda de la computadora “fueron el resultado de combinar ecuaciones matemáticas con *pseudo-aleatoriedad* [cursivas añadidas]” (p. 56).

Esta forma de usar la computadora en la creación de imágenes comprende las dos principales cualidades señaladas por Mallery (1975) sobre esta herramienta, no solo en la creación de imágenes, sino en la creación de cualquier tipo de arte; por una parte, el uso de la computadora le brinda al artista la oportunidad de producir piezas con características formales difíciles de igualar por la mano humana, como líneas trazadas con una gran uniformidad, rapidez y precisión. Mallery (1975) le destinó a estas actividades el calificativo de *mecánicas*, y las separó del “*verdadero potencial cibernético de la computadora* [cursivas añadidas]” (párr. 10). Este potencial cibernético consiste en las posibilidades que ofrecen estas máquinas para el cálculo, el análisis y el procesamiento de la información, funciones que, de acuerdo con Mallery (1975), “tienen más que ver con el cerebro que con la mano” (párr. 7).

El trabajo en *Bell Telephone Laboratories* también fue importante en la animación por computadora temprana, cuyo objetivo inicial, al menos entre los investigadores del laboratorio en Nueva Jersey, también fue la visualización de información con propósitos científicos y didácticos (Noll, 2016).

El uso de la computadora digital en la creación de imágenes estáticas e imágenes en movimiento desde la década de 1960 fue una consecuencia de la capacidad de estas herramientas para procesar y representar información, misma que en un principio tuvo propósitos científicos para, posteriormente, servir a objetivos artísticos y de entretenimiento. Esta capacidad se puede resumir en la *representación numérica*, uno de los cinco principios que Manovich (2006) identificó en los *nuevos medios*. Los *objetos de los nuevos medios*, de acuerdo con Manovich

(2006), se componen de código digital, generado en un proceso llamado *digitalización*, que comprende la toma de muestras y la cuantificación. Es debido a la representación numérica, que las imágenes, al igual que los otros objetos de los nuevos medios, “pueden ser descritas por medio de una función matemática” (Manovich, 2006, p. 8), o que también es posible generar imágenes a partir de funciones matemáticas, como queda constatado con los ejemplos de Noll (2016). Del mismo modo, afirmó Manovich (2006), “un objeto de los nuevos medios está sometido a una manipulación algorítmica” (p. 8).

1.2 Sonido

Bastien (2019) comentó que probablemente el primer artista sonoro fue el rey David, quien por las noches solía colocar su arpa de tal manera que el viento pudiera acariciar las cuerdas y, así, producir un sonido suave y relajante. Después habló sobre los orígenes del término *arte sonoro* en la década de 1980. Es importante aclarar ahora que en este trabajo se mantendrá una posición similar a la que expuso Lara (2016) hacia el término *arte sonoro* que, en consecuencia, ha sido mencionado ocasionalmente, pero no se ha tratado como una categoría ni como un concepto adecuado para referirse a la producción propuesta en la sección práctica de este proyecto, ni a los trabajos citados.

Lara (2016) explicó que el término *arte sonoro* se ha utilizado en exceso sin que se consideren los aspectos históricos, ideológicos, políticos o económicos de los elementos que encapsula. Como resultado, surge una etiqueta cuyo uno requisito es que aquello que se nombra utilice el sonido. De este modo, prácticas con perspectivas o ideologías totalmente distintas pueden ser colocadas en un mismo campo, mientras que las diferencias que las caracterizan pueden ser ignoradas.

Una vez aclarado esto, resulta evidente que continuar con una cronología del arte sonoro o, en todo caso, de las prácticas artísticas con sonido, no sería una tarea adecuada, dada, principalmente, la falta de nitidez de este término. Más aún, eso no es lo que se busca en este apartado, en el que se podrían nombrar algunos antecedentes de la experimentación sonora artística, como la creación de autómatas y otras tradiciones que utilizan la física y elementos de la

naturaleza para producir sonido.

Lo que se pretende, además de la aclaración que ya se ha hecho sobre el uso del término *arte sonoro*, es realizar otras distinciones que también serán de utilidad en el contexto de esta investigación, y que se relacionan con los cambios que ha traído la tecnología a las prácticas artísticas que utilizan el sonido, especialmente aquellas que implementan componentes electrónicos o computadoras para captar, almacenar, procesar, producir o reproducir sonidos.

1.2.1 La tecnología y la grabación del sonido. Diferencia entre sonido y audio

Una característica del sonido, resaltada por Sterne (2003), es su naturaleza efímera, por lo cual “antes de la invención de las tecnologías de reproducción [...] se marchitaba. Existía sólo mientras dejaba de existir” (Sterne, 2003, p. 1). Los seres humanos, narró Kahn (2001), siempre han tenido la capacidad de observar sus propios rostros. Para esto basta con mirar en un estanque o en un lago. Por otro lado, no fue sino hasta la invención del fonógrafo y las tecnologías de grabación y reproducción de sonido, que las personas pudieron escuchar sus propias voces sonar desde fuera de sus cuerpos (Kahn, 2001; Sánchez, 2019). Fueron principios mecánicos los que permitieron realizar esto por primera vez. Posteriormente se integraron otras tecnologías, como transductores de señal y circuitos electrónicos, así como *software* después de la llegada de las computadoras (Lara, 2016).

En ocasiones las palabras *sonido* y *audio* se utilizan como sinónimos, sin embargo, nombran dos cosas distintas. La diferencia que aquí se expone se relaciona con las invenciones mencionadas por Lara (2016), Sterne (2003) y Kahn (2001), aunque a las diferencias que separan estas dos palabras también se podrían sumar otros elementos. Es posible utilizar definiciones de diccionarios para explicar estas diferencias.

Las definiciones del sonido, en la física, se han referido a la energía o vibración mecánica que se transmite a través de un medio elástico, como el aire (Diccionario de la lengua española, 2015b; Merriam-Webster, s.f.a). Por otra parte, en una acepción del diccionario Merriam-Webster (s.f.b), el audio se relaciona con un rango *audible* de ondas sonoras, situado entre los 15 hertz y

los 20000 hertz¹⁰.

Además de esta consideración del audio como ondas sonoras dentro de un rango audible, el aspecto más relevante para elaborar esta distinción entre sonido y audio recae en un aspecto mencionado tanto en el Diccionario de la lengua española (2015c) como en el diccionario Merriam-Webster (s.f.b): en ambos se destaca, dentro del audio, la transmisión, recepción, reproducción y grabación de sonido.

Si se siguen estos criterios de distinción, es posible identificar la voz humana que se emite en un lugar y momento específicos como un sonido. Como señaló Sterne (2003), ese sonido se desvanece tan pronto como se emite. En contraste, si en ese momento y en ese lugar se hubiera colocado un dispositivo para grabar aquel sonido, y posteriormente ese archivo se hubiera editado y después se hubiera transmitido desde el sistema en el que se procesó, a otro distinto, para ser finalmente reproducido, se estaría hablando de procesos concernientes al audio; “las ondas pueden viajar, pero los sonidos no” (Helmreich, 2015, párr. 19), en contraste, los archivos de audio también pueden hacerlo. Se considera, en este trabajo, que un sonido es un fenómeno que ocurre en un momento y en un espacio determinados, mientras que el audio o un archivo de audio consiste en información codificada a partir de un sonido, información que puede volver a traducirse en otro sonido, y que también es propensa a representarse de otras formas.

De modo concreto, la diferencia sobre la que se ha escrito en esta sección se presenta en el título de este proyecto: se puede considerar un sistema de representación visual como el eidofono, de Margaret Watts Hughes. La función de éste consiste, como ya se ha explicado, en formar figuras con arena sobre una membrana que vibra con el sonido de la voz, amplificada por una cámara de resonancia. Es posible considerar esto como una representación visual de un sonido. Ahora, si se considera un sistema interactivo como los que se presentan en este proyecto, que capte un sonido, lo procese con ayuda de *software*, genere información numérica a partir de él, escale estos datos y después los transmita como una señal eléctrica para controlar la luminosidad de un foco, resultaría más coherente hablar sobre una representación visual de audio.

¹⁰ Se advierte que en esta acepción lo que se definió fue la palabra en inglés *audio*, no como sustantivo, sino como adjetivo.

1.2.2 Sonificación

La *sonificación* es otro concepto, en ciertos aspectos semejante al de la visualización, que se aplica en situaciones en las que se busca transmitir o comunicar información a través del sistema auditivo humano. Se le puede definir como “la técnica de generación¹¹ de sonido en respuesta a datos e interacciones” (Hermann, Hunt, y Neuhoff, 2011, p. 1), o como “el empleo de audio no verbal para transmitir información, específicamente la transformación de relaciones de datos en relaciones percibidas a partir de señales acústicas con el objetivo de interpretar, comprender o comunicar las relaciones de un dominio estudiado” (Lara, 2016, p. 84).

Es posible observar similitudes entre la visualización y la sonificación; la práctica de la sonificación fue descrita por Floe Inclusive Learning Design Handbook (s.f.) como análoga a la visualización. La única diferencia entre ellas es el uso de representaciones sonoras o gráficas, respectivamente. Adicionalmente, se mencionaron tres objetivos primordiales de la sonificación: “[1] comunicar aspectos de la información normalmente-compleja clara y eficientemente [2] apoyar el análisis específico de aspectos de los datos [3] mostrar patrones y relaciones en los datos” (párr. 3).

Si se recupera la definición de la visualización de Spence (2011), referente a la formación de imágenes mentales, es posible considerar ambas, la visualización y a la sonificación, como formas distintas de visualización. A pesar de los elementos que hacen de éstas, prácticas similares, la diferencia en los modos de llamarlas están arraigadas en la comunidad que las practica y que escribe sobre ellas. Probablemente, algunas cuestiones técnicas y didácticas también se benefician de la distinción entre estos dos términos.

Lo que sí es necesario recalcar es que ambas, la sonificación y la visualización, ilustran cambios, patrones y relaciones en un conjunto de datos que serían más difíciles de percibir, estudiar o comunicar mediante otros procedimientos. Ambas generan imágenes mentales, ambas visualizan: ilustran.

¹¹ Del fragmento original escrito en inglés, *rendering* se tradujo como *generación*.

1.3 Imagen, sonido, luz, movimiento y sus relaciones a través de la tecnología

Durante los dos últimos siglos, el vínculo entre arte y tecnología ha estado dirigido hacia la manipulación y el aumento de la luz, el movimiento y el sonido en nuevos materiales y tecnologías. (...) Durante las siguientes dos décadas [1950-1970], el arte y la tecnología involucraron cada vez más la participación del público. El papel del espectador fue amplificado (...). (Stiles, 2012, p. 384).

Para Shanken (2009), el uso de los medios electrónicos en el arte ofrece nuevas posibilidades para generar piezas en las que el movimiento, la duración y la iluminación funcionan de una manera distinta a como lo hace en el arte visual tradicional. Así, los medios electrónicos promueven el desarrollo de obras que ya no son estáticas, cuya duración puede ser percibida como un evento que sucede en un espacio temporal y que, en ocasiones, pueden prescindir de iluminación, pues ellas mismas integran fuentes de luz. Adicionalmente, Popper (1993) identificó la interacción como un factor para ilustrar la naturaleza del arte tecnológico. Ambas visiones, tanto la de Shanken (2009) como la de Popper (1993), se sintetizan en la cita de Stiles (2012) al inicio de este apartado; en ella, la autora identificó la exploración con luz, movimiento y sonido, además de la interacción, como aspectos importantes del uso de la tecnología en el arte.

Las herramientas electrónicas y computacionales no han permitido únicamente que el espectador se involucre de otras formas con las obras de arte y que los artistas consideren otras posibilidades estéticas y discursivas, sino que también han ofrecido nuevas maneras de establecer asociaciones entre elementos como sonidos, imágenes, movimiento o patrones de luces y, en consecuencia, representar estímulos visuales a través de sonidos o representar sonidos de manera visual.

Desde las primeras décadas del siglo XX algunos artistas comenzaron a utilizar el cine para relacionar sonidos e imágenes en movimiento a través del tiempo. Este tipo de prácticas, no obstante, también se han llevado a cabo desde disciplinas como la pintura, mediante la asociación arbitraria entre colores y las notas musicales occidentales, a las que también se han integrado las nociones de ritmo y duración.

Algunas asociaciones de este tipo no han requerido tecnologías electrónicas o computacionales para su desarrollo: para la pieza *Atlas Eclipticalis* (1961-1962), John Cage necesitó un atlas de estrellas publicado en 1958 por Antonín Becvár, papel pautado y algo para escribir y trasladar la posición de las estrellas en el libro como notas en el pentagrama (John Cage Complete Works, s.f.). De este modo, Cage ofreció la posibilidad de escuchar una versión del sonido de las estrellas. De haber colocado el papel en una posición u orientación distinta, probablemente el resultado tendría un sonido diferente.

Con proyectos más recientes ocurre lo mismo, aunque la tecnología implementada sea distinta: *Pulsu(m) Plantae*, de Leslie García, “propone el diseño de una prótesis sonora basada en el principio de *biofeedback* [cursivas añadidas]” (Interspecifics, s.f., párr. 1) para traducir las variaciones microscópicas de voltaje de la planta en sonido (Lara, 2016). Para esto se utilizaron microprocesadores, circuitos biosensores, tableros de *Arduino*, un programa llamado *PulsumOSC*, y *patches* de *Pure Data*, entre otras cosas (Lessnullvoid, s.f.).

Puede parecer que una pieza como la de Leslie García podría aspirar a una mayor objetividad que *Atlas Eclipticalis*, es decir, que los dispositivos tecnológicos que implementa podrían ayudar a disminuir el nivel de arbitrariedad en las representaciones que genera. Esta afirmación tendría diversos límites. Lara (2016) señaló que más allá de las señales obtenidas de las plantas en *Pulsu(m) Plantae*, lo que sucede posteriormente en la pieza es un proceso de síntesis; lo que el espectador escucha no es la verdadera voz de las plantas, del mismo modo en el que el espectador en *Atlas Eclipticalis* no escuchará el verdadero sonido de las estrellas. Esas pretensiones pueden dejarse a otras investigaciones científicas. Aquí no se apoya la creencia de que la tarea del artista, aunque utilice herramientas tecnológicas o colabore con científicos, sea revelar estas voces ocultas del universo. Lo que sí parece una actividad más apropiada para el artista es generar cuestionamientos y reflexiones en torno a estas posibilidades de comunicación y de percepción.

En este sentido, la tecnología no se presenta como una vía para alcanzar mejores relaciones, más objetivas y directas entre elementos de la realidad y sus representaciones, sino como un conjunto de herramientas que permitirán trabajar con otro tipo de estímulos y de

condiciones: ofrece la posibilidad, por ejemplo, de trabajar en tiempo real con signos vitales, señales eléctricas y cantidades abrumadoras de datos generados al otro lado del mundo con segundos, o incluso fracciones de segundos, de diferencia. Es posible utilizar imágenes del cielo nocturno para producir, en tiempo real, una pieza musical.

1.3.1 Arte electrónico

Shanken (2009) relató cómo la llegada de la corriente alterna a los hogares comunes ocasionó la difusión masiva de la oportunidad, al público general, de utilizar la electricidad para un sinnúmero de aplicaciones a finales del siglo XIX. Esta tecnología llegó a manos de los artistas, quienes “utilizan, transforman e inventan medios electrónicos de maneras que deleitan los sentidos, desconciertan la mente y ofrecen reflexiones profundas hacia las implicaciones — tanto positivas como negativas — de la cultura tecnológica” (p. 15).

Barragán y Reas (2007), por su parte, afirmaron que, aunque artistas como Naum Gabo y Marcel Duchamp habían utilizado motores eléctricos durante las primeras décadas del siglo XX, fue hasta la década de 1960 cuando los dispositivos electrónicos atrajeron un mayor interés dentro del campo del arte. Mencionaron, como evidencia de esto, algunos eventos que ya se han listado en apartados anteriores, como *The Machine* y exposiciones similares, o la fundación de la *Experiments in Art and Technology*, o E.A.T., cuya misión era, de acuerdo con Stiles (2012), “expandir el rol social contemporáneo del artista y eliminar su resistencia al cambio tecnológico” (p. 388). A los elementos que motivaron la exploración con herramientas tecnológicas y electrónicas en la década de 1960, Rovescalli (2014) añadió un crecimiento económico y una mayor sensación de progreso y bienestar.

Para el arte electrónico, la luz y el movimiento también son elementos de gran importancia, pues su desarrollo fue motivado por las exploraciones de distintos artistas en los campos de lo lumínico y lo cinético, así como en el arte *lumino-cinético* y *cibernético* de la década de 1960 (Popper, 1993).

1.3.2 Luz y movimiento: arte cinético y lumino-cinético

El punto de inicio del arte cinético como una forma de arte fue ubicado en el año de 1968 por Frank Popper (Popper en Rovescalli, 2014)¹². Chen et al. (2015) propusieron dos categorías en las que se podría dividir el arte cinético: en la primera requiere que exista un movimiento real en la obra, mientras que en la segunda se presenta una ilusión de movimiento realizada con medios y materiales estáticos, es decir, por medio de efectos ópticos y con la ayuda del movimiento mismo del espectador y de su posición con respecto a la obra. Si se consideran otros elementos, es posible proponer incluso más clasificaciones, como el *arte lumino-cinético*¹³, que Popper nombró al observar piezas que añadían luz al movimiento (Popper en Rovescalli, 2014; Popper, 1993).

Dentro de otra división en el arte cinético planteada por Chen et al. (2015), aquellas obras que utilizan fuerzas artificiales para generar movimiento son de mayor interés para este trabajo, a diferencia de aquellas que se valen de fuerzas naturales o de la posición del espectador. Es en esa división en la que se sitúa una característica atribuida al arte cinético en general, que es la relación que estableció con la ciencia (Chen et al. 2015), así como el papel del artista como *divulgador del conocimiento científico* (Rovescalli, 2014).

1.3.3 Interacción

Las décadas de 1950 y 1960 representaron, entre otras cosas, un momento especial para romper con el el “sistema tradicional secuencial” (Giannetti, 2004, p. 2), es decir, para proponer otras maneras y estructuras para vincular al espectador con la obra de arte. Esto ocurrió a través de la exploración de nuevas prácticas, con las que se perseguía un objetivo principal: la interacción.

Las tecnologías electrónicas y computacionales incentivaron, en gran medida, este tipo de

¹² Aunque Popper (1993) también ha proporcionado una fecha menos precisa para el surgimiento del arte cinético; ésta es la década de 1950, sin embargo, en la referencia proporcionada por Rovescalli (2014) se hizo hincapié en la designación de estas prácticas como una nueva forma de arte. Es por la mayor precisión y relevancia del estatus del arte cinético, que se dio prioridad al año de 1968.

¹³ Traducido así de *lumino-kinetic art*.

trabajos *interactivos*, en los que la respuesta entre usuario y obra se daba en tiempo real (Galindo, 2014). Es posible cuestionar si el uso de herramientas electrónicas o computacionales es la única alternativa para la realización de este tipo de obras, o si constituye una de las múltiples vías para llegar a la interactividad. Para responder a esto se puede recurrir a piezas como los *Happenings*, o las instalaciones con objetos cotidianos en las que se permitía y se incitaba la participación del espectador para generar un cambio (Edmonds, Turnern, y Candy, 2004) en la obra. Para Popper (1993), por ejemplo, este tipo de interacción podría situarse de una forma más adecuada bajo el nombre de *participación*, que sería distinta de la verdadera interacción, pues la primera supone un involucramiento tanto en un sentido contemplativo o intelectual, como en el comportamiento. La participación es el llamado o la invitación al espectador para relacionarse con una obra abierta, mientras que la interacción, cuya historia aseguró Popper (1993), es mucho más reciente, involucra el uso de dispositivos tecnológicos que hacen posible una relación en donde las acciones fluyen en ambas direcciones: del espectador o usuario a la obra, y de vuelta.

Galindo (2014), mientras escribía acerca de la *danza con medios digitales*, restringió el término *arte interactivo* a las obras realizadas con herramientas electrónicas o computacionales; a favor de esto argumentó que en la década de 1990 el concurso *Prix Ars Electronica* abrió una categoría de participación denominada *arte interactivo*. Una de las características en común de las obras seleccionadas en este evento era, como su nombre lo indica, el uso de la tecnología. Galindo (2004) reconoció otros tipos de interactividad, como los que mencionaron Edmonds et al. (2004) en su texto, aunque adoptó esta noción de interactividad ligada al uso de la tecnología en su propio trabajo. En la presente investigación también se adopta esta postura sobre la relación entre la interacción y la tecnología.

La interacción ha sido descrita como una ruptura en la forma tradicional, estática, de realizar objetos artísticos. Su uso, por lo tanto, involucra otros cambios en la elaboración de la obra de arte. Giannetti (2004) consideró cuatro campos que se necesitan redefinir, dentro de la obra de arte, una vez que se introduce la participación activa del espectador: “la percepción, la exhibición, la comunicación y la estructura” (p. 1). Esto implica el diseño de una interfaz que mediará entre el usuario y la máquina.

La interacción para Giannetti (2004) representa, ante todo, “un intercambio real de información (...), es decir, la posibilidad de que un elemento externo a la máquina entre a formar parte del proceso mediante la introducción de información, y pueda generar nueva información no contenida en el programa” (p. 3). Esto es útil, principalmente, para distinguir la interacción de otras formas de participación, en las que la información está contenida en la pieza como un conjunto de opciones entre las que el usuario puede navegar, pero en donde no puede generar nueva información.

Bajo esta perspectiva, obras como *Epizoo* (1994), de Marcel·lí Antúnez Roca, serían responsivas, pero no interactivas. En este performance, por ejemplo, el artista lleva puesto un exoesqueleto, con el que el público puede controlar, a través de una computadora, el mecanismo neumático, que mueve las partes del cuerpo del artista, a las que está enganchado. El espectador no introduce nueva información al sistema, sino que activa secciones específicas de él. En contraste, la instalación titulada *Protrude, Flow* (2001), de Sachiko Kodama y Minako Takeno, no sólo es responsiva, sino que también le permite al espectador introducir nueva información al sistema.

Edmonds et al. (2004) recuperaron cuatro categorías para distinguir distintos tipos de obras de arte, en función de la relación entre obra, artista, espectador y entorno. Estas categorías son: *estático*, *dinámico-pasivo*, *dinámico-interactivo* y *dinámico-interactivo (variable)*. La primera categoría engloba las obras de arte que no reaccionan al entorno ni a las acciones del público, como ocurre en el arte visual tradicional. Las obras en la segunda categoría incorporan un mecanismo que les permite sufrir cambios de una manera previsible y dada por el artista, mientras que aquellas enmarcadas en la tercera categoría responden a un papel activo del espectador. Es posible relacionar, a partir de este nivel, la concepción de interacción de Giannetti (2004) mencionada anteriormente. Finalmente, en la cuarta categoría se presenta “un agente modificador que cambia las especificaciones [o tareas] del objeto artístico” (Edmonds et al., 2004), de modo que los resultados que éste genera no son previsible.

Cornock y Edmonds (citados en Edmonds et al., 2004) prefirieron utilizar el término *sistemas artísticos*, así como *sistemas artísticos interactivos*, en lugar de *obra de arte*, para

destacar los distintos personajes involucrados en la creación y ejecución de las piezas, o sistemas, interactivos, es decir, el artista y el espectador, además del entorno. Ésta es una de las razones por las cuales también se ha utilizado el término *sistema interactivo* para nombrar la propuesta de construcción que conforma la sección práctica de este proyecto. Éstas, a su vez, se inscriben en la tercera categoría mencionada por Edmonds et al. (2004), dinámica-interactiva, así como en el criterio de interactividad expuesto por Giannetti (2004), pues en estos sistemas interactivos, el espectador o usuario participa en la generación de nueva información, a través de acciones cuyos resultados son percibidos y procesados por el sistema para devolver información al participante. Al participante también se le puede nombrar con un término explicado por Giannetti (2004): *interactor*. El interactor, escribió Giannetti (2004), tiene la capacidad de dialogar “no sólo ‘a través’ de la interfaz, sino ‘en’ la propia interfaz” (p. 3) para generar “su propio espectáculo” (p. 3).

1.3.4 La computadora y las representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio

La computadora actúa, mencionó Manovich (2006), “como un dispositivo de presentación multimedia” (p. 21); es capaz de presentar distintos tipos de información, como son textos, imágenes, videos, audios, o modelos 3D, pues todos ellos pueden ser interpretados por la máquina gracias al uso de un código digital común.

El principio de representación numérica de lo que Manovich (2006) llamó *nuevos medios*, anteriormente presentado, ofrece la posibilidad de interpretar una parte de la realidad, como un sonido o aquello que se coloca frente a una cámara digital, de manera matemática, de modo que sea posible almacenarlo, modificarlo, replicarlo o utilizarlo para crear algo nuevo con la ayuda de la computadora.

En el arte computacional no sólo es posible representar una parte de la realidad de forma numérica, sino que también es posible crear material a partir de números o de información codificada. Debido a esto, es posible asignar valores numéricos a un sonido para, después, representar esa información generada de forma visual. Así es como funcionan los sistemas interactivos-transductivos que conforman la propuesta de producción de este proyecto, que

fueron diseñados para obtener representaciones numéricas a partir de sonidos, o generar información de audio; posteriormente se utiliza esta información para controlar una señal eléctrica que, a su vez, controla la velocidad de giro de un motor o la intensidad del brillo de un conjunto de LEDs.

En el arte computacional, entonces, la computadora no sirve únicamente para representar y procesar distintos tipos de información a través de una misma máquina, sino que también se puede utilizar, como mencionó Mallary (1975), “como una forma de mediar el flujo de energía e información dentro de un sistema transductivo” (párr. 8).

Esta capacidad de la computadora para transformar, mediar y traducir también fue referida por Seiça (2012): “uno de los dispositivos básicos del entorno virtual es el archivo, con su consiguiente especificación de almacenamiento, transferencia y conversión de datos. Un archivo siempre transforma cierto tipo de datos en otros (por ejemplo, al convertir código en sonido)” (pp. 77-78).

1.3.5 El cómputo físico y el hardware abierto

Los sistemas diseñados y creados con el cómputo físico realizan dos acciones primordiales: por una parte, perciben y sensan cambios en el entorno, mientras que también responden a esas situaciones. Para realizar estas dos tareas, estos sistemas físicos interactivos normalmente implementan sensores, actuadores y microcontroladores (Di Castro, s.f.; Cabezas, 2014; Banzi, 2011).

Cabezas (2014) aseguró que “la plataforma de hardware abierto *Arduino* es en la actualidad el recurso mayor utilizado para el diseño de sistemas físicos interactivos” (p. 25). El proyecto *Arduino*, creado por Massimo Banzi, David Mellis y David Cuartielles guarda muchas similitudes con el proyecto de Hernando Barragán, *Wiring*, entre ellas el código fuente (Barragán, 2016). La misión de este apartado no es estimular la controversia que ha surgido alrededor del origen de *Wiring* y *Arduino*¹⁴; lo que representa una mayor relevancia para este texto en particular

¹⁴ El lector interesado en esta historia podrá referirse a este texto escrito por Barragán (2016): <https://arduinohistory.github.io/>

son los motivos que llevaron al colombiano, Hernando Barragán, a desarrollar *Wiring* en el año 2003, como su proyecto de maestría en el Instituto de Diseño de Interacción Ivrea, IDII por sus siglas en inglés. En su tesis, Barragán (2004) escribió que su proyecto buscaba

apoyar la educación no sólo en las escuelas de arte y diseño sino también en diferentes tipos de entornos de aprendizaje y distintos tipos de prácticas. Permitirá a los usuarios prototipar rápidamente sus ideas y conceptos en el mundo físico, permitiendo a los usuarios concentrarse en la calidad de sus diseños, la interacción, ideas, o conceptos por ilustrar, en lugar de concentrarse en mostrar que la tecnología funciona. (Barragán, 2004, p. 3).

Otra característica relacionada con el éxito y a la popularidad con la que cuentan herramientas como estas, en especial *Arduino*, es que se trata de herramientas de *código abierto* o *libres*. Las formas de patentar el *hardware libre*, o en inglés *open hardware* u *open source hardware*, facilitan que los objetos físicos¹⁵ en cuestión “puedan ser estudiados, modificados, creados y distribuidos por cualquiera” (opensource, s.f., párr. 1).

En consecuencia, se despliega una gama de posibilidades para utilizar y acceder a esta tecnología. Con esto se ha promovido que artistas y estudiantes de arte, entre otras disciplinas, experimenten con el cómputo físico y puedan proponer proyectos y obras interactivas sin invertir demasiado tiempo en aprender a construir y programar estos circuitos.

Además de los costos moderados y la facilidad de trabajar con herramientas como *Arduino*, en comparación con la complejidad y el tiempo requerido para aprender otros lenguajes de programación, actualmente los tableros de plataformas como *Arduino* o *Wiring* poseen dimensiones reducidas, lo que hace posible transportarlos fácilmente e incluso desarrollar instalaciones interactivas en donde se utilice uno o más de estos tableros sin que el diseño originalmente concebido por el artista tenga que alojar un tablero estorboso y pesado. Algunos modelos son tan compactos que pueden ser montados en indumentaria o accesorios manipulados por directamente el usuario.

Además, la naturaleza responsiva e interactiva de estas plataformas facilitan la realización de sistemas que detectan temperatura, iluminación, sonido, posición, orientación, fuerza, y

¹⁵ Dado que la palabra *hardware* se refiere a objetos físicos, en contraste con la palabra *software*.

proximidad, entre otras variables, y las representan de una manera distinta. Proyectos de visualización o sonificación encuentran en *Wiring*, *Arduino* y propuestas similares, una herramienta de gran utilidad, a un costo accesible.

1.4 Mostrar lo invisible: lo simbólico y las *máquinas micropolíticas*

Stiles (2012) recordó unas palabras del artista griego, Takis, que se pueden asociar a las piezas que conforman su producción: “Sócrates dijo que, para él, la persona que descubra y haga algo invisible, evidente, es un artista” (p. 386). Algunas de las prácticas mencionadas en este capítulo, como la visualización o la sonificación, coinciden con esta postura; más aún, un gran número de las piezas que se abordan en este trabajo, así como los sistemas interactivos que se presentan en el tercer capítulo, responden a una idea similar, de evidenciar algo que, de otra manera, sería imperceptible, como la actividad electromagnética en la sala de exposición o los latidos de las personas en ella. Este tipo de prácticas, que cuentan con una gran popularidad actualmente, han sido criticadas por D’Ignazio (2005), quien afirmó que el problema con ellas es que “a pesar de ser interesantes (...) permanecen en el ámbito de lo simbólico, lo didáctico y lo molar” (p. 1).

Este tipo de proyectos, más allá de los complejos significados y construcciones que puedan establecer, normalmente tienden a representar una parte de la realidad. Esto implica trazar relaciones fuertes, en ocasiones unívocas, entre un objeto de la realidad y un elemento en la obra de arte. D’Ignazio (2005) propuso una alternativa para buscar otras posibilidades de creación que se alejaran de una estructura de representación estricta. A esto lo llamó *máquinas micropolíticas*, y las definió como “tecnologías sociales diseñadas por agentes distribuidos para producir experiencias de disonancia, multiplicidad, *desreconocimiento* [cursivas añadidas] e invisibilidad, las cuales contrarrestan las tecnologías cuantitativas, sobre-determinantes de la Sociedad de Control” (pp. 1-2). En otras palabras, estas máquinas, vistas como una obra de arte, suponen el inicio de una multiplicidad virtual. La multiplicidad que ahí se plantea, al ser cualitativa en vez de cuantitativa, implica la existencia de diferencias y, por lo tanto, de una dispersión *rizomática*.

La propuesta de D’Ignazio (2005) presenta una alternativa política, subversiva, para crear arte y establecer nuevas relaciones, no sólo entre objetos, sino también entre sujetos. Las

máquinas micropolíticas suponen, pues, otras maneras en las que el espectador se puede relacionar con la obra, o en las que elementos dentro de la pieza se relacionan entre sí, pero propone, al mismo tiempo, formas distintas en las que, por medio de la obra, las personas, espectadores o artistas, pueden relacionarse entre sí.

La crítica de D'Ignazio hacia los canales limitados y verticales que se crean mediante la representación y mediante lo simbólico es un aspecto a considerar para proyectos como éste. Ciertamente, tratar de generar una representación visual a partir de algo invisible o imperceptible proviene de una larga tradición Occidental que se deriva del pensamiento positivista.

Es necesario recordar que los sistemas interactivos presentados en este trabajo no se enuncian como una obra de arte, sino como un planteamiento técnico; un conjunto de procesos y herramientas de las que el investigador se ha apropiado con el propósito de incorporar en su producción artística. No obstante, las palabras de D'Ignazio (2005) componen una reflexión que cualquier proyecto que pretenda mostrar o evidenciar lo invisible debería considerar, si es que entre sus objetivos también se encuentra el deseo de realizar una propuesta innovadora y comprometida políticamente.

Por otro lado, es igual de importante recordar que con esta propuesta no se desdeñan las obras que se sitúan en el ámbito de lo simbólico, sino que únicamente se plantea una forma de producción distinta. El artista es libre de escoger entre un amplio repertorio de medios, herramientas, temas y metodologías. La misma D'Ignazio ha realizado proyectos en los que representa, e incluso mide, cosas intangibles. Ejemplos de esto son piezas como *It Takes 154,000 Breaths to Evacuate Boston* (2009), *Paradise* (2002) o *12 Inches of Weather* (2007).

Lo mencionado en este apartado no debe recibirse como una amenaza o un argumento en contra que mengüe la inquietud de trabajar con proyectos que se valen de la representación, sino como una crítica de la que es necesario tomar conciencia, así como un incentivo para pensar en otras posibilidades para la creación artística.

1.5 Conclusiones del primer capítulo

A partir de la información presentada a lo largo de este capítulo es posible elaborar ocho

afirmaciones en las que se sintetizan los aspectos más relevantes para este trabajo sobre la relación entre el desarrollo de la tecnología y las representaciones cinéticas, visuales y lumínicas de audio en el arte, a las que, cabe aclarar, en este capítulo no se les denominó como *procesos de transducción*, pues el tema que concierne a este apartado es el de la relación entre la tecnología y las maneras de representar sonidos de manera visual, y no el concepto de la transducción. Para expresarlo de una forma más clara, en este trabajo se entiende que las representaciones entre distintos medios y los procesos de transducción son cosas distintas. Ahora, en cuanto a la relación entre el arte y la tecnología es posible afirmar que:

1.- La tecnología siempre ha estado relacionada con la producción artística, en tanto que ha ofrecido a los artistas herramientas y procesos originales para desarrollar sus propuestas, así como cuestionamientos y posturas frente a temas novedosos.

2.- El arte visual tradicional, aun cuando presencié innovaciones tecnológicas en la forma de pigmentos, materiales o técnicas inéditas, es estático, y su invitación a la participación por parte del público es limitada.

3.- Las tecnologías y los dispositivos electrónicos y computacionales han afectado la manera en la que se producen imágenes, sonidos, textos y otros objetos de manera individual, así como las formas en las que estos se relacionan entre sí, se articulan o se ensamblan.

4.- El uso de la tecnología computacional digital con propósitos científicos ha sido importante en la elaboración de material visual a partir de términos matemáticos, como son las imágenes estáticas y las animaciones producidas por computadora.

5.- A pesar de que la grabación de sonido se originó con principios mecánicos, las tecnologías electrónicas y computacionales han sido de gran importancia dentro de la grabación del sonido, así como para el almacenamiento, la edición, el envío y la reproducción de archivos de audio.

6.- Los herramientas y los medios electrónicos y computacionales han hecho posible que los artistas incorporen en sus obras elementos como el movimiento y la luz. Del mismo modo, ha propiciado el surgimiento de otro tipo de relaciones entre el artista, la obra y el público, que ya no está limitado a la participación, sino que también puede ser parte de una auténtica interacción, en

la que integra información nueva al sistema artístico.

7.- A través de las computadoras digitales es posible, tanto representar objetos de la realidad de manera numérica, como producir objetos a partir de información numérica. Esto ofrece la posibilidad de utilizar la codificación digital para representar sonidos por medio de imágenes, o imágenes a través de sonidos.

8.- El desarrollo de la tecnología, del cómputo físico y del *hardware* abierto han facilitado el acceso a los sistemas interactivos por parte de los artistas, quienes pueden incorporar en sus propuestas dispositivos más económicos, veloces, compactos y con interfaces y lenguajes de programación más amigables.

Además de estas ocho afirmaciones que sirven a manera de conclusión para este capítulo, también fue posible señalar que el privilegio de la vista sobre los otros sentidos de la percepción humana, así como la construcción de artefactos y dispositivos diseñados para mejorar y amplificar sus capacidades, es una tendencia que es posible localizar en la Edad Moderna en Occidente. Es posible detectar la misma tendencia en algunos proyectos artísticos que pretenden revelar algo que previamente era imperceptible, no sólo de manera visual, sino también por medio de sonidos. De acuerdo con posturas como la de D'Ignazio (2005), este tipo de propuestas permanecen en el ámbito de lo simbólico, y no pueden crear experiencias de disonancia y multiplicidad. Esto no significa que una pieza que se base en la visualización sea inferior, y en todo caso tampoco superior, a otra pieza a la que se le pueda denominar, con el término de D'Ignazio (2005), como una *máquina micropolítica*.

Capítulo 2. Una interpretación analógica de la transducción en el arte electrónico

El desarrollo de la tecnología ha cambiado la forma en la que se producen imágenes y sonidos, así como las posibilidades para incorporar luz y movimiento en el arte, o para ensamblar y articular distintos objetos producidos o procesados por la computadora. También ha permitido utilizar la codificación digital para representar imágenes por medio de sonidos, o sonidos a través de imágenes, no obstante, el término *transducción* no es un sinónimo para estas representaciones entre distintos medios.

Este capítulo está dedicado al análisis del concepto de la transducción, para lo cual se decidió trabajar con la *hermenéutica analógica*, debido a que permite establecer un equilibrio entre los principales usos de la palabra *transducción* en una amplia variedad de disciplinas y, así, ofrecer una interpretación para este concepto dentro del arte, pero sin desligarlo de la tradición, principalmente técnica y filosófica, que se ha ocupado de él por casi un siglo.

2.1 La hermenéutica analógica y la transducción

Desde sus definiciones más comunes, la transducción mantiene un carácter técnico y tecnológico. Es en las disciplinas relacionadas con la física y la biología, que este término se utiliza para nombrar procesos y fenómenos específicos, sin espacio para concepciones distintas o para usos menos rigurosos. En contraste, en el campo del arte y de la filosofía se ha utilizado la misma palabra para nombrar cosas distintas; a pesar de que la idea general en todas ellas es similar, ocurre que en algunos casos se emplea para referirse a procesos que suceden en personas, en objetos, o en sociedades (Simondon, 2015; Mackenzie, 2002), en textos (Kress, 2003; Maestro, 2005), en obras que incorporan materiales particulares (Fox, 2015a; Fox, 2015b), o en personas que desarrollan una actividad específica, como los músicos (De Assis, 2017).

En ocasiones su uso dentro del arte obedece a interpretaciones técnicas y tecnológicas, mientras que otras veces depende de una perspectiva filosófica. Debido a estas distintas formas de comprender este término dentro de un mismo campo, el propósito para utilizar la hermenéutica analógica es pautar una interpretación o un conjunto jerarquizado de

interpretaciones que concilien estas dos maneras de aproximarse a la transducción para establecer un punto medio en el que las posturas filosóficas y creativas mantengan un contacto con los puntos de vista más técnicos. El contexto para esta elaboración es el arte electrónico, que contiene al arte computacional, y que tiene puntos de encuentro con otras áreas, como el bioarte y otras prácticas catalogadas dentro del arte tecnológico.

En cuanto al método, Beuchot (2009; 2018) no proporcionó una forma precisa para trabajar con la hermenéutica analógica; más aún, expresó que “el carácter metodológico de la hermenéutica es muy general” (Beuchot, 2009, p. 20), con “principios y reglas muy amplios” (p. 20). Así, proporcionó tres pasos o *modos de sutileza* que adaptó de Ortiz-Osés, a manera de metodología general: En primer lugar está la *subtilitas implicandi*, que consiste en referirse al significado textual, sintáctico. El segundo paso es el de la *subtilitas explicandi*; en ella, el texto se analiza en relación con el mundo y con los objetos; se analiza pues, semánticamente, en relación con “su referente, real o imaginario” (Beuchot, 2009, p. 21). En el último paso, de carácter pragmático y denominado *subtilitas applicandi*, entran en juego la intención del autor y el “contexto histórico-cultural” del texto (Beuchot, 2009, p. 21).

Para aprovechar al máximo la libertad en la metodología, en este caso se decidió, para comenzar, exponer un panorama de los usos de la palabra *transducción*, en donde se destacaron las definiciones y aplicaciones más comunes del concepto, con lo cual se esbozó un entramado general de la esencia de la transducción. Posteriormente se presentaron algunas características particulares de las definiciones de este término, entre las que algunos elementos contrastan y se niegan, mientras que otros coinciden. En el desarrollo de este análisis también se mencionaron obras como *Biopoiesis* (2011-2013) de Carlos Castellanos y Steven J. Barnes, *Akousmaflora* (2007) de *Scenocosme*, *Pulsu(m) Plantae* (2012) de Leslie García, *Biolesce* de Tyler Fox, *Almacén de corazonadas* (2006) de Rafael Lozano-Hemmer, y *The Punishment of Tantalus* (2017) de Wu Ziwei, pues son relevantes para ilustrar algunas de las ideas y argumentos presentados, así como para abordar las similitudes o los contrastes en los usos del concepto de la transducción.

Finalmente, se delimitó un contexto; el del arte electrónico, para establecer una mediación entre los elementos técnicos y filosóficos, sus contrastes y sus aspectos en común, con

el propósito de proponer una interpretación analógica de la transducción en la que se establezca un punto de encuentro entre los elementos técnicos y filosóficos de este término.

2.1.1 La hermenéutica analógica y las razones unívoca y equívoca

La hermenéutica analógica fue propuesta por Mauricio Beuchot en una ponencia en 1993 (De Haro, 2007). De acuerdo con Beuchot (2018), a lo largo de su historia, la hermenéutica “ha sido jalonada entre el univocismo y el equivocismo” (p. 53). Así que su propuesta tiene como propósito, establecer un equilibrio entre posturas de interpretación unívocas, excluyentes, y posturas equivocistas, demasiado abiertas e imprecisas.

Esta propuesta es especialmente atractiva para un proyecto como éste pues, como se menciona en este capítulo, los significados de la transducción presentan variaciones, menores o mayores, de acuerdo con la disciplina o el campo en el que se use esta palabra. Sus aplicaciones han alcanzado terrenos técnicos y científicos y, al mismo tiempo, entornos filosóficos y poéticos. Debido al uso de la analogía, que permite la convivencia entre la metonimia y la metáfora, Beuchot (2018) explicó que la hermenéutica analógica permite también que “lo científico pueda interpretarse poéticamente y lo poético científicamente” (p. 55).

La hermenéutica analógica, además, ofrece la posibilidad de contar con distintas interpretaciones pues, como Beuchot (2018) afirmó, en donde sólo se acepta una interpretación no puede existir un verdadero ejercicio de hermenéutica. Aunque por otro lado, también se limitan estas interpretaciones, con el objetivo de que no se extiendan infinitamente, lo que le restaría rigor al trabajo hermenéutico. Beuchot (2018) explicó: “se tendrá un conjunto amplio de interpretaciones válidas, pero definido y con la posibilidad de jerarquía, es decir, un conjunto ordenado, en el que se ven los grados de aproximación a la verdad textual” (p. 60).

Lo *unívoco* y lo *equívoco* son, junto con lo *analógico*, algunos de los conceptos primordiales dentro de la propuesta de Beuchot. Lo unívoco, dentro de la semántica, se refiere a “lo completamente igual, lo claro y lo distinto” (Beuchot, 2018, p. 29). Lo unívoco, recalcó Herrera (2010), es contrario a lo polisémico, pues se instala en el modelo cartesiano de la modernidad ilustrada. Al otro extremo de lo unívoco se encuentra lo equívoco que es, de acuerdo

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

con Beuchot (2018), “lo completamente diferente, de manera irreductible” (p. 29). La gran desventaja de la razón equivocista es que tiende al relativismo y a lo inconmensurable (Herrera, 2010). Esta contraposición se ubica, del mismo modo, en los calificativos moderno-posmoderno y positivista-romántico, utilizados también por Beuchot (2018).

Lo analógico, finalmente, “conjuga la identidad y la diferencia” (Beuchot, 2018, p. 29). La razón analógica establece un punto medio entre lo equívoco y lo unívoco para construir un punto en donde la interpretación verdaderamente tiene lugar, es decir, en donde se puede llevar a cabo la labor de la interpretación, pues es posible considerar más de una concepción y, al mismo tiempo, se limita esta misma posibilidad, de modo que no se extienda al infinito, a la confusión y al terreno de lo borroso y de lo oscuro.

2.1.2 La transducción como un texto

Al escribir sobre la hermenéutica, Beuchot (2018) mencionó que un texto no sólo puede ser un escrito, sino que también puede ser un diálogo o una acción significativa. Mencionó también que “los medievales veían la realidad como un texto” (p. 13). El panorama de lo que se puede concebir como un texto es entonces, de acuerdo con Beuchot (2018), muy amplio.

La hermenéutica se ha utilizado para interpretar cuentos, pinturas, obras de teatro y otras obras de arte, sin embargo, en esta investigación, lo que se interpretó no fue una obra de arte en particular, sino el concepto mismo de la transducción y su uso por parte de artistas y académicos en el arte electrónico, por lo tanto, se entiende la transducción como un entramado de definiciones, conceptos contiguos, aplicaciones técnicas, y usos en materiales escritos y en obras de arte.

2.2 La transducción en sí misma

En el caso del concepto de la palabra *transducción*, es posible encontrar momentos y contextos en los que se ha utilizado de manera unívoca y, por lo tanto, nombra un proceso particular, específico. Por otro lado, también existen contradicciones y confusión alrededor del término, pues en otras ocasiones se le ha empleado con un propósito distinto al de nombrar algo único,

particular, dentro de un campo claramente delimitado.

Para comprender este concepto, así como los procesos y fenómenos asociados con este término, en primer lugar se precisa partir del significado de la palabra misma: Maestro (2005) explicó que su significado “se deriva del latín *transductio*, *-tionis*, cuyo significado era *transmisión* (*ducere*, ‘llevar’) algo *a través de* (*trans*) un determinado medio que actúa en el objeto” (párr. 30)¹⁶. Helmreich (2015), a su vez, recuperó del *Oxford English Dictionary* una definición del verbo *transducir*: “alterar la naturaleza física o el medio (de una señal); convertir las variaciones dentro de (un medio) en variaciones correspondientes en otro medio” (Oxford English Dictionary en Helmreich, 2015, párr. 3). Courribet (2006), por su parte, antes de desarrollar su propuesta sobre el concepto de la transducción en la composición audio-visual, mencionó que el término “normalmente hace referencia al proceso de convertir un tipo de energía en otro” (p. 3).

2.2.1 Esquema de transformación y esquema de comunicación

Existe un conjunto de palabras empleadas en la definición de la transducción en los distintos campos en los que se utiliza el término¹⁷. A pesar de que en las fuentes algunas de estas palabras son más populares que otras, esta lista es de útil para comprender la amplitud del término, así como para formar una idea general de sus principales atributos.

Estas palabras son: *transformación, conversión, transmisión, transferencia, medición, mediación, modulación, traducción, transmutación, trascendencia, alteración, cambio, intercambio, movimiento, propagación, base, inferencia, encuentro, conexión, unificación, resolución, estructuración, reestructuración, reconfiguración, articulación y actualización*.

A partir de esta lista es posible trazar dos esquemas principales; dentro del primero, algunas de las palabras aluden a una naturaleza mágica o alquímica, incluso química, así como a

¹⁶ También es posible encontrar un fragmento similar en el trabajo de Helmreich (2015).

¹⁷ Estas palabras fueron halladas en más de 30 materiales referentes a la transducción que se abordan a lo largo de este capítulo. La fuente más antigua que se consultó fue la quinta impresión de *Transmission Circuits for Telephonic Communication. Methods of Analysis and Design*, de Johnson (1931), aunque la primera impresión, citada por Helmreich (2015), data del año de 1924, no obstante, Helmreich (2015) también mencionó una aparición de la palabra *transducción* en un artículo de 1923 que no fue posible consultar. Por otro lado, los materiales más recientes fueron publicados en el año 2017. Estos son los textos de De Assis (2017), Lara (2017) y Walker (2017).

la capacidad para transformar una cosa en otra. Es necesario considerar, en este proceso de conversión, la existencia de un mismo término en dos estados; aquel que precede a la transformación y aquel que la sucede. En otras palabras, las nociones de *transformación* y *conversión* suponen la existencia de un *antes* y un *después*. Estos dos estados deben ser, en alguna medida, distintos. Esta noción de transformación en la que una cosa pasa a ser otra, se refuerza con otras palabras en la lista, como son *alteración* y *cambio*.

Bajo este esquema de transformación también es importante observar que los estados señalados no pueden existir simultáneamente, puesto que uno debe tomar el lugar del otro. Por el contrario, con el uso de palabras como *mediación*, *transmisión*, *transferencia*, *intercambio*, *propagación* o *articulación*, se presenta la posibilidad de que dos términos implicados puedan existir e interactuar en el mismo tiempo y en un espacio común.

Éste segundo esquema, que implica cierto grado de comunicación entre dos términos que coexisten, se puede complementar con la palabra *encuentro*. De este modo, la mediación o la comunicación entre los dos términos se daría porque estos se han puesto en contacto. Surge así una posibilidad que antes no existía y, a partir de ese contacto, se da el proceso de transducción.

La etimología recordada por Maestro (2005) y por Helmreich (2015) mantiene una mayor concordancia con el segundo esquema, dado que se refiere al movimiento o al traslado que algo realiza de un lugar a otro.

2.2.2 Un panorama de la transducción

Las variaciones en los significados de la transducción dependen de las disciplinas o los campos en los que la palabra se utilice. Uno de los principales campos en los que se ha empleado este término es en la telefonía y en las telecomunicaciones, particularmente en los procesos que conciernen a la grabación y la transmisión de audio (Helmreich, 2015; Lara, 2016). Así, la segunda aparición más antigua que se consultó en esta investigación consiste en un libro de circuitos para la telefonía publicado por primera vez en 1924¹⁸, citado por Helmreich (2015).

Posteriormente, relató Seïça (2012), Jean Piaget introdujo este término en la psicología;

¹⁸ Helmreich (2015) citó otro texto, publicado en el año de 1923, aunque aquel se sitúa en el campo de la electrónica.

la fuente utilizada por Seiça (2012) data de 1945, aunque Helmreich (2015) ubicó otra aparición del término *transducción* en el trabajo de Piaget, fechada en el año 1927. En todo caso, la transducción de Piaget nombra una operación mental utilizada en el razonamiento de los niños, una operación que no es ni deductiva ni inductiva¹⁹ (Barthélémy, 2012) y en la cual Seiça (2012) destacó la transferencia “de las características de lo individual a lo colectivo” (p. 72).

En 1951 el concepto de transducción fue introducido en los campos de la genética²⁰ y la microbiología por Joshua Lederberg y Norton Zinder para referirse a un mecanismo de intercambio genético (Seiça, 2012; Griffiths et al., 2000). Siete años después, en 1958, Gilbert Simondon defendió su tesis doctoral (Simondon, 2015), cuya versión completa es conocida y publicada como *La individuación a la luz de las nociones de forma e información*²¹ (Simondon, 2015), y en la que trató el tema de la transducción en su teoría de la *individuación*. De este modo, la palabra *transducción* llegó al terreno de la filosofía, en donde durante los últimos años ha comenzado a resonar con mayor potencia debido, principalmente, a la traducción de los textos de Simondon y a las nuevas aplicaciones de sus propuestas.

Después de 11 años de la defensa de *ILNFI*, el término migró al arte de la mano del escultor estadounidense Robert Mallery, quien en 1969 publicó un artículo en el número de mayo de la revista *Artforum*, titulado “Computer Sculpture: Six Levels of Cybernetics²²”. Éste es el registro más antiguo, para este trabajo, en el que se utilizó una variante del término *transducción* dentro del arte, a saber formulada por Mallery (1969) en la frase *arte transductivo*, con la que se sugirió denominar un nuevo tipo de arte. No es extraño que este concepto haya sido introducido en el mundo del arte en esa fecha precisa, pues en años previos a la publicación del artículo de Mallery (1969) se observó un gran uso de sistemas y circuitos electrónicos e interactivos en distintas propuestas artísticas, pero lo que sí resulta desconcertante es que Mallery no haya

¹⁹ Esta misma noción es similar al *pensamiento transductivo* de Simondon; consideró, por ejemplo, que “el trayecto intelectual que manifiesta el descubrimiento progresivo de la continuidad entre las ondas hertzianas y el espectro visible no es inductivo ni deductivo: es *transductivo*” (Simondon, 2015, p. 123).

²⁰ La versión en línea del diccionario Merriam-Webster (s.f.c.) señala que el primer uso conocido de la palabra *transducción* en el sentido de “la transferencia de material genético de un microorganismo a otro por un agente viral (como un bacteriófago)” (párr. 2) está ubicado en el año de 1947, aunque no se especifica la fuente ni el autor de tal texto.

²¹ De ahora en adelante, *ILNFI*.

²² De ahora en adelante, “Computer Sculpture”.

profundizado en su propuesta sobre el arte transductivo²³ y que ésta sea una de las pocas referencias, en varias décadas, en que la transducción y el arte entraron, brevemente, en contacto.

En el artículo de Mallery (1969) tampoco se aprecia una lectura de *ILNFI* (Simondon, 2015), lo cual es de esperarse; a pesar de que el uso y desarrollo del concepto simondoniano de *transducción* se ha fortalecido en las últimas décadas con autores como Adrian Mackenzie, Muriel Combes, Arne De Boever, Jean-Hugues Barthélémy y Pascal Chabot, entre otros, así como con su incorporación en textos referentes a prácticas artísticas y musicales, como los de Courribet (2006), De Assis (2017), Fox (2015a; 2015b), Lapworth (2016) y Seiça (2012), las obras de Simondon difícilmente pudieron llegar a manos de Mallery a finales de la década de 1960 pues, como recordó Rodríguez (2007), “[Simondon] vivió en la más absoluta discreción durante la edad de oro del pensamiento francés del siglo XX” (p. 11). Su trabajo tardó en ser traducido.

Solamente tres años después de la propuesta de Mallery (1969) y de la llegada de la transducción al campo del arte, en 1972, se publicó el primer artículo sobre la *transducción de señal*, con lo que el término llegó a la bioquímica, gracias al científico alemán Ludger Rensing (Yumerefendi, 2009; Seiça, 2012).

Con estos movimientos, a lo largo de casi 100 años, el concepto de la *transducción* ha sido utilizado en una gran variedad de disciplinas y campos de estudio, como en la física, filosofía, genética, microbiología, neurobiología, bioenergética, bioquímica, biología celular, biología molecular, estudios del sonido, ciencias de la comunicación, multimodalidad, música, composición audiovisual, electrónica, semiótica, literatura electrónica y arte digital, escultura y bioarte. Walker (2017) incluso recuperó una definición elaborada por la Universidad del Norte en Barranquilla, Colombia, sobre la *transducción cultural*: “...puede entenderse como el proceso experimentado por cualquier producto de un mercado cultural, que ha trascendido su mercado original y ha llegado más allá del lugar en donde la idea o el producto original fue diseñado” (p. 600). Este uso es el que más difiere en comparación con el resto de las definiciones y usos consultados en este trabajo.

²³ A excepción de una breve aparición en 1975 (Mallery, 1975), en donde se destacó la capacidad de la computadora para “mediar el flujo de energía e información dentro de un sistema transductivo” (Mallery, 1975, párr. 8).

Para Helmreich (2015), la presencia de este término en áreas tan diversas como las listadas anteriormente, lo convierte en un concepto atractivo, pues supone “un lenguaje conceptual parcialmente compartido entre académicos en las humanidades y en los círculos de ingeniería y ciencias” (párr. 5). Por una parte, esto implica que existen aspectos compartidos por estos usos, que tienen como consecuencia una comprensión general del término en la disciplina en la que se use, que normalmente se relaciona con la conversión, la transferencia, la modulación y el movimiento, como se ha señalado anteriormente. Por otra parte, esto también resulta en una serie de connotaciones que acompañan a cada aplicación particular de la palabra *transducción*, y que la relacionan con distintos escenarios tecnológicos, científicos y filosóficos, lo cual refuerza la necesidad de contar con una interpretación para este concepto en el arte, aunque en ésta resuenen elementos asociados con la transducción en otras disciplinas.

2.2.3 Esencia de la transducción

Después de exponer algunas palabras relacionadas con las definiciones de la transducción y de nombrar algunas de las disciplinas y campos en los que se ha empleado el término, surgen tres interrogantes: ¿Cuáles aspectos en común hacen posible referirse a distintos fenómenos con esta misma palabra? ¿Existen elementos distintos, incluso contradictorios, entre sus aplicaciones? A partir de la comparación entre estos usos, entre sus similitudes y diferencias, ¿es posible identificar una esencia de la transducción?

Seiça (2012) señaló una constante en los usos de los términos *transducción* y *transductor* en distintas disciplinas; se trata de las nociones de transferencia y conversión, que concuerdan también con los dos esquemas, de comunicación y transformación, esbozados en este trabajo, aunque en el texto de Seiça (2012) no se separaron estas nociones, lo cual sí podría ser útil aquí. Hasta ahora, es posible afirmar que los esquemas de comunicación y transformación marcan una división principal en las concepciones de la transducción, sin embargo, es necesario describir con mayor profundidad algunos de estos usos para determinar si esta división, obtenida a partir de las palabras empleadas en algunas definiciones, en realidad existe.

2.3 Cinco ejemplos de transducción

Entre las distintas aplicaciones del concepto de transducción, se escogieron cinco ejemplos para ser desarrollados con mayor detalle; estas elecciones no pretenden insinuar un mayor o menor grado de importancia o validez con respecto a los otros usos de la palabra. Los primeros tres ejemplos, con los que el lector podría estar más familiarizado son: la transducción en la microbiología, que tiene como resultado la variación genética en bacterias; la *fototransducción visual*, que es el proceso mediante el cual la luz es percibida por los ojos para después ser codificada y enviada al cerebro; y la transducción en el *efecto piezoeléctrico*. Los dos ejemplos restantes consisten en la introducción del concepto de la transducción en el campo del arte por Robert Mallery, y en el concepto de la transducción en la filosofía de Gilbert Simondon.

2.3.1 La transducción en la microbiología

El primer ejemplo presentado coincide con la definición que ofrece la versión en línea de la Enciclopedia Británica (2019) para la palabra *transducción*; se trata de un proceso de recombinación genética en bacterias, en el cual un *bacteriófago*, que es un virus bacteriano, conocido también como *fago*, transfiere material genético de una célula a otra (Enciclopedia Británica, 2019; Griffiths et al., 2000).

Aquí no se lleva a cabo una conversión, sino una transferencia; en el *ciclo lítico*, el fago, atraviesa la membrana de la célula bacteriana e introduce su material genético. Después de esto, el cromosoma de la bacteria se digiere y se fragmenta, mientras que el material genético del fago se replica. Parte del material genético de la bacteria puede incorporarse en las estructuras de los nuevos fagos, a los que se les conoce como *fagos transductores* que, al salir de la *célula donante*, infectan a otra célula en un nuevo ciclo de infección. Entonces, el material genético que originalmente pertenecía a la primera célula se introduce en una segunda célula y puede recombinarse con el cromosoma de ésta (Enciclopedia Británica, 2019; Griffiths et al., 2000, Chaves y Ordóñez, s.f.).

Por otra parte, en el ciclo *lisogénico* el material genético introducido por el fago se combina con el material genético de la célula infectada y se multiplica cuando la bacteria se

replica. En algún momento, bajo ciertos estímulos, se puede detonar la activación del material genético del fago, conocido como *profago*, y da inicio el ciclo lítico (Chaves y Ordóñez, s.f.). Cabe destacar también que en el proceso de transducción generalizada, es posible la transferencia de cualquier gen de la célula huésped, mientras que en la transducción especializada solamente algunos genes participan en la transducción (Enciclopedia Británica, 2019).

Este proceso, que tiene como resultado la variación genética en bacterias, ilustra la etimología de la palabra *transducción*; el fago lleva el material genético de un lugar a otro. Se realiza una transferencia y, especialmente en el ciclo lítico, se da un movimiento, es decir, un traslado de material genético. Éste es un ejemplo del esquema de comunicación o transferencia de la transducción, más que de transformación o de conversión, a pesar de que al final se efectúe un cambio en la bacteria que recibe el material genético.

2.3.2 La fototransducción visual

El segundo ejemplo consiste en la absorción de radiación electromagnética en la retina y su subsecuente traducción en señales eléctricas enviadas al cerebro. El proceso de la *fototransducción* hace posible la visión y comienza cuando los fotones con una longitud de onda de entre 400 nm y 780 nm llegan a la retina y generan una serie de respuestas en las células *fotoreceptoras*. Uno de estos cambios es la *isomerización*²⁴ del *cromóforo 11-cis* a un estado de *11-trans*, en el cual no se puede mantener en enlace con la *opsina* (Mannu, 2014; Palczewski, 2012). La disociación de la opsina es el principio de una cadena de eventos²⁵ en la que los fotorreceptores son *hiperpolarizados*, lo que permite que se una a las moléculas llamadas *transducina* y las active. La activación de la transducina ocasiona la *hidrólisis* y la desactivación del *guanósín monofosfato cíclico* y, en consecuencia, más canales de sodio y calcio permanecen abiertos y se transportan iones a través de ellos. Con esta hiperpolarización la información del exterior en forma de fotones con distintas frecuencias se codifica en potenciales eléctricos, que

²⁴ Es decir, la reestructuración o reconfiguración de un compuesto. Esta nueva configuración, que mantiene la misma composición y fórmula química se conoce como *isómero* (Enciclopedia Británica, 2018a).

²⁵ Que el lector puede conocer de manera detallada en el artículo de Mannu (2014) a partir del párrafo 8, en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4727664/>

es la información que puede ser comprendida por el cerebro (Mannu, 2014).

Es necesario resaltar el uso de la palabra *codificada*²⁶ por parte de Mannu (2014), pues describe la manera en la que los fotones detonan una cadena de eventos en determinadas estructuras sensibles, dependiendo de sus longitudes de onda (Mannu, 2014; Prado, Camas, y Sánchez, 2006). Vale la pena recordar que una longitud de onda de 565 nm tiene un efecto directo en la *iodopsina* correspondiente al color rojo; si la longitud es de 535 nm, correspondiente al color verde, es absorbida por una iodopsina con otro pigmento; sucede lo mismo con la longitud de 440 nm, correspondiente al color azul (Mannu, 2014).

2.3.3 La transducción en el efecto piezoeléctrico

Ahora, antes de comenzar con la descripción del tercer ejemplo, es necesario presentar dos elementos: el primero es la definición de la palabra *energía*; la Enciclopedia Británica (2020a) la definió como “la capacidad para realizar un trabajo. Puede existir en forma potencial, cinética, térmica, eléctrica, química, nuclear, o en otras muchas formas” (párr. 1); el segundo elemento es la primera ley de la termodinámica, o el principio de conservación de energía, de acuerdo con el cual, “la energía no puede crearse ni destruirse, sino sólo cambiar de una forma a otra” (Enciclopedia Británica, 2020a, párr. 3). Para ilustrar este principio, en la Enciclopedia Británica (2018b) se usó el siguiente ejemplo: cuando un cuerpo como una pelota es lanzada hacia arriba pierde energía cinética a medida que desacelera. Se considera, entonces, que esta energía cinética es convertida en energía potencial, la cual es convertida de nuevo en energía cinética cuando la pelota regresa hacia abajo.

Esta breve introducción fue necesaria para abordar el fenómeno del *efecto piezoeléctrico*, el cual permite el desarrollo de dispositivos conocidos como *transductores piezoeléctricos*. La palabra que nombra este efecto, *piezoelectricidad*, afirmaron Arnau y Soares (2008), fue propuesta en 1881, y significa “electricidad por presión” (Arnau y Soares, 2008, p. 2).

El efecto piezoeléctrico ocurre en algunos cristales y consiste en la polarización de estos materiales al ser comprimidos. Esto puede resultar en la transformación de energía mecánica en

²⁶ En el texto original se lee: “that information is coded in electrical potentials describing the contact of photons of different frequencies with retinal pigment molecules” (Mannu, 2014, párr. 8).

energía eléctrica. El efecto también se puede realizar de modo inverso; un *material piezoeléctrico* puede verse deformado si se le aplica cierto voltaje. Así, también es posible transformar la energía eléctrica en energía mecánica (Arnau y Soares, 2008).

Antes de ser sometido a la presión, a nivel molecular el material posee una carga eléctrica neutral debido al equilibrio entre sus cargas positivas y negativas, pero al ejercer una fuerza externa el equilibrio se rompe y se crea un *dipolo eléctrico*; ahora un extremo es negativo y otro positivo. Con esta polarización también surge un campo eléctrico, que hace fluir una corriente eléctrica si se le conectan electrodos y se aplica energía mecánica sobre el cristal piezoeléctrico (Arnau y Soares, 2008).

Este fenómeno permite desarrollar, entre otras cosas, micrófonos y sensores en los cuales, a diferencia de los ejemplos anteriores y a partir del principio de conservación de energía mencionado arriba, verdaderamente se puede hablar de una conversión; de energía mecánica a energía eléctrica, lo cual aplica también para casos inversos, como el de un altavoz, en donde la energía eléctrica es convertida en energía mecánica.

2.3.4 El término arte transductivo de Robert Mallery

Hasta ahora, en los 3 ejemplos presentados se ha observado que incluso las definiciones técnicas de la transducción oscilan entre los esquemas de comunicación y transformación, con la transducción genética y la fototransducción visual como representantes del primer esquema, y la transducción en la piezoelectricidad, o en la física, del segundo. A pesar de que la palabra *transducción* había llegado ya al terreno de las humanidades, cuando Robert Mallery (1969) la utilizó lo hizo en un sentido técnico, sin referirse al trabajo de Jean Piaget ni de Gilbert Simondon, como sucede en textos actuales, como los de Seiça (2012), Fox (2015a; 2015b) o Lapworth (2016), quienes se refirieron principalmente a Simondon.

Por otro lado, en 1969 se veían los resultados de los primeros cuatro años del arte computacional²⁷ (Dietrich, 1985) y sus primeras exposiciones, así como otras muestras como *The Machine as Seen at the End of the Mechanical Age*, en 1968, o *Cybernetic Serendipity*. Del

²⁷ Del cual Mallery también fue pionero (Smith, 1997).

mismo modo, fue en 1968 cuando Robert Mallery produjo su escultura (Figura 3) *Quad 1* (1968), con el uso de su programa de computadora, *TRAN2*, del cual la primera versión se escribió también en 1968 “para el sistema IBM 1130 en el Amherst College” (Mallery, 1975, párr. 3).



Figura 3. Robert Mallery con su escultura *Quad 1* (1968), realizada con el programa de computadora *TRAN2*. *Still frame* tomado con la autorización de Copper Frances Giloth, de *Robert Mallery: Pioneer in Computer Art* [Documental en Vimeo], por West, J. P. [Director y productor] y Giloth, C. F. [Productora], 1992, recuperado de <https://vimeo.com/133915501>

En “Computer Sculpture”, Mallery (1969) abordó principalmente cuestiones relacionadas con el uso de medios electrónicos en la producción artística, específicamente en la escultura. Por esta razón, su concepción de la transducción es diferente del término simondoniano y se acerca más al uso del ejemplo anterior, en el efecto piezoeléctrico. Mallery (1969) definió un transductor como “un dispositivo que recibe energía de un sistema y la transmite, a menudo en una forma distinta, a otro” (p. 30)²⁸. Por lo tanto, es posible afirmar que la palabra *transducción*

²⁸ Ésta es una definición muy similar a la que presentó López (2006), extraída del *Nouveau Dictionnaire de la langue française*.

llegó al mundo del arte impulsada por el uso de nuevos materiales y tecnologías. Actualmente también se observa esa misma característica en los textos acerca de la transducción en el arte; Fox (2015a; 2015b) por ejemplo, aunque no mencionó a Mallery y consideró la transducción desde una perspectiva simondoniana, escribió sobre obras que utilizan dispositivos computacionales, como *Biopoiesis* (2011-2013), de Carlos Castellanos y Steven J. Barnes, *Akousmaflöre* (2007), de Grégory Lasserre y Anaïs met den Ancxt²⁹, *Biolesce*, del mismo autor, Tyler Fox, y *Pulsu(m) Plantae* (2012), de Leslie Garía, pieza a la cual la misma artista se refirió como una “prótesis [que] transduce las lecturas [de biofeedback] obtenidas en un proceso de síntesis sonora que les confiere a las plantas una voz abstracta” (García, 2012, párr. 1). De manera similar, cuando Carlson y Schmidt (2012) escribieron sobre *Almacén de corazonadas* (2006), de Rafael Lozano-Hemmer, citaron una parte de la sección en la que Edward Shanken (2009) se refirió a la frase propuesta por Mallery (1969), *arte transductivo*, aunque por alguna razón Carlson y Schmidt (2012) no incluyeron las palabras *transducción* ni *arte transductivo* en ninguna parte de su trabajo.

También es importante señalar que, a pesar de que la transducción para Mallery (1969) consiste en la conversión de un tipo de energía en otro, la manera en la que ejemplificó un caso de transducción en una obra de arte cinético se relaciona con la interacción y la comunicación entre dos términos, a saber luz y sonido: “por ejemplo, si una serie de sonidos es utilizada para detonar una serie de emisiones de luz éste sería un ejemplo de transducción aplicada al arte cinético” (p. 30).

Para Mallery (1969), un aspecto importante dentro de esta comunicación es la transferencia de una estructura de un medio a otro, pues consideró que en uno de los medios se emite una señal con un determinado patrón, mismo que presenta un efecto en el otro medio. Esta postura es similar a la de López (2013), quien consideró que la energía de entrada, como el sonido en el ejemplo de Mallery, “se convierte en un controlador (o regulador) de las energías de salida” (p. 2). En el ejemplo de Mallery (1969), los sonidos deberían tener una estructura identificable o coherente, aunque no exactamente musical, para poder localizar el patrón correspondiente en las emisiones de luz. Para realizar una *transducción estructurada*, como la

²⁹ Quienes también son conocidos bajo el nombre de *Scenocosme*.

llamó Mallary (1969), a partir de señales no estructuradas como el ruido ambiental cotidiano, el escultor sugirió el uso de la computadora, que mediaría en la comunicación entre ambos medios con el propósito de “lograr una transferencia de información significativa, estructurada (...) asumiendo, por supuesto, que el escultor cinético esté interesado en la coherencia sintáctica” (Mallary, 1969, p. 30-31). En 1975, Mallary apuntó de nuevo a esta capacidad de la computadora para “mediar el flujo de energía e información dentro de un sistema transductivo” (Mallary, 1975, párr. 9), pero después no volvió a tratar el tema.

2.3.5 Transducción e individuación en Gilbert Simondon

En 1969 el concepto de la transducción llegó desde la tecnología al arte, en particular al arte electrónico, aunque años antes el término fue introducido en otra área de las humanidades, la filosofía, de la mano de Gilbert Simondon (Figura 4), un autor que abordó cuestiones técnicas y tecnológicas a lo largo de su trabajo.

Si en el arte la introducción de la palabra *transducción* sucedió dentro de un contexto técnico, después de una serie de eventos que involucraron un creciente uso de la tecnología para la creación de obras de arte, en la filosofía el concepto simondoniano de la transducción también encontró el origen de su planteamiento en la técnica y en la tecnología, pues Simondon habló “sobre los temas clásicos de la física, como la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica y el electromagnetismo, con un detalle poco frecuente para pensadores del siglo XX atrapados en una de <<las dos culturas>>” (Rodríguez, 2007, p. 17). En *ILNFI*, por ejemplo, Simondon (2015) apoyó algunas de sus reflexiones en cuestiones como la formación de cristales y sus características, fenómenos fotoelectrónicos y péndulos; incluso escribió también sobre la piezoelectricidad. Esto se debe a que Simondon se opuso a las perspectivas que colocaban a las culturas *humanística* y *científica* en terrenos distintos (Rodríguez, 2007).

Ahora, la transducción en Simondon no es utilizada para designar una sola cosa; existen, pues, dos formas principales de entender la transducción en su obra (Barthélémy, 2012; Simondon, 2015); la primera forma consiste en el *pensamiento* o *método transductivo*, que se relaciona con la pretensión de Simondon de rehabilitar la analogía en la filosofía pues, consideró,

este término había adquirido un sentido negativo y peyorativo. También es necesario aclarar que para Simondon no cualquier analogía es útil; la analogía no “[infiere] la identidad a partir de las propiedades de dos seres que tienen en común un carácter cualquiera (...). La verdadera analogía (...) es una identidad de relaciones y no una relación de identidad” (Simondon, 2015, p. 125). Finalmente, el método transductivo, consiste en utilizar el verdadero razonamiento analógico (Simondon, 2015; Barthélémy, 2012); la invención, de acuerdo con Simondon (2015) tampoco sigue un camino deductivo ni inductivo, sino transductivo.



Figura 4. Gilbert Simondon. Imagen tomada de Seminario Simondon. (18 de junio de 2017). En Facebook [página de eventos académicos]. Último acceso: febrero 16, 2020, en <https://pt-br.facebook.com/seminariosimondon/photos/simondon-puro-t%C3%A9cnica-afecto-individuaci%C3%B3n-agosto-septiembre-2017s%C3%A1bados-de-18-a-/1179253018845180/>

La segunda forma de ver la transducción en Simondon despliega una serie de fenómenos muy similares entre sí, todos ellos relacionados con la individuación (Barthélémy, 2012; Simondon 2015). En *ILNFI*, Simondon (2015) definió la individuación como “una operación de estructuración amplificante que hace pasar al nivel macroscópico las propiedades activas de la

discontinuidad primitivamente microfísica” (p. 110). Es necesario tener en cuenta que en la filosofía de Simondon el individuo está inmerso, a medida que agota sus potenciales virtuales, en un constante proceso de devenir, por lo que el individuo estático y estable en realidad representa un momento de interrupción de dicho proceso (Rodríguez, 2007; Fox, 2015b; Simondon, 2015), no representa “la única realidad, el único modelo del ser, sino solamente una fase” (Simondon, 2015, p. 403). Así, Simondon (2015) se refirió a la vida misma como “una individuación perpetuada” (p. 14). Dicho de una manera contundente: “No hay ser sino devenir, o devenir del ser” (Rodríguez, 2007, p. 17).

Esta noción de individuación fue aplicada por Simondon en distintos casos; un individuo físico no viviente, como un cristal, se individúa; un ser vivo, como una planta, un animal o una persona también está en un proceso constante de individuación; un grupo de personas y los procesos psíquicos también se ven envueltos en un proceso de individuación. Existen, entonces, las individuaciones física, vital, psíquico-colectiva y técnica, y la transducción forma parte de cada uno de estos procesos. Simondon la definió así:

Entendemos por transducción una operación física, biológica, mental, social, por la cual una actividad se propaga progresivamente en el interior de un dominio, fundando esta propagación sobre una estructuración del dominio operada aquí y allá: cada región de estructura constituida sirve de principio de constitución a la región siguiente, de modo que una modificación se extiende así progresivamente al mismo tiempo que dicha operación estructurante (...) La operación transductiva es una individuación en progreso. (Simondon, 2015, p. 21).

Al final de esta cita se expone con mayor claridad la razón por la cual esta definición de la transducción y aquella de la individuación, presentada anteriormente, resulten tan semejantes y que en ambas se señalen procesos de estructuración y propagación que ocurren de manera simultánea. Es necesario comprender que la transducción no es solamente “el mecanismo que dirige el proceso de individuación” (Courribet, 2006, p.3), sino también que “cada transducción es un proceso de individuación” (Mackenzie, 2002, p. 18).

Los procesos de individuación y transducción, en tanto devenir, representan el cambio y la transformación constante, por lo que se podrían relacionar con el esquema de *transformación*,

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

aunque otro aspecto vital para la filosofía de Simondon es la existencia de relaciones y de comunicación; de su presencia o de su ausencia, así como de su compatibilidad o incompatibilidad; Fox (2015a) recordó que la individuación “es un proceso de resolución de tensiones e incompatibilidades” (p. 97). De este modo, la transducción de Simondon se adapta también al esquema de *comunicación*. Es posible ilustrar estas características a través de la formación de los cristales, o *cristalización*, que representa el ejemplo paradigmático de la individuación (Simondon, 2015; Barthélémy, 2012; Fox, 2015a; Lapworth, 2016).

Los cristales se caracterizan por la existencia de un patrón repetitivo en la disposición ordenada de sus componentes más pequeños (Blumenthal, 2019; Simondon, 2015). A pesar de que los cristales pueden formarse a partir de un gas, normalmente se originan en un fluido (Blumenthal, 2019) con energía potencial, en el cual la irrupción de una singularidad, en este caso el *germen cristalino*, introduce un estado de tensión y disparidad que rompe con el equilibrio metaestable; se crea, así, un *cambio de fase* que da lugar al primero de los dos momentos en la cristalización, conocido como *nucleación*, en el cual el cristal comienza a formarse alrededor de un pequeño núcleo (Blumenthal, 2019; Simondon, 2015; Fox, 2015a; Lapworth, 2016).

El segundo momento consiste en el *crecimiento* del cristal; en esta etapa el cristal se expande a medida que distintos elementos se añaden a la *malla cristalina* (Blumenthal, 2019). Este crecimiento respeta la misma estructura periódica que caracteriza al cristal, y el germen cristalino que se encarga de estructurar se actualiza con cada nueva capa (Simondon, 2015; Fox, 2015a). La energía que aporta el germen estructural en el proceso de individuación es, de acuerdo con Simondon (2015), muy pequeña, lo que lo llevó a sugerir una serie de relevos sucesivos de esta energía; cada nueva capa se convierte también en germen. En otras palabras, el crecimiento del cristal comprende la propagación de la transformación iniciada por el germen cristalino. Simondon (2015) continuó: “Esta propagación progresiva constituye el modo más primitivo y más fundamental de la amplificación, la transducción amplificante, que toma su energía del medio en el que tiene lugar la propagación” (p. 82).

El cristal es un desdoblamiento que se da a partir de una singularidad, que fue el germen cristalino que irrumpió en el medio *super-saturado*. Simondon (2015) recalcó que la

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

individuación no consiste en una síntesis, sino en una resolución temporal de las tensiones que surgieron a partir de la introducción de la singularidad. En la transducción de Simondon, por lo tanto, la transformación y la comunicación ocupan un mismo lugar y un mismo momento. Existe también un movimiento; la propagación de la actividad o de la transformación.

Ahora, la comunicación no se da únicamente en el ser que se individúa, sino que él mismo es, a su vez, una mediación y un *nudo interelemental*, pues relaciona y comunica “dos capas de realidad primitivamente sin comunicación” (Simondon, 2015, p. 24). Otro ejemplo con el que Simondon (2015) ilustra esta situación es con una planta, o un vegetal, a través del cual se relacionan los órdenes cósmico e inframolecular “clasificando y repartiendo las especies químicas contenidas en el suelo y en la atmósfera mediante la energía luminosa recogida en la fotosíntesis” (p. 24). Así, Simondon (2015) afirmó que “el individuo juega un rol de mediador en relación con los diferentes órdenes de realidad” (p. 64).

2.4 Relación entre usos y definiciones

La transducción en Simondon establece un puente entre los esquemas de transformación y comunicación, en donde el individuo en proceso de individuación está en un constante cambio, es decir, se transforma, mientras que al mismo tiempo representa una relación entre realidades dispares que se comunican por medio de él. Después de la exposición de estos ejemplos también es posible percibir otras similitudes y diferencias entre ellos; algunas de estas similitudes se acentúan cuando otros usos de la palabra *transducción* entran en juego, mientras que otros elementos en común muestran una mayor presencia. Surgen también otras cuestiones técnicas, como algunas herramientas y procesos que son excluidos o integrados por ciertos autores.

2.4.1 Similitudes

Algunas de las nociones que permanecen constantes en la mayoría de los usos revisados del concepto de la transducción, son el *movimiento*, tanto en el esquema de transformación como en el de comunicación, el *cambio* y la *diferencia*, mientras que la *estructura* y la *mediación* aparecen en una cantidad menor de casos.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

El movimiento es una de las características más evidentes de la transducción, señalada incluso en la etimología de la palabra. Cuando la transducción se considera bajo el esquema de comunicación, el movimiento se da en un elemento, como el material genético que es desplazado de una bacteria a otra, o como la información del entorno que, después de ser percibida y traducida en los ojos, es enviada al cerebro; dicho de otro modo, se desplaza a través del cuerpo. El movimiento también se relaciona con el caso de la energía, en donde es posible considerar una transformación; en la entrada de la Enciclopedia Británica (2020a) sobre la energía se señaló que “todas las formas de energía están asociadas al movimiento” (párr. 2). En el caso de la transducción para Simondon, también existe un movimiento, que es el de una propagación estructural, que pasa de un elemento a otro contiguo (Chabot y Legarde, 2013).

La cuestión del movimiento supuso un problema para Helmreich (2015) al final de su capítulo sobre la transducción en relación con el sonido, aunque este problema no debería ser un obstáculo para presentar el movimiento como uno de los elementos primordiales de la transducción en el arte. Helmreich (2015) sugirió tener cuidado al pensar en la transducción y en el sonido, concretamente en la transducción del sonido o en los sonidos *transducidos*, puesto que observó el fuerte vínculo que existe entre el movimiento y la transducción. Sería incorrecto, por lo tanto, considerar que un sonido puede ser transducido, porque supondría que el sonido viaja, como lo pone de manifiesto la etimología de la palabra *transducción*, de un lugar a otro. Lo que sucede en realidad es que los sonidos, aun cuando poseen persistencia y duración, no pueden viajar. De modo contrario un archivo de audio, como lo indicó Seiça (2012) cuando se refirió a la transducción en la literatura electrónica y el arte digital, puede ser almacenado, transferido y convertido.

Este movimiento generalmente viene acompañado de un cambio; para Helmreich (2015), al igual que para López (2010), la transducción no sólo representa el movimiento del sonido de un medio a otro, sino que también se refiere a los cambios y transformaciones que éste experimenta durante los desplazamientos en cuestión; en el cristal piezoeléctrico un cambio en la energía mecánica a la cual se expone equivale a un cambio en la carga eléctrica del material; el resultado de la transducción en bacterias por causa de un bacteriófago es la variabilidad genética, dado que el material genético de la bacteria receptora es modificado después de la acción del

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

fago transductor; el proceso que ocurre en la fototransducción visual supone un cambio en el soporte de la información percibida con la finalidad de ser interpretada por el cerebro; para Mallary (1969), bajo una perspectiva similar a la de López (2006), en la recepción de energía comprendida en un proceso de transducción también se encuentra implícito un momento en el que ésta cambia para ser, posteriormente, transmitida; para Adell y Casacuberta (s.f.), la transducción en la transformación de información en sonido tenía el propósito de “percibirla de otro modo” (párr. 3); Prates (2012) también recordó que para Petrilli “la transducción consiste en una serie de transformaciones en la fuente y en el destino” (Petrilli en Prates, 2012, p. 245).

En concordancia con la noción de cambio, para Kress (2003), en los estudios de la *multimodalidad*³⁰, la transducción representa un concepto muy similar al de la *transformación*; explicó que la transformación se refiere a los cambios y a la reestructuración dentro de un modo³¹, mientras que la transducción “conciene al traslado de ‘material semiótico’ (...) a través de modos” (Kress, 2003, p. 36).

La necesidad de que ocurra un cambio en aquello que se transmite para poder atravesar de un lugar a otro también implica que los términos, es decir el dominio de entrada, o la fuente, y el dominio de salida, o el destino, son distintos. La cuestión de la diferencia entre los términos alrededor de los cuales se instituye la transducción se insinúa o se menciona en la mayoría de las fuentes, mientras que en algunas otras se obvia. Kress (2003), en contraste, le otorgó un gran peso a esta diferencia y con base en ella formuló su concepto de transducción a partir del de transformación. Dicho de otro modo, la diferencia entre los modos sobre los que escribió es tan significativa y representativa que tuvo que emplear otra palabra para nombrar esta transformación.

Los textos de Simondon y aquellos que parten de él también acentúan el peso de la diferencia y, en consecuencia, le conceden a la transducción una función de mediación entre realidades dispares. Así, Mackenzie declaró que “para que ocurra el proceso de transducción,

³⁰ Traducida del inglés *multimodality*, que se refiere a una manera interdisciplinaria de comprender la comunicación (Jewitt, s.f.). El lector interesado en una definición más extensa podrá continuar en: <https://multimodalityglossary.wordpress.com/multimodality/>

³¹ Que se refiere, dentro de la multimodalidad, a: “un conjunto de recursos social y culturalmente configurados para producir sentido (...). Ejemplos de modos incluyen la escritura y la imagen en la página, extendiéndose a la imagen en movimiento y el sonido en la pantalla...” (Mavers y Gibson, s.f.).

debe existir alguna disparidad, discontinuidad o discordancia (...). La transducción es un proceso por medio del cual una disparidad o diferencia es topológica y temporalmente reestructurada a través de una interfaz” (p. 25). Esto resume en gran medida lo que aparece en los otros materiales basados en la filosofía de Simondon con respecto a la diferencia y a la mediación en el proceso de transducción.

La palabra *estructura* se refiere a la disposición, distribución y orden de los elementos de un conjunto, así como a las relaciones que guardan entre sí (Diccionario de la lengua española, 2015d). Esta noción recibió una gran atención por parte de Mallery (1969) en “Computer Sculpture”, en donde los casos que lo motivaron a tratar el tema de la transducción provenían de ejemplos reales de obras artísticas en las que se representaba información de una manera distinta a su formato original. Para Mallery (1969) era importante que la señal de entrada en un proceso de transducción tuviera una estructura, de modo que fuera posible observar el patrón correspondiente en la señal de salida.

Este término también aparece en los textos que se refieren a Simondon, pues se aloja en el corazón mismo de la transducción. Consiste en una de sus tareas; conectar y estructurar dos términos (Courribet, 2006; Simondon, 2015). La estructura también es considerada principalmente en los casos que involucran la realización de piezas que se valen de las herramientas electrónicas y computacionales para conectar dos términos, como sonidos e imágenes (Courribet, 2006), sonidos y gestos (López, 2006; 2010), o sonido y movimiento (Fox, 2015a), por ejemplo.

La estructura, para estos autores, es una noción de gran importancia para la realización de un proceso de transducción, pues es gracias a ella que se puede establecer una relación entre dos realidades distintas. Permite, además, representar un fenómeno que ocurre dentro de un medio, en otro medio distinto. Sobre este último aspecto, Helmreich (2015) describió a la transducción como “una receta de representación con sus propios fundamentos retóricos, históricos y técnicos” (párr. 18).

Desde una postura simondoniana, para Fox (2015a; 2015b) y Lapworth (2016), en un proceso de transducción, una modificación producida en la estructura de un dominio y la misma operación estructurante se propagan simultáneamente; “por ejemplo, una revolución social que

se extiende a través de un cuerpo social, o la expansión de la estructura de un cristal en una solución” (Chabot y Legarde, 2013). Por su parte, De Assis (2017) identificó dos caras de la *información*, que en el trabajo de Simondon (2015) se refiere a “la tensión entre [las] dos realidades dispares (...) la información es por tanto un inicio de individuación, una exigencia de individuación” (p. 19). La información entonces, para De Assis (2017), es *noética*, para propagar el germen estructural, y *topológica*, para hacer dicho germen perceptible.

De modo que los elementos que persisten, de manera explícita o sugerida, en los distintos usos de la transducción son el movimiento, el cambio, la diferencia, la estructura y la mediación. Hasta ahora, con estos elementos se podría elaborar una interpretación preliminar y común de la transducción, que consistiría en un proceso que ocurre y media entre dos elementos distintos. Durante dicho proceso las modificaciones de una estructura se propagan, se desplazan de un lugar a otro y producen un cambio.

2.4.2 Contrastes

Las similitudes entre los usos del concepto de la transducción no son suficientes para completar su análisis, sino que también es necesario observar los criterios en los que estos usos y definiciones difieren. Como ya se ha explicado, esta palabra se ha utilizado en campos distintos, con lo que las variaciones entre sus significados podrían extenderse demasiado. Por lo tanto, aquí se abordan dos diferencias principales enfocadas en la aplicación de la palabra en un contexto artístico; estas diferencias conciernen al uso de ciertas herramientas en la realización de procesos de transducción y a dos maneras distintas de concebir estos procesos.

Para tratar la primera diferencia es posible referirse a *Pulsu(m) Plantae* (2012), una pieza de Leslie García que ha sido mencionada en los trabajos de Lara (2016) y Fox (2015b). Por otra parte, la segunda diferencia surge de dos formas de representar un proceso de transducción; una de ellas fue presentada por López (2010), aunque también se puede ver reflejada en la manera en la que Mallary (1969) escribió sobre el arte transductivo. Otro modelo fue expuesto por Courribet (2006) y se puede asociar con la postura que Simondon (2015) trazó con respecto a la transducción. Otro ejemplo del segundo modelo también se aprecia en Fox (2015a; 2015b).

2.4.3 Pulsu(m) Plantae y el problema de la computadora

Pulsu(m) Plantae (2012) es una obra de Leslie García en la que se propone una vía de comunicación e interacción sonora entre plantas y humanos mediada por la tecnología. García, al igual que el colectivo INTERSPECIFICS, del cual forma parte, cree en el libre acceso a la información y al conocimiento, por lo que comparte los códigos, *patches* y esquemas de los proyectos que desarrolla. Gracias a esta forma de trabajar es posible conocer a detalle las herramientas y los procesos que emplea; en *Pulsu(m) Plantae*, por ejemplo, se utilizaron programas como *Pure Data* y *Processing*, además del tablero *Arduino*. El uso de estas herramientas digitales podría crear un problema cuando se introduce la palabra *transducción*.

García (2012) describió su pieza de la siguiente forma: “El proyecto propone el diseño de una prótesis sonora basada en el principio de biofeedback (...). La prótesis transduce las lecturas obtenidas en un proceso de síntesis sonora confiriéndole una voz abstracta a las plantas” (párr. 1). Éste constituye un caso en el que la misma artista utilizó la palabra *transducción* en su propio trabajo. Otros casos son los de Tyler Fox (Fox, 2015b), Carlos López Charles (López, 2006; 2010), Eufrasio Prates (Prates, 2012) e Iñigo Bilbao (en Barrios, 2015).

El problema con el uso del término *transducción* en proyectos como *Pulsu(m) Plantae*, en donde se utilizan tecnologías computacionales, consiste en que, desde una perspectiva técnica, el uso de la computadora como mediadora podría excluir el uso de este término al describir estas piezas. Esta situación se ilustró en el texto de Lara (2016), quien también escribió sobre la pieza de García y argumentó lo siguiente:

El término ‘transducción’ aplica en realidad sólo a la conversión técnica de la energía electromagnética en energía mecánica o viceversa. El paso de una señal analógica, provista por la planta, a una señal digital basada en ceros y unos, implica un proceso de traducción informático del flujo de variaciones infinitesimales provenientes del mundo físico, a una nueva escala de valores discretos que deben ser funcionales para el mundo digital y se encuentran en un rango limitado (...). No existe, así, una homologación lineal en ese intercambio de energías entre el mundo físico y las tecnologías de información, ni una

‘transducción’ directa, como la que presume no sólo *Pulsu(m) plantae* sino toda la línea de proyectos electrónicos basados en la computación física, de la cual parten plataformas como Arduino. La transducción es ajena a la codificación digital. (Lara, 2016, p. 75).

La perspectiva técnica de este concepto le permitió a Lara (2016) observar el papel que las tecnologías de transducción desarrollaron en la historia de la grabación y transmisión de audio y en las telecomunicaciones. Es importante recordar que Lara (2016) no excluyó el uso de la transducción del campo artístico³², pero sí de los proyectos que, como se especificó en la cita, utilizan la codificación digital. En contraste, para Adell y Casacuberta (s.f.), Courribet (2006), Fox (2015a; 2015b), López (2006; 2010; 2013), Mallary (1969; 1975) y Seiça (2012), el uso de la computadora no es incompatible con la transducción; más aún, en todos estos casos se habló sobre transducción al mismo tiempo que se incentivó el uso de la computadora para su desarrollo.

Tampoco es posible declarar que, desde su contexto y su interpretación de la transducción, la aseveración de Lara (2016) sea errónea; evidentemente, es correcto separar la transducción y la codificación digital si se parte de un planteamiento técnico como el de Lara (2016), no obstante, si se toman en cuenta otros elementos, como las descripciones y definiciones que los artistas y autores elaboran alrededor de sus propias obras, o como la propuesta filosófica de Simondon³³, es posible ofrecer otro punto de vista sobre la validez de las herramientas digitales en la realización de un proceso de transducción.

Para Adell y Casacuberta (s.f.), de una manera similar a la que apuntó Lara (2016), la transducción tiene un origen técnico implicado en la grabación y reproducción de sonidos a través de alteraciones en campos electromagnéticos, como lo señaló Lara (2016), sin embargo, ellos propusieron un uso más libre de este término, con un “sentido más artístico e infográfico” (párr. 3). Incentivaron el uso de la computadora, específicamente del entorno de programación, *SuperCollider*, por la facilidad que ofrece para producir y modular sonidos a

³² De hecho, en su texto es posible encontrar una serie de ejemplos de obras en las que se utilizan procesos de transducción. En la mayoría no se presentó ningún problema al referirse a ellos con el término *transducción*, pues muchos de ellos consisten, al menos en parte, en la conversión entre energías electromagnética y mecánica.

³³ Específicamente en el tema de la transducción, puesto que en el trabajo de Lara (2016) sí aparecen referencias a Simondon, pero éstas se refieren a las máquinas y al automatismo.

partir de datos, en una postura similar a la de Mallary (1969; 1975), en donde la computadora se propuso como una interfaz mediadora que se encarga de crear, mantener y modificar las estructuras entre dos términos.

En el caso de López (2006) la computadora cumple una función fundamental dentro de una propuesta de composición musical en la que se entrelazan el sonido, el gesto y la imagen. Entre las ventajas mencionadas por López (2006) del uso de la computadora en esta relación se encuentra su capacidad para trabajar a un nivel *microtemporal*, en donde es posible articular y modificar la sintaxis de los distintos elementos involucrados en la composición. Se privilegia, entonces, el uso de la computadora debido a su capacidad para manejar una gran cantidad de información e instrucciones en lapsos de tiempo muy cortos. Mallary (1969; 1975) también apuntó a estas posibilidades que la computadora les ofrece a los artistas.

Un aspecto importante en la diferencia que existe entre el uso que Lara (2016) y López (2006; 2010; 2013) hicieron de la palabra *transducción* recae en que para Lara (2016) lo que se pone en movimiento y cambia durante la transducción es la energía, mientras que para López (2006) son los significados, puesto que es consciente de que lo que ocurre en piezas audiovisuales mediadas por tecnologías computacionales no es un proceso de transducción en el sentido técnico del término, porque la relación que se construye entre los dos dominios ocurre en la percepción: “Por lo tanto, los objetos que podemos transducir entre el dominio sonoro y el visual son significados creados por nuestros cerebros” (p. 2).

Adicionalmente, también existen definiciones en textos técnicos en los que la transducción coexiste con la codificación digital, como en el artículo de Thomas y Haider (2016), quienes proporcionaron la siguiente definición de un transductor y de un transductor digital:

Un transductor mide cantidades físicas y transmite la información como señales codificadas digitalmente en vez de corrientes continuamente variables o voltages. Todo transductor que presente la información como muestras discretas y que no introduzca ningún ruido de cuantificación cuando la lectura se represente en forma digital puede ser clasificado como un transductor digital. (Thomas y Haider, 2016, p. 1350).

Posteriormente indicaron que “la mayoría de los transductores utilizados en sistemas

digitales son en principio analógicos en naturaleza e incorporan alguna forma de conversión para proporcionar una salida digital” (Thomas y Haider, 2016, p. 1350). Se podría decir que existe, en estos dispositivos, un momento de auténtica transducción técnica previo a la asignación de una representación numérica para ser comprendida por la computadora. Sterne (2003) también se refirió a este doble paso y afirmó que “todas las tecnologías digitales de reproducción de sonido usan transductores; simplemente añaden otro nivel de transformación, convirtiendo la corriente eléctrica en una serie de ceros y unos (y al revés)” (p. 22). Eso es lo que ocurre, por ejemplo, en los tres sistemas interactivos que conforman la propuesta de producción de este proyecto; en todos ellos se utilizó un transductor para captar el sonido del exterior y convertirlo en una señal eléctrica que la computadora o *Arduino* pudieran comprender y, finalmente, a través de la codificación digital, se devolvió una señal a los sistemas para controlar los LEDs, el motor y el transductor táctil que muestran los efectos de cada sistema.

Lo que se observa en Adell y Casacuberta (s.f.), López (2006; 2010; 2013) y Mallary (1969; 1975) son usos menos estrictos y excluyentes del término *transducción*, en donde se admite el origen y el significado técnico de la palabra, pero se decide utilizarla en un sentido más amplio, pues se mantienen las nociones de conversión y transmisión señaladas por Seïça (2012) y son cumplidas, a su vez, por medio de la computadora.

Esta manera de relacionar las tecnologías computacionales y la transducción es distinta a lo que sucede en los textos de Courribet (2006) o Fox (2015a; 2015b) pues, a pesar de que plantearon el uso de la tecnología y de la computadora como una parte importante de ciertas obras que incluyen procesos de transducción, su concepción de este proceso no se fundamenta en la tecnología, ya sea bajo una comprensión tradicional o más abierta y flexible, sino en la filosofía.

Fox (2015a, 2015b) recuperó algunos elementos de la filosofía de Gilbert Simondon para aproximarse al *new media art* (2015a), que en este trabajo se ha denominado *arte tecnológico*, y al *bioarte* (2015b). Ambos casos incluyeron el uso de la tecnología en obras como *Biopoiesis* (2011-2013), de Carlos Castellanos y Steven J. Barnes, *Akousmaflore* (2007), de Scenocosme, y *Pulsu(m) Plantae* (2012), de Leslie Garía, no obstante, la aplicación del término *transducción* no partió de la conversión entre las energías mecánica y electromagnética, sino de la mediación y la

estructuración de energía entre dos dominios.

Ambos, *Akousmaflore*³⁴ y *Pulsu(m) Plantae*, son proyectos que contemplan la interacción sonora entre personas y plantas. El segundo de ellos constituye un ejemplo destacable para este trabajo, entre otras cosas, porque permite observar dos formas de abordar la transducción; en una de ellas, la pieza no representa un proceso de transducción, mientras que en la otra sí lo hace. El uso de la codificación digital priva a la pieza de ser considerada como un fenómeno físico, técnico, de transducción, pero no le supone ningún problema para asumirse como un exponente válido de la transducción en la teoría de la individuación de Simondon. En contraste con la postura de Lara (2016), Fox (2015b) comentó lo siguiente:

Akousmaflore y *Pulsu(m) Plantae* crean interfaces novedosas a través de técnicas combinatorias de electrónica, programación y cuerpos vegetales. El sonido ofrece una manera de representar la experiencia no humana. Gilbert Simondon nombra a este tipo de reestructuración sistemática de energía de un dominio a otro transducción. (Fox, 2015b, p. 49).

En ambos proyectos se lleva a cabo una reestructuración de energía y una mediación, de modo que dos realidades entran en contacto de una manera diferente. En *Akousmaflore* y en *Pulsu(m) Plantae*, el espectador se relaciona de un modo distinto con las plantas a como lo haría en una situación cotidiana; se le presenta la posibilidad de sentir, percibir e interactuar con las plantas de formas en las que antes no podía. En este proceso de comunicación y transformación la computadora guía la mediación y se convierte en un elemento importante, vital, para que el proceso de transducción, entendido desde la filosofía de Simondon, suceda.

Entonces, para identificar un proceso de transducción, bajo esta perspectiva se prioriza la resolución lograda a través de la unión y la modulación de dos realidades dispares, previamente sin comunicación, más allá de la vía técnica mediante la cual este proceso se lleva a cabo. En consecuencia, sin importar si el proceso ocurre gracias a una auténtica conversión física de energía electromagnética a mecánica, o después de un segundo momento de codificación digital, éste se considera aún un proceso de transducción.

³⁴ En el video de Scenocosme Gregory - Anais (2012) se presentó una demostración y descripción de la pieza, en: https://www.youtube.com/watch?v=1hae2Fwrqn8&feature=emb_title

El caso de Courribet (2006) concierne a la visualización de sonido, en la que se articulan imágenes y sonidos dentro de una composición audiovisual por medio de la computadora. Al igual que Fox (2015a; 2015b), Courribet (2006) utilizó el término *transducción* bajo la concepción filosófica de Simondon, por lo que el uso de la computadora no se contrapuso con esta denominación, pues este concepto sirvió para nombrar la manera en la que la parte visual y la parte sonora de la composición se pueden conectar y estructurar dinámicamente a través de una relación transductiva de mapeo de datos.

2.4.4 Almacén de corazonadas y otros dos esquemas de la transducción

Para exponer los dos nuevos esquemas relacionados con el orden temporal de un proceso de transducción, es necesario recordar los otros esquemas presentados anteriormente, que se esbozaron a partir de las palabras asociadas al término *transducción*; los esquemas de *transformación* y *comunicación*. Así, es posible trazar una correspondencia directa entre el esquema de transformación y un orden *secuencial* de eventos, y entre el esquema de comunicación y un orden *simultáneo* o de *encuentro*.

Si se considera, primero, el ejemplo del efecto piezoeléctrico, que es posible identificar como una situación de transformación de energía, es posible concebir un esquema similar al que presentó López (2010) como “esquema básico de un proceso de transducción” (p. 1), en donde (1) un *objeto* parte del *dominio de entrada*, (2) pasa por un *transductor* y se convierte en un *objeto transducido* que, finalmente, (3) se dirige hacia el *dominio de salida*³⁵. De este modo, la energía mecánica parte del dominio de entrada y, a través del cristal piezoeléctrico, se convierte en energía eléctrica en un orden secuencial de eventos.

De modo similar, en la composición audiovisual Courribet (2006) expuso un “esquema secuencial para relaciones sonoras/visuales” (p. 2) en el que el sonido sirve como base para la realización de la sección visual de la composición. En el esquema descrito por Courribet (2006) se realiza un análisis de audio y, a partir de éste, se efectúa un mapeo que da lugar a la producción del video.

³⁵ Los términos utilizados por López (2010) en inglés fueron: *source domain*, *object*, *transducer*, *transduced object* y *target domain*, presentados en el mismo orden.

Este esquema secuencial puede ser utilizado para presentar la pieza de Rafael Lozano-Hemmer, *Almacén de corazonadas* (2006), que representó al pabellón mexicano en la edición número 52 de la Bienal de Venecia en el año 2007 (Ortiz, 2017). En esta instalación (Figura 5) los latidos del espectador son representados de manera visual, como sucede en otras obras que utilizan herramientas electrónicas, como *Heart Beats Dust* (1968), de Dupuy, en donde una capa de polvo dentro de una caja iluminada con una luz roja salta al ritmo del pulso cardiaco del espectador. Otro ejemplo es *Fidgety (in between up and down)* (2015), de Leung Kei-cheuk, también conocido como GayBird, en cuya pieza los latidos del artista activan un conjunto de 40 altavoces sobre los que yacen figuras de metal que saltan cuando los altavoces vibran. Finalmente, en una versión del montaje de *Biolesce*, de Tyler Fox, la pieza responde a los latidos del espectador; estos provocan una serie de pulsos en contenedores de agua, en donde se depositó un tipo de alga, *pyrocystis fusiformis*, capaz de producir luz de color azul. En consecuencia, las algas se iluminan con cada latido del espectador (Fox, s.f.).

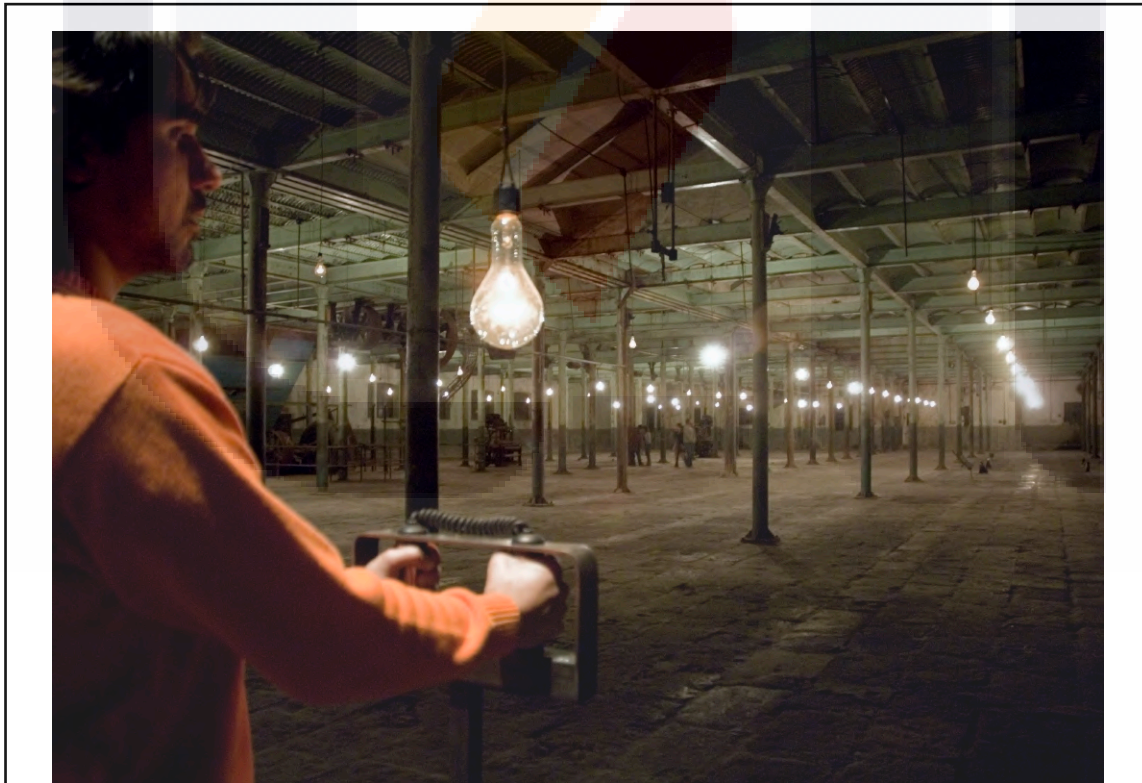


Figura 5. *Almacén de corazonadas* (2006), de Rafael Lozano-Hemmer, en una exhibición en “Fábrica La Constanca”, Puebla, en 2008. Fotografía realizada por Alejandro Biazquez, tomada con la autorización de Antimodular Research, de “Pulse Room”, por Antimodular, s.f. Recuperada de http://antimodular.com/showimage_embed.php?img=puebla_2007&proj=22&type=artwork&id=10

En *Almacén de corazonadas* el espectador ingresa a una sala grande y oscura de cuyo techo cuelgan focos. En un punto de la sala se encuentra una estructura con sensores de pulso cardiaco que el espectador debe sujetar para interactuar con la pieza. Los sensores están dispuestos a una altura cómoda y accesible, y sobre ellos, directamente frente al espectador, cuelga otro foco, a una altura menor que los otros. Cuando el espectador sujeta los sensores, el foco frente a él se ilumina y su brillo comienza a variar en concordancia con sus latidos, acompañado por un estímulo sonoro. Después de unos instantes este foco cercano se apaga y la representación lumínica de los latidos del espectador se envía a otro foco en la sala; se almacena ahí. Con cada nueva participación, paulatinamente la sala se ilumina, el sonido aumenta y de pronto surge la impresión de estar en medio de una tormenta.

El esquema secuencial serviría principalmente para presentar el planteamiento técnico de la obra; la energía eléctrica del cuerpo es detectada y utilizada para controlar otra corriente eléctrica que se convertirá en energía lumínica. Desde un punto de vista mucho más sencillo, una parte de la misma energía que mantiene con vida al espectador es convertida en energía lumínica. Este proceso no puede funcionar de manera inversa, al menos no en esta pieza. El mismo flujo de energía parece dirigirse desde el cuerpo del espectador, a través de los sensores y los cables, hasta el foco que cuelga del techo.

En este proceso el pulso cardiaco del espectador se comporta como un *molde variable* y da *forma* a las emisiones de luz, que podría interpretarse como *materia*; les transmite su estructura, de forma similar a un molde fijo que imprime su forma sobre una porción de arcilla para formar un ladrillo. Esto implicaría observar el proceso desde una postura *hilemórfica* sobre la unión de la forma y la materia en una serie secuencial de procedimientos cuyo orden no es alterable.

El hilemorfismo, fue criticado por Simondon (2015), pues consideró que existía “un agujero en la representación hilemórfica, que hace desaparecer la verdadera mediación, la operación misma que une a las dos semicadenas entre sí al instituir un sistema energético, un estado que evoluciona” (p. 37). Desde esta perspectiva, el molde y el pulso cardiaco son los extremos de una semicadena que no es forma pura sino, en términos de Simondon, *forma materializada*, mientras que el extremo de la arcilla y la luz no son materia pura, sino *materia*

preparada. Bajo esta concepción, el esquema de la transducción ya no consiste en una cadena secuencial con un orden específico, sino en la unión de dos semicadenas, es decir, en el contacto, la relación y el intercambio energético que se establece entre ellas; “El principio de individuación del ladrillo no es la arcilla, ni el molde (...) el principio de individuación es la operación que lleva a cabo un intercambio energético entre la materia y la forma, hasta que el conjunto desemboca en un estado de equilibrio” (Simondon, 2015, p. 40), aunque en el caso del molde variable, el molde se continúa modificando una vez que el equilibrio es alcanzado.

Bajo el esquema de encuentro, en *Almacén de corazonadas* el proceso de transducción no estaría representado por el flujo y la transformación de energía desde el cuerpo del espectador a los focos de la sala, sino por el encuentro y la modulación entre el movimiento y la luz; entre los procesos que ocurren al interior del espectador y aquellos que ocurren fuera de él, justo como una planta, de acuerdo con Simondon (2015), realiza una mediación entre el orden inframolecular y el orden cósmico, pues representa un nudo en donde la energía y la materia provenientes del sol, la atmósfera, la humedad, y la tierra son moduladas. De un modo similar, en *Almacén de corazonadas* la energía al interior de 100 personas puede ser trasladada al exterior de sus cuerpos. Los latidos de los espectadores al interior de una sala, que normalmente son imperceptibles por los demás, pueden ser advertidos por todos desde cualquier esquina. La luz, el sonido, el ritmo de los pulsos, y en realidad el ambiente entero en la sala son afectados por los procesos que ocurren en los cuerpos de los visitantes pero, al mismo tiempo, la sensación del espacio y tiempo del espectador también es afectada por la instalación (Carlson y Schmidt, 2012). *Almacén de corazonadas* constituye una interfaz que establece una conexión y un canal de comunicación entre el orden *intracorporal* y el orden exterior, entre un proceso individual y un proceso colectivo.

2.4.5 Otros conceptos relacionados. Mapeo e isomorfismo

También existen otros conceptos que aparecen en algunas de las definiciones de la transducción y que es importante tener en cuenta. Estos conceptos son: el *mapeo* y el *isomorfismo*; El isomorfismo es un concepto utilizado principalmente por López (2010); Hosch (2009) definió

este término, dentro del álgebra moderna, como “una correspondencia de uno a uno entre dos conjuntos que preserva relaciones binarias entre los elementos de los conjuntos” (párr. 1). López (2010) presentó este término en su texto sobre la transducción entre imagen y sonido. En un ámbito de producción audiovisual por computadora el isomorfismo, de acuerdo con López (2010), permite traducir parámetros de fenómenos visuales o sonoros en código, de modo que por medio de la computadora se obtenga la respectiva representación visual o sonora deseada como ocurre, prosiguió López (2010), en su pieza, *Elastic Study* (2007).

El mapeo también fue referido tanto por López (2006; 2010) como por Courribet (2006), y se vincula con la obtención de un conjunto que mantenga una relación de isomorfismo con una serie de parámetros seleccionados. El mapeo, traducido de la palabra en inglés *mapping*, se refiere a “cualquier forma prescrita de asignar a cada objeto en un conjunto, un objeto particular en otro (o en el mismo) conjunto” (Osserman, 2006, párr. 1). Grond y Berger (2011), por otra parte, no se refirieron al mapeo en las matemáticas, sino específicamente a la *sonificación de mapeo de parámetros*, o *PMSon* por su nombre en inglés. Explicaron que la *PMSon* “involucra la asociación de información con parámetros auditivos con el propósito de presentar datos” (p. 363). Para López (2006; 2010), el mapeo conforma un puente entre los estímulos captados por la computadora y la manera en la que ésta los representa. Las nociones de isomorfismo y mapeo, por lo tanto, están ligadas, al menos en su uso dentro de la producción artística, al uso de la computadora y de la codificación digital en los procesos de transducción. Asimismo, estos conceptos resaltan la necesidad de que exista una correspondencia entre dos estímulos distintos, lo que constataría la relación entre ellos.

2.5 Uso en el arte electrónico

El concepto de la transducción abarca, como se ha mostrado a lo largo de este capítulo, un amplio abanico de disciplinas, definiciones y conceptos asociados. Mientras que un conjunto de nociones están presentes en la mayoría de los textos sobre la transducción, algunos de sus usos parecen contraponerse con las afirmaciones de otros autores, aunque lo que se propone en este trabajo no es una serie de elecciones; de esto por aquello o de uno por otro, sino un análisis en el

cual las distintas posturas se complementan.

No sólo es necesario presentar una perspectiva que concilie las diferencias y reúna diferentes posturas, sino que también es preciso establecer los límites de este término, de modo que se logre un equilibrio entre las razones univocista y equivocista. Asimismo, al enmarcar la transducción dentro del arte electrónico es adecuado brindar un panorama de las propiedades e implicaciones del uso de los procesos de transducción en la producción artística, de acuerdo con las características de este fenómeno mencionadas en las fuentes consultadas en este trabajo.

2.5.1 Combinación de elementos tecnológicos y filosóficos

Antes de llegar al ámbito del arte a finales de la década de 1960, junto con el nacimiento del arte computacional, la transducción se había instalado ya en los terrenos de la tecnología, en donde se originó, y en las ciencias humanas. Cinco décadas más tarde, este concepto es utilizado en contextos técnicos y tecnológicos, como filosóficos y culturales por igual, aunque en ocasiones los elementos de sus aplicaciones se contraponen; para colocar este concepto dentro de un uso artístico es preciso conciliar algunas de estas diferencias y componer una interpretación de la transducción en la que no se ignore su herencia tecnológica ni filosófica.

Las obras de arte electrónico y, en general, el uso de diversas formas de tecnología en cualquier disciplina o género artístico no tienen como único propósito la ostentación técnica, sino que a menudo se valen de las mismas herramientas tecnológicas para cuestionar o comentar sobre la sociedad en la que surgen. Esta característica fue señalada por Nake (1971) durante los primeros años del arte computacional; declaró que el propósito del uso de la computadora en el arte debería de distanciarse de la presencia apabullante de la maquinaria que cubre a la obra con un velo de misterio y magnificencia, así como de la creación de imágenes que únicamente pueden ser bellas. Apoyó el uso de la computadora en la “producción y presentación de información semántica la cual es acompañada por suficiente información estética” (Nake, 1971, p. 19), que se puede entender como la participación en la construcción del sentido y contenido de la obra, más allá de únicamente sus características formales disociadas de cualquier otra intención.

En concordancia con esta concepción del uso de la tecnología en la producción artística, una interpretación de la transducción que considere únicamente sus acepciones y características técnicas no sería de gran utilidad, a diferencia de lo que representaría una interpretación que logre conciliar y complementar estos elementos con su contraparte filosófica y estética.

Las posturas representativas en cuestión son: la definición de la transducción como la conversión de energía electromagnética en mecánica y viceversa (Lara, 2016), y el concepto de transducción en la teoría de la individuación de Simondon, que ha sido aplicado en el campo del arte por autores como Fox (2015a; 2015b), Lapworth (2016) y Courribet (2006). Tomar en consideración únicamente una definición técnica de la transducción ofrece la posibilidad de referirse a tendencias específicas dentro del arte, aunque representen un conjunto muy escaso de proyectos relacionados con la transducción de señal, aunque esto no es suficiente para referirse a obras que, como sucedió con *Pulsu(m) Plantae* para Fox (2015b), desde una perspectiva simondoniana podrían citarse como un ejemplo de transducción; más aún, existen obras que, desde una definición técnica, implementan auténticos procesos de transducción a través del uso de dispositivos como altavoces, cuya función es únicamente la de reproducir un sonido en el espacio de exposición.

Un ejemplo de esto es la instalación de Antonio Fernández Ros, *La regadera* (2009), en la que se colgaron 24 altavoces del techo de la sala para formar una cuadrícula en la que el sonido cae sobre el espectador como el agua en una regadera. Estos sonidos eran en realidad “un collage de voces humanas [entre las que se podía escuchar] al revolucionario Ernesto ‘Che’ Guevara [...]; a Yasser Arafat [...] y a Nelson Mandela” (Modos de oír, s.f., párr. 1).

Otra pieza que contiene altavoces es *The punishment of Tantalus* (2017), de la artista Wu Ziwei; en esta instalación (Figura 6) se presentan algunas figuras y objetos dorados dentro de recipientes de vidrio, en cuyas bases se han colocado altavoces sobre los cuales reposa cada figura. Fuera de los frascos se encuentran dispuestas algunas lupas dirigidas hacia las figuras dentro de cada recipiente. Al igual que en *La regadera*, los altavoces de *The punishment of Tantalus* reproducen sonidos, pero cuando lo hacen también sacuden las pequeñas figuras doradas con su vibración; mientras más fuerte es el sonido, la figura se agita con mayor vigor.

En la pieza de Fernández Ros, el objetivo principal del uso de los altavoces es la

reproducción de un sonido, aunque la disposición de estos transductores posea un carácter metafórico y remita a otro objeto doméstico. En la instalación de Ziwei, por otra parte, el espectador no sólo escucha los sonidos producidos por los altavoces, sino que también puede observar su efecto sobre una serie de objetos; lo que el espectador ve se corresponde con lo que escucha. El uso de los transductores en estas obras es distinto; ambas implementan un proceso técnico de transducción, pero solamente una de ellas establece un vínculo de representación y correspondencia entre los dominios visual y sonoro. Es por esta razón que una definición técnica no basta para referirse al uso de los procesos de transducción en obras como *The punishment of Tantalus*, *Almacén de corazonadas*, *Akousmaflora* o *Pulsu(m) Plantae*, pues lo que se observa en ellas es muy distinto a lo que ocurre en instalaciones como *La regadera*.



Figura 6. *The punishment of Tantalus* (2017), de Wu Ziwei. Imagen tomada con la autorización de la artista, de <https://wuziwei.me/2018/10/06/the-punishment-of-tantalus/>

Ahora, el uso de la transducción en la filosofía por parte de Simondon (2015) no carece en absoluto de una consideración técnica, más aún, fue el carácter y el origen técnico lo que le permitió reformular conceptos como éste o como el de *metaestabilidad* en la filosofía. No obstante, fue también a partir de este enfoque filosófico que Fox (2015b) destacó tanto en *Pulsu(m) Plantae* como en su propia obra, *Biolesce*, un cambio y una reestructuración de energía mediada por la tecnología para comunicar dos dominios distintos. Se consideran entonces, ambas

perspectivas, como procesos de transducción, a pesar de que en el uso de Fox (2015b) sea válida la implementación de la codificación digital para mantener una relación de isomorfismo entre las señales que entran y salen de la computadora. Esto le resta importancia al uso u omisión de un proceso técnico de transducción y acentúa la importancia de la construcción de un nudo interelemental de mediación entre dos realidades que entran en contacto gracias a la obra.

La presencia de ambas perspectivas también permite observar dos esquemas temporales distintos; en un nivel técnico, la conversión ocurre de manera secuencial, desplazándose en una sola dirección de un punto de origen a un punto de destino. En contraste, a través del enfoque que ofrece la filosofía de Simondon, es posible apreciar el encuentro entre dos semicadenas que, en conjunto, constituyen la obra. Este esquema de encuentro está dominado por la comunicación, no por la conversión, de modo que el flujo de energía no ocurre en una sola dirección, como lo hace en el esquema secuencial, sino que circula en el sistema; no se trata, por ejemplo, de un sonido que da lugar a una representación visual, sino de dos eventos, el sonido y el estímulo visual, que se desarrollan de forma simultánea, están en contacto y son parte del mismo sistema, es decir, la obra.

2.5.2 Límites del término

A pesar de que las fuentes que se refieren a la transducción en un ámbito artístico son escasas, es posible percibir la presencia de distintos usos de este término y que, en ocasiones, terminan por contraponerse, por lo cual es necesario aclarar que no cualquier proceso de representación a través de una mediación tecnológica puede ser identificado como un proceso de transducción, más aún: no cualquier proceso de representación entre medios puede ser identificado como un proceso de transducción.

Un primer límite para este término fue delineado por Helmreich (2015), quien desde los estudios del sonido externó que “la especificidad histórica y técnica del término [transducción] lo vincula de una manera más lógica a casos que llevan en su esencia instancias infraestructurales tecnocientíficas — e incluso eléctricas, electrónicas, y electromagnéticas” (párr. 18). De este modo, la transducción no comprendería los trabajos de asociación entre sonidos y sus

representaciones visuales realizados por distintos pintores a inicios del siglo XX, por ejemplo. La *sinestesia* también sería ajena a esta postura sobre la transducción, al igual que recursos como la *écfrasis*, la *remediación* o la *adaptación*.

La transducción en la semiótica, como se ha mencionado, mantiene la característica de trasladar la estructura y el material semiótico de un modo a otro (Kress, 2003). Así la *écfrasis*, que puede entenderse como la “descripción de una obra de arte en un texto verbal” (Popa-Blanariu, 2013, p. 117) es una forma de transducción en la semiótica. Otros conceptos similares son la *remediación*³⁶, de Jay David Bolter y Richard Grusin, que se refiere a “un trabajo en un medio que es re-representado en otro medio” (López-Varela, 2013, p. 9), o la *adaptación*, como una *transposición* entre medios (Popa-Blanariu, 2013).

Algunos de estos términos son de gran utilidad para nombrar fenómenos que ocurren en la literatura o en medios estáticos tradicionales, como en la pintura, la escultura, como puede ser la adopción y adaptación de una estructura que otra pieza, como una obra musical, exhibe, pero la transducción, por otro lado, mantiene una conexión con un proceso físico, tecnocientífico, incluso en el uso que le dio Simondon en la filosofía (2015). Por lo tanto, tiene sentido, como sugirió Helmreich (2015), restringir el uso de este término a procesos como los que se observan en las obras de arte electrónico, ya sea que implementen únicamente medios analógicos o incorporen también el uso de la computadora. Además, los recursos mencionados y las obras en las que se basan y aquellas que representan no conforman un sistema en el que se lleve a cabo un intercambio energético; en la presente propuesta se plantea que no toda representación entre distintos medios constituye un proceso de transducción.

2.5.3 Propiedades e implicaciones

Después de presentar algunos aspectos de la transducción, como una parte de la historia del término, sus principales usos y algunos conceptos con los que mantiene un vínculo cercano, así como las similitudes y los contrastes en sus aplicaciones, es posible continuar con los efectos y las implicaciones de su uso en obras de arte electrónico.

³⁶ Traducida del inglés, *remediation*.

En primera instancia, es necesario considerar a la transducción como una manera de representar un fenómeno que se desenvuelve a lo largo del tiempo de modo que éste sea percibido de una manera distinta. De Assis (2017) declaró que la “transducción ocurre en el tiempo, es un proceso, una operación con una dirección temporal y energética” (p. 700). Con un soporte sonoro como objetivo, Adell y Casacuberta (s.f.) también señalaron que para realizar un proceso de transducción a partir de información, y poder percibirla de un modo distinto, era necesario que dicha información cambiara sutilmente en el tiempo.

Los sonidos que reproducen los altavoces en *The punishment of Tantalus* evidencian, además, un efecto físico sobre las figuras es decir, el espectador advierte a través del sentido de la vista, los efectos que acompañan la producción de los sonidos que escucha. De forma similar, en *Pulsu(m) Plantae* y en *Akousmaflöre* los procesos en los que están implicadas las plantas y la interacción de los visitantes con ellas se perciben de manera auditiva.

Sobre *Almacén de corazonadas*, Carlson y Schmidt (2012) afirmaron que “cuando los biorritmos son transmitidos de la energía del corazón palpitante a los destellos del foco (...), le da al visitante (...) una clara e inequívoca impresión de ser representado directamente y en tiempo real en el montaje parpadeante” (p. 14). Lo mismo aplicaría en el caso de *Heart Beats Dust* o en *Biolesce*.

Esta capacidad de representación que ofrece el uso de los procesos de transducción también puede ser utilizada para volver algo imperceptible, perceptible, como ocurre también en *Almacén de corazonadas*; es probable que en algún momento de su visita en un espacio artístico, el espectador sea consciente, principalmente si éste permanece quieto, de sus latidos, que mecen ligeramente su cuerpo; posiblemente pueda sentir su propio palpitar a través de sus manos, al cerrar los puños, sin embargo, es imposible que pueda percibir el ritmo cardiaco de otro centenar de visitantes sin ayuda de la tecnología. Esto es lo que ocurre en la instalación de Lozano-Hemmer; el nudo entre dentro y fuera, cuerpo y sala, que entabla la instalación no solo le permite al espectador observar una representación de su ritmo cardiaco, sino también de los de los cien visitantes que estuvieron en contacto con la pieza antes que él, y si permanece en la sala de exposición por más tiempo podrá observar aún más.

Fedorova (2014) expresó algo similar en su reseña sobre la pieza de Tyler Fox, *Biolesce*,

en donde destacó la capacidad de las interfaces digitales para poner en contacto dos realidades dispares y “mediar experiencias de fenómenos naturales que no son accesibles a la percepción humana. Facilitando el escenario y las situaciones para interactuar con organismos vivos lo cual no es posible en el ambiente natural” (párr. 6). Con los proceso de transducción dominios imperceptibles, con distintos órdenes de magnitud, son puestos al alcance de la experiencia humana.

Helmreich (2015) también escribió sobre esta capacidad de la transducción para volver evidente algo que previamente era indiscernible. Relató un evento descrito por Roosth (2009) en el campo de la *sonocitología*, en donde las vibraciones de las células se ponen al alcance de la audición humana (Helmreich, 2015). Al derramar alcohol sobre una muestra de levaduras, la frecuencia en la que normalmente vibraban se elevaba, lo que producía un tono más agudo. De acuerdo con Roosth (2009) y Helmreich (2015) este cambio, que podía ser percibido gracias a la transducción y que era similar a gritos de sufrimiento por parte de las levaduras, provocó reacciones de simpatía y ansiedad. La transducción, explicó Helmreich (2015), “desapareció como la operación mediadora que les permitió a los investigadores creer que estaban ‘escuchando’ una genuina emanación auditiva del mundo de las levaduras” (párr. 12). Posteriormente, concluyó que “la transducción como una operación técnica evoca el realismo experiencial, es decir, una sensación de estar ante la presencia auditiva no mediada de una sensación o sentimiento” (Helmreich, 2015, párr. 13). Esta cualidad podría ser de gran utilidad para propósitos estéticos, como sucede en las obras mencionadas, pero podría ocasionar confusión si se aspirara a un mayor grado de objetividad, es decir, si lo que se intentara mostrar fuera el auténtico sonido de las plantas, o el destello real de un latido. No hay que olvidar, pues, que estos procesos están mediados por la tecnología y que algunos de los aspectos de la señal final que percibe el espectador son elegidos y modificados por los artistas con motivos estéticos, como apuntó Lara (2016).

Anteriormente se esbozaron dos esquemas de la transducción a partir de las palabras asociadas con este término: el esquema de comunicación y el de transformación. Se comentó que el segundo esquema comprende casos como la definición de la transducción en la física, debido al principio de conservación de energía, sin embargo, la transducción se asocia mayormente con

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

las nociones de transformación, aun cuando muchos usos del término se adaptan mejor al esquema de comunicación. El predominio de la concepción de la transducción como un fenómeno de conversión acentúa su poder de representación y asocia estos procesos con situaciones mágicas, místicas y alquímicas, como lo mencionó Lara (2016), quien acotó su aseveración a las obras que presentan la interacción entre humanos y plantas:

Es notable cómo la gama de proyectos basados en la transducción sonora de la electricidad de las plantas, tiende a asociar su búsqueda con aspectos espiritistas, así como con el tema de la conciencia y la transferencia de emociones o pensamientos —haciendo eco de los orígenes de la telefonía— mediante flujos eléctricos circulando entre las plantas y la audiencia. El trasfondo (...) tiene qué ver con interrogar la naturaleza de la conciencia de la planta y del ser humano, subrayando el intercambio energético entre ambos a través de las vibraciones sonoras. (Lara, 2016, p. 68).

La interacción entre plantas y humanos o algas y humanos, por ejemplo, puede darse en una pieza sin necesidad de utilizar procesos de transducción, no obstante es por medio de estos procesos que la existencia de dicha interacción puede volverse evidente. La tecnología que desempeña la labor de mediación durante la interacción afecta la manera en la que ésta se desenvuelve, pues la forma de relacionarse con un organismo o con un objeto es distinta cuando se hace con procesos de transducción o sin ellos, como resulta derramar alcohol sobre levaduras sin escuchar nada, o realizar esta misma acción y obtener como resultado una respuesta auditiva.

2.6 Conclusiones del segundo capítulo: una interpretación analógica de la transducción en el arte electrónico

La palabra *transducción* cuenta con una vasta gama de usos que se han dado a lo largo de casi 100 años, con el primer registro del que este trabajo da cuenta localizado en 1923. Algunos de estos usos son altamente especializados, mientras que en otras ocasiones se emplean con una mayor flexibilidad. A pesar de que el origen del término y sus interpretaciones más comunes se sitúan en el ámbito de la tecnología y de las ingenierías, actualmente también comparte perspectivas de las humanidades, fundadas en la filosofía y en la semiótica; se ha convertido en un concepto usado en una gran variedad de disciplinas, lo que implica que, debido a los distintos

escenarios que lo rodean, en ocasiones algunos de los elementos en sus definiciones se contraponen de un autor a otro o de una disciplina a otra.

El propósito de utilizar la hermenéutica analógica como el principal instrumento en la construcción de una interpretación para los procesos de transducción en el arte electrónico es alcanzar un balance entre las definiciones unívocas y equívocas de la transducción y, así, conciliar algunas de las características que se le atribuyen al concepto de la transducción desde distintos ámbitos. En consecuencia, esta interpretación no pretende ser universal ni conseguir aceptación por igual en todos los campos en los que el término ha sido utilizado. Del mismo modo, tampoco se busca establecer una interpretación excluyente, que únicamente tenga sentido en el arte electrónico, sino una perspectiva en la que otros usos de esta palabra hagan eco y, simultáneamente, pueda resaltar algunos elementos relevantes para otras disciplinas. Por lo tanto, esta interpretación no está en total consonancia con alguna definición en particular de la transducción, pero tampoco anula ni contradice otras perspectivas.

Esto es importante, pues a pesar de que la interpretación propuesta en este trabajo se construyó a partir de las características observadas en algunas obras de arte electrónico así como en otras definiciones de la transducción, no se descarta que artistas y académicos puedan utilizar otras definiciones más tradicionales de la transducción para referirse a procesos más específicos en sus obras o en otras piezas; si se escribiera sobre obras como las que componen la serie *Aura* (2009) de Joyce Hinterding, en donde una serie de dibujos realizados con oro y grafito funcionan como una antena para ofrecer representaciones sonoras a partir de la interacción del público con la pieza, se esperaría que se adoptara una perspectiva sobre la transducción similar a la que expuso Lara (2016). Aunque incluso en ese escenario, aún sería posible observar diversas características de la transducción señaladas en esta interpretación.

Algo que se ha repetido en múltiples apartados de este trabajo, y que se puede considerar como uno de los aspectos más importantes sobre la presente interpretación de la transducción en el arte electrónico, es que no cualquier representación entre distintos medios puede considerarse como un proceso de transducción. La interpretación de la transducción aquí formulada no incluye ejemplos como el de un pintor que realiza una pintura a partir de una composición musical, y en donde las formas y los colores corresponden a las características de la melodía.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tampoco incluye situaciones en las que un artista asocia colores y sonidos de manera instintiva y automática, y utiliza esta capacidad para elaborar obras visuales o sonoras. De un modo similar, esta interpretación de los procesos de transducción en el arte electrónico no puede, como se ha mencionado anteriormente, remitirse únicamente al uso de transductores en su concepción técnica, como pueden ser altavoces o micrófonos, pues existen otras inquietudes y búsquedas en obras como los ejemplos presentados, de artistas como Leslie García, Rafael Lozano-Hemmer, Scenocosme, Tyler Fox, Wu Ziwei y Jean Dupuy, que difieren de otras maneras y objetivos con los que un transductor puede ser utilizado en otras piezas.

A partir de la información presentada en este capítulo se plantea, pues, una interpretación de los procesos de transducción en el arte electrónico en la que destacan seis aspectos:

1.- Un proceso de transducción se da entre dos dominios o capas de la realidad previamente incomunicadas para poner en contacto dos distintos órdenes de magnitud, como los procesos al interior del cuerpo del espectador, que son transmitidos hacia el exterior, al nivel de la sala de exposición, o los procesos de las plantas, de las algas o de las levaduras, que son puestas al alcance de la percepción humana.

2.- En un proceso de transducción, a diferencia de lo que ocurre en otro tipo de representaciones a través de medios, como en el ejemplo del pintor y la pieza musical, se lleva a cabo un intercambio de energía entre los dos dominios que son puestos en contacto y mediados a través de una interfaz.

3.- Es posible utilizar la computadora para llevar a cabo esta mediación pues, aunque no se trata de un proceso de transducción directa en un sentido técnico, la codificación digital puede ser de gran utilidad para propagar una modificación estructural y establecer una relación de isomorfismo entre los dominios involucrados. Es debido a la necesidad de esta interfaz, sea análoga o digital, que estos procesos se sitúan en el arte electrónico, pues este comprende las piezas en las que se implementan interfaces electrónicas o computacionales; el arte tecnológico y otras formas de arte comprendidas en él, como el el bioarte, no siempre involucran el uso de tecnologías electrónicas o computacionales, mientras que el arte computacional excluye algunas formas analógicas de mediación.

4.- Las características formales de esta relación podrán ser determinadas por el artista con

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

un amplio grado de libertad, pues es esta figura la que determinará de qué manera y con que objetivo presentará dicha relación. Por esta razón el uso de los procesos de transducción para la representación en el arte electrónico no puede gozar de una objetividad científica como podría hacerlo, por ejemplo, la cimática.

5.- En cuanto a su desarrollo técnico, un proceso de transducción puede considerarse bajo un esquema temporal secuencial, es decir como un flujo de energía en una sola dirección que va de un dominio a otro, aunque desde un punto de vista estético, un proceso de transducción puede considerarse como un encuentro y una relación entre dos dominios en donde la energía fluye en ambos sentidos y produce algo nuevo; una experiencia que involucra o remite a más de un sentido de percepción humana.

6.- El uso de los procesos de transducción en el arte electrónico atiende al propósito de representar un flujo de información que cambia a través del tiempo, una relación entre las personas y su entorno u otros organismos, o procesos normalmente imperceptibles. Es importante resaltar, dentro de esta estrategia de representación, el deseo de percibir tal objeto de una manera distinta, lo que también ocasiona un cambio en la forma en la que dicha relación normalmente se desarrolla. Los procesos de transducción en obras de arte electrónico normalmente son implementados con el objetivo de evidenciar algo que, de otra manera, sería difícil o incluso imposible advertir.

Capítulo 3. Exploración con procesos de transducción

El uso del cómputo físico y de la codificación digital representan, en este trabajo, una ruta para la generación de procesos de transducción en obras de arte electrónico, pues estos consisten en procesos de mediación y comunicación entre dos capas de realidad, que previamente estaban incomunicadas y entre las cuales se lleva a cabo un intercambio de energía, con lo que se hace visible o evidente algo que antes no lo era.

Este capítulo está dedicado a la sección práctica del proyecto en la que, a través del cómputo físico y de programas de computadora, se construyeron tres *sistemas interactivos-transductivos* que responden a la voz del espectador y la representan por medio de vibración, movimiento y variaciones de luz. También se utilizó la interpretación de la transducción generada en el capítulo anterior para elaborar una reflexión en torno a estos tres sistemas.

Dentro de las herramientas utilizadas en la construcción de los tres sistemas se encuentra el uso de programas como *Pure Data* y *SuperCollider*, además de tableros de *Arduino* y una computadora *Raspberry Pi*. Además, las versiones finales de estos sistemas requirieron el uso de una tensión de alimentación mayor a los 5V con los que operan tableros como *Arduino* por lo cual, con la orientación y el apoyo del Centro Multimedia en el Centro Nacional de las Artes, se construyó una interfaz electrónica.

El proceso de construcción, compuesto por 22 sesiones de trabajo, fue registrado en los formatos presentados en la sección de *Metodología* de este proyecto. El propósito de este registro (ver anexo A) es exponer con detalle y en orden cronológico los problemas resueltos, las decisiones tomadas y los cambios paulatinos que desembocaron en el funcionamiento final de cada sistema, de modo que el lector pueda comprenderlos y replicarlos con mayor facilidad. Los formatos de registro cuentan con distintas evidencias, como fotografías, esquemas, videos y secciones de código.

Adicionalmente se elaboraron dos manuales, en donde se abordó la elaboración de una maqueta interactiva de 5V en la que las variaciones en la voz del usuario son representadas en un LED de 5mm (ver anexo B), así como de la interfaz electrónica que se ensambló para los sistemas 2 y 3 (ver anexo C); ambos manuales se concibieron a partir del proceso de

construcción de los sistemas interactivos-transductivos que conforman esta sección del proyecto, así como del apoyo brindado por el Centro Multimedia.

3.1 Propuesta de producción de tres sistemas interactivos-transductivos

La propuesta de producción de este proyecto consiste en la elaboración de tres sistemas interactivos-transductivos que responden al sonido de la voz. El usuario o espectador puede introducir información al sistema por medio de un micrófono. Cada sistema procesa esta información y la representa en su vía de vuelta al usuario de una manera distinta. En el primer capítulo se explicó que con el uso de términos como *sistema artístico* y *sistema artístico interactivo*, se destaca la función que desempeñan en la pieza no sólo el artista, sino también el espectador y el entorno (Edmonds et al., 2004). La noción de sistema también es importante en el planteamiento de la individuación de Simondon (2015) quien, en contra del esquema hilemórfico, argumentó que en el estudio de la individuación es preciso abandonar la concepción del *individuo constituido* para comenzar a considerar la *condición energética*, que ha sido ignorada y a la que es posible acceder a través de la noción de sistema; “pues no hay energía potencial más que en relación con las transformaciones posibles en un sistema definido” (p. 62). En estos sistemas interactivos-transductivos no solamente se representa la voz del usuario a través de luz, vibración y movimiento, sino que también se realiza un intercambio energético entre el usuario y los dispositivos colocados frente a él; el usuario mismo es parte del sistema y su energía circula en el sistema para volver a él de una manera distinta. Éste fue el segundo aspecto mencionado en la interpretación de la transducción que se presentó en el capítulo anterior. El intercambio de energía es mediado por una interfaz, y esta interfaz no es la interfaz electrónica utilizada en los sistemas 2 y 3, sino la mediación computacional, en donde la información que representa al sonido y aquella que representa a su correspondiente representación lumínica, cinética o visual entran en contacto a través de un lenguaje común.

Se recuerda también que estos sistemas interactivos no se enuncian como obras de arte, sino como un conjunto de conocimientos prácticos y técnicos aplicados que el autor, y en todo caso también el lector, podrá implementar en la realización de futuras instalaciones interactivas,

sin embargo, algunos de los elementos presentes en estos sistemas aparecen también en la producción artística del autor, como la voz o la palabra, y el movimiento.

Al trabajar con cómputo físico, los sensores que obtienen información del exterior, en este caso el micrófono, pueden ser sustituidos por un sensor distinto, de modo que la información que ingresa al sistema para ser procesada no sólo se puede generar a partir de sonidos, como ocurre en este caso, sino también a partir de movimiento, cambios de temperatura, humedad o luz, por mencionar algunos. Por lo tanto, algunas de las herramientas y procesos presentados en este capítulo también pueden ser útiles para realizar una amplia gama de proyectos, a pesar de que estos no incorporen el sonido como uno de sus elementos centrales.

3.1.1 Sistema 1 - Voz y vibración

Para referirse a los sistemas que componen la propuesta de producción con mayor facilidad se le asignó un número a cada uno; la función del *sistema 1*, también nombrado *sistema de voz y vibración*, es controlar, por medio de la voz del usuario, la vibración de un *transductor táctil*, también conocido como *bass shaker*.

Un transductor táctil es similar en funcionamiento a un altavoz, pero carece de *membrana*, o *cono*, y se utiliza junto con un amplificador. El transductor táctil, al igual que un altavoz, transforma impulsos eléctricos en energía mecánica; vibra y puede producir sonido a través de una superficie si se le fija a ésta (Harriman, 2015).

En este sistema es posible colocar un recipiente con agua o arena sobre el transductor táctil. Así, al hablarle al micrófono, el usuario no sólo controla la vibración del transductor táctil, sino que también puede generar figuras de cimática en el agua o la arena y, en consecuencia, producir representaciones visuales del sonido de su voz. Estas representaciones están relacionadas a dos parámetros de la voz del espectador, que cambie mientras éste habla; su altura, medida en *hercios*, y su volumen, medido en *decibelios*.

3.1.2 Sistema 2 - Voz y luz

En el *sistema 2*, de *voz y luz*, el usuario puede controlar, por medio de su voz, la intensidad del

brillo en cuatro LEDs. El brillo es, por lo tanto, más débil o más fuerte en correspondencia con los sonidos emitidos por el usuario.

Un reto para este sistema fue utilizar dispositivos de alta potencia, que pudieran producir un gran brillo y, por lo tanto, un mayor impacto visual. También se requirió que la respuesta en los tres sistemas fuera rápida, de modo que le facilitara al usuario identificar la relación entre las variaciones en su voz y las variaciones en los sistemas interactivos.

3.1.3 Sistema 3 - Voz y viento

El sistema 3, de voz y viento, posee muchas similitudes con el sistema 2; el funcionamiento en ambos es similar también pero, a diferencia del sistema 2, en éste último se controló un motor con una hélice impresa en 3D a manera de ventilador, en vez de cuatro LEDs. El flujo de aire generado por el ventilador sirve, a su vez, para desplazar fragmentos diminutos de papel. La potencia requerida para mover estos fragmentos no es muy alta pero, al igual que en el sistema 2, fue necesario utilizar un voltaje mayor a 5V para generar este desplazamiento.

3.2 Voz, vibración, luz y viento en los sistemas interactivos-transductivos

Como se mencionó al inicio de este trabajo, una gran inspiración que sirvió de motivo para realizar esta investigación fue el libro de artista (Figura 7) *Juan 1:1* (2017), en el cual la voz fue, al igual que en los tres sistemas en este proyecto, el elemento central de la pieza, en donde se ilustró la capacidad creadora de la palabra y del lenguaje.

El autor grabó su voz al leer el versículo de la Biblia, Juan 1:1, que le dio nombre a la pieza, en el cual se lee: “En el principio era el Verbo, y el Verbo era con Dios, y el Verbo era Dios” (Juan 1:1, Reina-Valera Revisada 1960). Las representaciones visuales de las ondas sonoras al pronunciar cada palabra fueron utilizadas por el autor para dibujar una serie de mapas digitales similares a islas vistas desde arriba. La idea primordial del proyecto fue generar representaciones visuales de espacios y territorios a partir del sonido de la voz.

Esta experiencia fue la que motivó al autor a buscar otras maneras de representar la voz con medios electrónicos y computacionales para producir cambios en el entorno del espectador

en tiempo real a partir del sonido de su propia voz. Es por este motivo que la voz se sitúa como el elemento común y central de los sistemas planteados en la propuesta de producción de este proyecto; la voz es el elemento sonoro presente en los tres sistemas, y en cada uno de ellos encuentra su representación visual, ya sea por medio de variaciones de luz, o del movimiento ocasionado por la vibración o por el flujo de aire. Las capas de la realidad que entran en contacto en estos sistemas conciernen a los entornos sonoro y visual, y junto con ellas también se presentan las dualidades de lo visible y lo invisible; de lo abstracto del lenguaje y lo concreto de su representación visual; de la vibración, el aliento y la energía al interior del espectador, y los efectos en el espacio.

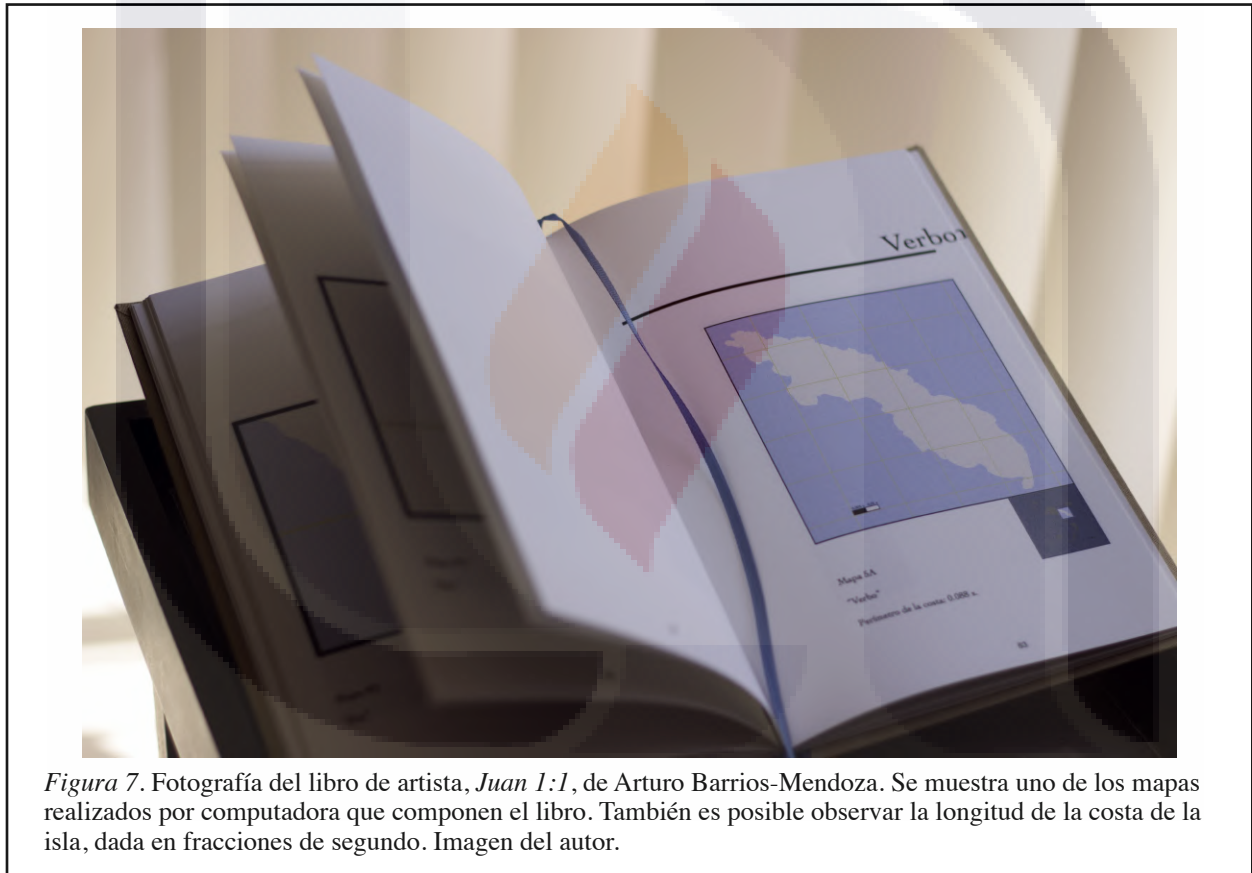


Figura 7. Fotografía del libro de artista, *Juan 1:1*, de Arturo Barrios-Mendoza. Se muestra uno de los mapas realizados por computadora que componen el libro. También es posible observar la longitud de la costa de la isla, dada en fracciones de segundo. Imagen del autor.

3.2.1 Voz

La voz humana puede analizarse desde dos perspectivas principales; por un lado, como un fenómeno sonoro y, por otro lado, como una “poderosa metáfora” (Weidman, 2015, párr. 1).

Metafóricamente, la voz se relaciona con la individualidad, la autoría, la voluntad y el poder (Weidman, 2015), aunque sus cualidades físicas en tanto sonido también comunican, además del discurso que elabora la persona que habla, elementos como su sexo, identidad, edad y estado emocional (Owren, 2011; Pisanski, Raine, y Reby, 2020).

Desde el siglo XVIII, relató Chen (2016), la voz era un tema importante dentro de la ciencia y la tecnología, con el ejemplo del trabajo de figuras como Leonhard Euler, sin embargo, Chen (2016) señaló otra conexión más reciente entre la voz y la tecnología; se trata de la invención del teléfono, en 1874, y del fonógrafo, en 1877, además de los avances en la computación en la década de 1940. Lara (2016) identificó la telefonía y las telecomunicaciones como el terreno en el que se originó la transducción, por lo que ahora es posible contemplar un escenario en el que las tecnologías de transducción han estado relacionadas, desde su nacimiento, con la voz humana y con la necesidad de romper con los límites espaciales y temporales de ésta, en tanto fenómeno sonoro.

Tanto en la pieza *Juan 1:1* como en los actuales sistemas, se consideró, en cuanto a la voz, su capacidad comunicativa y la materialidad de su sonido, de modo similar al *Verbo* en el versículo de Juan 1:1; en ocasiones, *Verbo* también es traducido como *Palabra* aunque, en todo caso, en ambas traducciones puede relacionarse con el *Logos* (λογος), que se refiere a la palabra hablada y comprende tanto su significado como su sonido (Gaebelein en Marbaniang, 1998). A diferencia de mitologías como la egipcia, en donde el poder creador era conferido al sentido de la vista, en la tradición judeocristiana el Logos posee la capacidad creadora al nombrar los objetos (Gubern, 1987).

Un ejemplo del alcance de esta perspectiva se observa en el libro *Especies de espacios*, de Georges Perec (2001), en donde el escritor le concedió al lenguaje, al Logos, la capacidad de crear espacios, aunque se enfocó en la palabra escrita más que en la palabra hablada: “Así comienza el espacio, solamente con palabras, con signos trazados sobre la página blanca” (p. 33). Esta frase de Perec así como el versículo de Juan 1:1 y la *proposición* de Wittgenstein (1922), “los límites de mi lenguaje [cursivas removidas] significan los límites de mi mundo” (p. 74), fueron importantes fuentes de inspiración para la realización del libro de artista *Juan 1:1* y para los presentes sistemas interactivos; el autor conectó el poder conferido al lenguaje y a la palabra

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

sobre el espacio, el territorio y el mundo en estas frases, con las fronteras políticas entre países, así como con la manera en la que la acción de nombrar un territorio impone una barrera que, en ocasiones, no obedece a las divisiones geográficas o culturales preexistentes, sino a convenciones que ignoran las necesidades y los deseos de las personas, la flora y la fauna que circulan entre los nuevos territorios; “Vivir es pasar de un espacio a otro haciendo lo posible para no golpearse” (Perec, 2001, p. 25).

La palabra hablada, la voz, se planteó, en el libro de artista *Juan 1:1* y en los sistemas interactivos que conforman la sección práctica de este proyecto, como creadora de espacios, como un sonido con la capacidad de mover objetos, iluminar una sala; de representar un cambio que el espectador puede constatar por medio de la vista, incluso también por medio del tacto.

3.2.2 Vibración y cimática

La vibración se puede definir como “el movimiento periódico de ida y vuelta de las partículas de un cuerpo elástico o medio” (Enciclopedia Británica, 2020b, párr. 1). Este movimiento normalmente es el resultado de la alteración de la condición de equilibrio de un sistema físico y de las fuerzas que actúan sobre él para restaurar dicha condición de equilibrio (Enciclopedia Británica, 2020b).

El sonido está acompañado por la vibración, por el movimiento de distintos elementos (Science World, s.f.a; s.f.b). En ocasiones es posible observar los movimientos relacionados con la producción de sonidos, como ocurre con el *eidofono*, un instrumento inventado por Margaret Watts Hughes a finales del siglo XIX (Lega, 2013), o con un experimento del museo Exploratorium, que consiste en un *visualizador vocal* casero (Exploratorium, s.f.).

El invento de Margaret Watts Hughes, similar en apariencia a una pipa o a un saxofón, cuenta con una caja de resonancia, sobre la cual se coloca una membrana, en la que después de depositar arena, polvo o semillas, es posible observar la formación de distintas figuras al hablar, cantar o simplemente vocalizar en el instrumento (Lega, 2013). Por otro lado, el visualizador vocal del museo Exploratorium, diseñado para ser replicado por niños³⁷ con materiales como

³⁷ Las instrucciones para construir este instrumento están disponibles en el sitio web: <https://www.exploratorium.edu/snacks/vocal-visualizer?media=6128>

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

tubos de PVC, un globo, un láser y un pequeño espejo de plástico, forma *figuras de Lissajous*³⁸ a través de la vibración de un espejo que refleja la luz de un láser, que se mueven y deforman a medida que el usuario realiza diferentes modulaciones en su voz (Exploratorium, s.f.).

La vibración generada por transductores como los altavoces también se ha utilizado en obras de arte para generar estímulos visuales, como sucede en la pieza del artista mexicano Manuel Rocha Iturbide, *Ping-Roll* (1997), en donde un conjunto de altavoces colocados debajo de una mesa de aluminio ocasionaban que un conjunto de pelotas de ping pong saltaran y se desplazaran por la mesa (Código, 2014) para establecer, así, un vínculo entre lo sonoro y lo visual, entre el sonido y el movimiento.

El movimiento y los patrones formados en la membrana del eidofono de Margaret Watts Hughes también poseen su nombre particular; a finales del siglo XVIII y principios del XIX, el científico alemán, Ernst Chladni, observó “el fenómeno de formación nodal que se genera sobre la superficie de planchas mediante procesos sonoros” (Lega, 2013, p. 22). Al someter una placa con arena o polvo a una vibración, aparecen patrones formados por las partículas colocadas sobre la placa, aunque las figuras también aparecen en líquidos. Estos patrones se conocen como *figuras de Chladni* (Lega, 2013; Shanken, 2009). Posteriormente, en la década de 1960, el científico, médico y artista suizo, Hans Jenny, continuó con los estudios de visualización de vibraciones y acuñó el término *cimática* (Jenny, 1969; Lega, 2013; Shanken, 2009); “el nombre ‘cimática’ fue escogido para este campo de estudio (*kyma*, del griego para onda, *kymatica*, en relación con las ondas)” (Jenny, 1969, p. 8), en otras palabras, la cimática “es la rama que estudia los efectos visibles del sonido y la vibración” (Munoth, Kumar, Vishal, Pavithra, y Srinivasan, 2019, p. 216).

Para Jenny, la vibración también parecía estar relacionada con las condiciones para la existencia no solamente de la vida, sino también del resto del universo: “A través del mundo viviente y no-viviente encontramos patrones de ritmos recurrentes y sistemas periódicos en los cuales todo existe en un estado de vibración, oscilación y pulsación continua” (The UNESCO Courier, 1969, p. 5).

³⁸ “La figura de Lissajous, también llamada *Curva Bowditch*, es un patrón producido por la intersección de dos curvas sinusoides, cuyos ejes se encuentran en ángulos rectos uno del otro” (Enciclopedia Británica, 2009, párr. 1).

La vibración acompaña al sonido, la voz surge como consecuencia de la vibración de las cuerdas vocales con el aire de los pulmones, no obstante, por medio de la vibración también es posible dar cuenta de un fenómeno sonoro de manera visual; la voz de una persona, con ayuda de cajas de resonancia y membranas elásticas, o con la mediación de herramientas electrónicas y computacionales, puede inducir un movimiento y la formación de figuras geométricas en arena, agua, semillas y otros materiales.

En el sistema 1, utilizar la voz del usuario para hacer vibrar tierra, arena o agua también se relaciona con la manera en la que el lenguaje afecta la percepción del espacio y del territorio, pues las formas asociadas a distintos continentes y países son el resultado de la interacción entre la tierra y el agua, y de los dibujos delineados por los relieves del terreno, mientras que otra porción de los límites de estas formas está dada por las fronteras políticas entre países. La vibración generada en la arena y en el agua a partir de la voz del espectador modifica los relieves en estos materiales; genera huellas, patrones y formas distintas.

3.2.3 Luz

La luz se ha utilizado con el propósito de evidenciar procesos que ocurren al interior del cuerpo del espectador, como ocurre en las instalaciones *Almacén de corazonadas* (2006), de Rafael Lozano-Hemmer, y *Biolesce*, de Tyler Fox, ambas descritas con mayor detalle en el capítulo anterior. En este trabajo, la luz y el movimiento, causado por la vibración o por un flujo de aire, son utilizados para evidenciar algo imperceptible; para hacer visible el poder de las palabras sobre el espacio. Esta intención corresponde al sexto aspecto de los procesos de transducción, en donde se afirmó que estos son implementados con el objetivo de evidenciar algo que, de otra manera, sería difícil o incluso imposible advertir.

La luz, también mantiene una relación con la condición para la vida, como explicó Gubern (1987), “en el Génesis, Jehová inicia su obra de Creación con la luz, condición necesaria de toda vida. En este mito primigenio la luz hace posible la visión, que viene a ser requisito previo de la vida” (p. 3). En un ámbito espiritual, la luz simboliza la presencia de Dios, la salvación y la revelación, mientras que para los griegos la luz estaba relacionada con la vida y

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

con la felicidad, así como con el bienestar (Marbaniang, 1998). La luz no sólo es la única forma de radiación visible para los humanos, sino que también es gracias a ella que las personas tienen la capacidad de ver y es, además, verdaderamente crucial para la vida en la Tierra (Dziak, 2019).

La luz proporciona un modo contundente de evidenciar algo; de alumbrarlo, iluminarlo. Una luz brillante, incluso si parpadea, será un elemento fácilmente distinguible por la mayoría de los visitantes en una sala de exposición oscura; su actividad puede ser advertida de manera más rápida y directa que un olor o un sonido. Probablemente la pieza de Lozano-Hemmer, *Almacén de corazonadas* por ejemplo, sería confusa para el espectador si éste únicamente escuchara sus latidos y los de los otros visitantes, sin su respectiva representación visual con la luz de los focos. Otro ejemplo involucra los electrodomésticos, que implementan distintas fuentes de luz, en ocasiones de baja potencia, para indicar que están encendidos o apagados; incluso los teclados de algunas computadoras encienden testigos luminosos cuando algunas funciones o teclas se activan. Los mismos tableros de *Arduino* utilizados en este proyecto encienden pequeñas luces cuando se conectan o cuando reciben datos de un sensor o de la computadora.

3.2.4 Viento

Es posible definir el viento como “el movimiento horizontal de aire que resulta de las diferencias en la presión atmosférica y las densidades del aire” (Cross, 2019, párr. 1), por lo que es más adecuado referirse a este elemento en los sistemas como *flujo de aire*, sin embargo, se optó por la palabra *viento*, debido a que lo que se presenta en el sistema 3 no es, simbólicamente, un mero flujo de aire, sino que implica algo más; se refiere tanto al viento como al aliento.

Derivado de *Juan 1:1*, la voz, la luz y el viento poseen, en estos sistemas, un carácter espiritual relacionado con la creación; en el libro de los Salmos, la Palabra y el Aliento de Dios poseen, ambos, la capacidad creadora, de modo similar al libro del Génesis, en donde después de modelar al hombre con arcilla, Dios sopló para darle vida (Hernández, 2017). Resulta natural pensarlo de este modo, puesto que la voz viene acompañada del aliento de quien habla, aunque en la Biblia el Aliento de Dios es distinto al aliento de los seres vivos, puesto que en él, explicó Hernández (2017), se encuentra el Espíritu Santo.

Con el flujo de aire como viento en el sistema 3, se pretende reafirmar la fuerza de la voz, es decir, del lenguaje y de la palabra hablada. Se representa el aliento del espectador como viento y, por lo tanto, como movimiento, como una fuerza que, nuevamente, posee la capacidad de alterar su entorno; es importante recordar que el viento fue, antes de las máquinas de vapor y de los motores de combustión interna, una de las grandes fuerzas que ayudó a la humanidad a desplazarse a través del mundo (Cross, 2019). Fue con la fuerza del viento que los navegantes europeos llegaron a América.

3.3 Esquemas, planeación y materiales

El primer paso para la elaboración de estos sistemas interactivos fue proponer una manera en la que pudieran operar y seleccionar un conjunto de materiales y herramientas, como programas de computadora y componentes electrónicos, que pudieran servir para hacer funcionar los sistemas como se concibieron originalmente.

Después de concebir estos fundamentos, se elaboró una carpeta para solicitar apoyo del Centro Multimedia, en el Centro Nacional de las Artes, en el marco de su Plan de Asesorías Abiertas³⁹. Estas asesorías fueron decisivas para el desarrollo de este proyecto, pues fue con esta orientación que se logró realizar modificaciones importantes en los primeros esquemas del funcionamiento de los sistemas, así como construir una interfaz electrónica para controlar dispositivos de una tensión de alimentación mayor a 5V.

El autor tomó dos asesorías en el Centro Multimedia: la primera asesoría estuvo conformada por dos visitas, que tuvieron lugar los días 7 y 26 de agosto del 2019 (ver anexo A2 y A6). En estas sesiones se trabajó con el ingeniero y músico, Alan Rabchinsky, jefe del laboratorio de audio del Centro Multimedia, en preparación de los materiales para el sistema 1 y en la representación numérica de sonidos en el programa *SuperCollider*.

La segunda asesoría se realizó los días 22, 25, 29 y 31 del mes de octubre y 4, 5 y 6 del mes de noviembre del 2019 (ver anexo A12-A18). En la segunda asesoría se trabajó con los ingenieros Juan Galindo, jefe del laboratorio de robótica e interfaces electrónicas del Centro

³⁹ El formulario para la solicitud de estas asesorías está disponible en el sitio web de Centro Multimedia, en la página: <http://cmm.cenart.gob.mx/fichaasesoria.html>

Multimedia, y Abraham Sánchez en el diseño y en la construcción de la interfaz electrónica, así como en la codificación de *Arduino* para los sistemas 2 y 3.

3.3.1 Las herramientas digitales: SuperCollider, Pure Data, Arduino y Raspberry Pi

Durante la planeación y la primera fase de la construcción de los sistemas interactivos se consideró utilizar *Arduino*, en combinación con *SuperCollider*, para hacer funcionar los sistemas interactivos-transductivos aunque, finalmente, el uso de *SuperCollider* fue descartado y en su lugar se utilizó *Pure Data*. Estos tres programas fueron utilizados por el autor en una etapa previa a la planeación de los sistemas interactivos, lo que también fue importante en la elección de estas herramientas, además de que estas tecnologías son de uso libre.

Arduino es una plataforma de cómputo físico y código abierto que consiste en tableros, es decir, el circuito físico, y en un entorno de desarrollo integrado, desde donde se realiza la programación (Banzi, 2011). La principal ventaja de esta plataforma, al ser de código abierto, es la facilidad para conseguir o construir los tableros de *Arduino*, pues es posible construir uno de estos tableros “sin pagar nada a los creadores de *Arduino*” (Banzi, 2011, p. 1), o comprar uno ensamblado y listo para usarse de los distintos proveedores que elaboran estas placas a un precio accesible. Durante la construcción y las pruebas de este proyecto se utilizaron tres tableros distintos (Figura 8); el *Arduino Nano*, que es el más pequeño de los tres; el *Arduino Uno*, que es uno de los tableros más populares y es de un tamaño mediano; y el *Arduino Mega 2560*, un poco más grande que el anterior.

La facilidad de uso de *Arduino* y la amplia variedad de sensores y aplicaciones compatibles con esta plataforma los han convertido en una herramienta versátil para los artistas que implementan medios electrónicos y computacionales en su obra, no solamente dentro de las artes visuales, sino también en la música, en donde los otros programas utilizados en este proyecto también cuentan con una gran popularidad y, además, es posible emplearlos en conjunto; existen distintas formas de comunicar *Arduino*, *Pure Data* y *SuperCollider* entre sí.

Debido a la necesidad de trabajar con la voz humana, que es un sonido, *SuperCollider* y *Pure Data* se presentaron como opciones adecuadas; *SuperCollider*, un ambiente de

programación (Bañuelos, s.f.) desarrollado en 1996 por James McCartney, se define como “una plataforma para síntesis de audio y composición algorítmica, utilizada por músicos, artistas, e investigadores que trabajan con sonido. Es un software gratuito y de código abierto” (SuperCollider, s.f., párr. 1).

En *SuperCollider* se trabaja con líneas de código, a diferencia de *Pure Data*, que consiste en un lenguaje de programación visual, también de código abierto, desarrollado por Miller Puckette (*Pure Data*, s.f.). Gracias a su interfaz visual, *Pure Data* puede resultar más amigable con el usuario y más fácil de utilizar que otras plataformas.

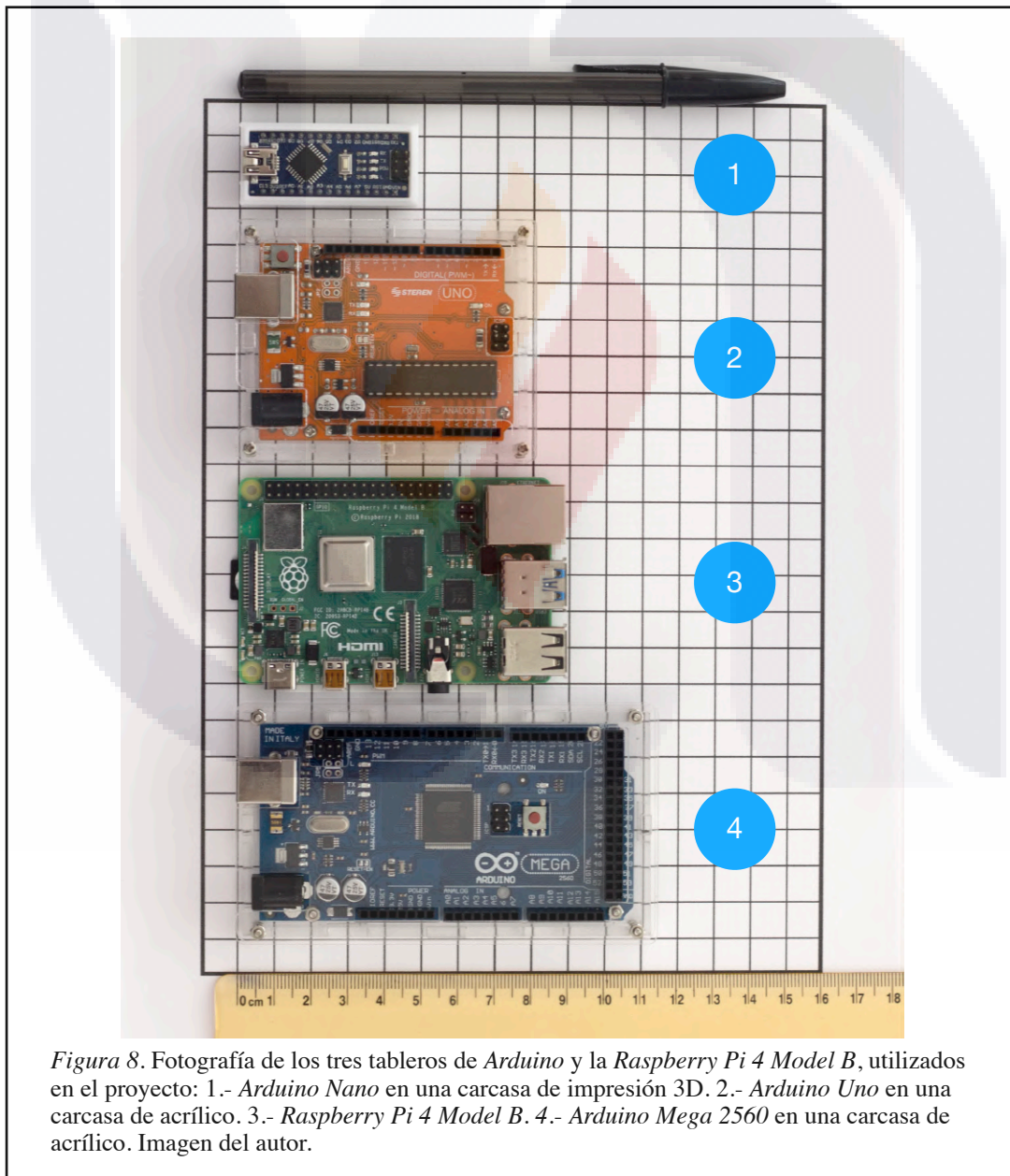


Figura 8. Fotografía de los tres tableros de Arduino y la Raspberry Pi 4 Model B, utilizados en el proyecto: 1.- Arduino Nano en una carcasa de impresión 3D. 2.- Arduino Uno en una carcasa de acrílico. 3.- Raspberry Pi 4 Model B. 4.- Arduino Mega 2560 en una carcasa de acrílico. Imagen del autor.

Otra característica importante, tanto de *Arduino* como de *SuperCollider* y *Pure Data*, es que los tres cuentan con una comunidad que continuamente apoya en la resolución de dudas y problemas, y que aporta nuevas posibilidades en el uso de estas plataformas, además de que es posible encontrar distintos manuales y materiales de ayuda, tanto de forma gratuita como en otras opciones con costos contenidos.

En el sistema 1 se implementó otro dispositivo que no debe ser confundido con los tableros *Arduino*. Se trata de la *Raspberry Pi* en su variante *4 Model B*. Esta placa es de dimensiones similares a las de algunos tableros *Arduino*, un poco más grande que el *Arduino Uno* pero un poco más pequeña que el *Arduino Mega 2560*, aunque ésta es una computadora completamente funcional a la cual únicamente es necesario cargarle el sistema operativo⁴⁰, conectarle un monitor, un teclado y un ratón, para comenzar a usarla como una computadora de escritorio, aunque las posibles aplicaciones de las computadoras *Raspberry Pi* las convierten en una herramienta muy versátil, pues pueden utilizarse como una computadora de escritorio para realizar tareas como revisar el correo electrónico y generar archivos de texto, como una plataforma para programar, o como un controlador portátil para una gran variedad de sistemas, como se le utilizó en este trabajo.

Debido a sus dimensiones reducidas así como a su costo contenido, en comparación con otras computadoras en el mercado, los equipos de *Raspberry Pi* son una opción atractiva para el desarrollo de piezas interactivas que deben permanecer en un espacio de exposición por un periodo de tiempo prolongado, en donde se enfrentan a tratos extremos y en donde también pueden sufrir daños a los que normalmente no se desea exponer a otros tipos de computadoras, cuyas reparaciones o eventual sustitución pueden representar un mayor desembolso para el artista.

Las dimensiones de estos equipos también pueden cambiar si se les añade un dispositivo de enfriamiento pasivo o activo. Es necesario prestar atención al enfriamiento de estos equipos debido a que, al igual que otros dispositivos electrónicos, como cualquier computadora personal, pueden alcanzar temperaturas elevadas, lo cual podría afectar su desempeño o su vida útil;

⁴⁰ Un elemento de distribución gratuita “basado en Debian [y] optimizado para el hardware de Raspberry Pi” (Raspbian, s.f.) llamado *Raspbian*.

afortunadamente existen muchas alternativas para evitar este problema.

3.3.2 Primera asesoría en el Centro Multimedia

Inicialmente se consideró que en los tres sistemas se implementaría un tablero de *Arduino*, conectado a la computadora y al dispositivo que haría funcionar cada sistema, como se muestra en la evidencia de la primera sesión de trabajo (ver anexo A1), aunque en la primera asesoría en el Centro Multimedia (ver anexo A2), con la orientación de Alan Rabchinsky, se modificaron los esquemas de los sistemas y los principios bajo los cuales se concibieron sus funcionamientos; se determinó que en el sistema 1, de voz y vibración, no era necesario utilizar *Arduino*, pues el transductor táctil funciona si se le conecta a un amplificador y éste, a su vez, se conecta a la salida de audio de la computadora, sin embargo, era importante escalar los datos obtenidos a partir de la voz para enviar al transductor táctil frecuencias más bajas, con las que se podría apreciar de manera más clara su efecto en la arena o en el agua.

En el sistema 1 únicamente era necesario utilizar un programa de audio para obtener datos a partir del sonido de la voz, escalar estos datos y convertirlos de nuevo en una señal de audio. En consecuencia, durante las siguientes sesiones de trabajo se buscó una manera de realizar esto; los esfuerzos se concentraron en lograr esto en *SuperCollider* y no en *Pure Data*. También se decidió que este proceso de *datificación* se realizaría a través del rastreo de la frecuencia de la voz. A esta tarea de obtener información estadística o de otro tipo a partir del análisis de señales de audio con el propósito de representar algunas de sus cualidades se le puede llamar *machine listening* (Koutsomichalis, 2013).

La complejidad de los algoritmos en el *machine listening* puede ser cada vez más elaborada, hasta el punto de identificar características cada vez más complicadas de los sonidos, aunque en el escenario de este proyecto se determinó que únicamente se rastrearía la frecuencia y la amplitud de la voz; así, la vibración del transductor táctil, el brillo en los LEDs, y la velocidad con la que gira el motor y su respectiva hélice, responderían a las variaciones en la frecuencia de la voz del espectador, es decir, a qué tan grave o agudo hable, así como al volumen de su voz.

En *SuperCollider*, los rastreadores de frecuencia que se probaron fueron *Tartini* y *Pitch*,

ambos descritos con mayor detalle por Koutsomichalis (2013), quien mencionó que Tartini es más avanzado que Pitch, aunque para utilizarlo es necesario descargar una extensión adicional de *SuperCollider*⁴¹. Otra ventaja de *Pitch* sobre *Tartini* es que permite establecer valores mínimos y máximos para la detección de frecuencia, lo que sirve como un primer filtro para recibir únicamente un rango de frecuencias cercano al de la voz humana.

La primera asesoría en el Centro Multimedia fue de gran importancia para tomar decisiones sobre el funcionamiento de los sistemas y también para explorar algunas posibilidades para la representación numérica del sonido de la voz. Al término de la primera asesoría se consiguió un amplificador de 900 vatios para hacer funcionar el sistema 1. También se logró enviar datos desde *SuperCollider* a *Arduino*, con lo que se construyeron dos maquetas con los 5V de alimentación que ofrece *Arduino* (ver anexo A7 y A8).

3.4 Construcción

Debido a la facilidad de armado y al bajo riesgo que representan, a lo largo del proceso de construcción se trabajó con maquetas de 5V para probar algunas mejoras y variaciones en los programas utilizados, incluso cuando ya se tenían maquetas que funcionaban bien con 12V, aunque esto sólo se refiere a los sistemas 2 y 3, que son los únicos en los que fue necesario construir circuitos electrónicos y probar distintas conexiones, componentes y códigos de *Arduino*, dado que el sistema 1 únicamente requirió trabajar con audio y no con variaciones de voltaje. Es por esta razón que a menudo las sesiones de trabajo se enfocaron, o en el sistema 1 de manera individual, o en los sistemas 2 y 3, pues los últimos poseen un funcionamiento similar entre sí, que difiere del primero.

3.4.1 Maquetas de 5V y modulación por ancho de pulsos (PWM) para los sistemas 2 y 3

Para explicar apropiadamente el funcionamiento de los sistemas 2 y 3 es necesario recordar brevemente la diferencia principal entre una señal análoga y una señal digital; las señales

⁴¹ Koutsomichalis (2013) ofreció el siguiente enlace, desde el cual es posible descargar el material mencionado: <http://sc3-plugins.sourceforge.net/>

analogas son continuas y poseen un rango infinito, mientras que el rango de las señales digitales es limitado, con valores discretos, y contienen menos información, además de que su estado solamente puede ser de *encendido* o *apagado* (Campbell, 2019; Mazzei, 2019).

Arduino, un dispositivo digital, es capaz de leer señales análogas conectadas a sus entradas o *pines* análogos, que comienzan con una letra *A*, a través de un convertidor *análogo-a-digital*, o *ADC*, que lleva instalado de fábrica. Es así como puede presentar valores numéricos a partir de distintos voltajes, no obstante, *Arduino* no posee la contraparte, es decir, un convertidor de *digital-a-análogo*, o *DAC* (Youngblood, 2015). Para compensar esto, *Arduino* utiliza una técnica llamada *modulación por ancho de pulsos*, abreviada como *PWM* por sus siglas del inglés: *pulse-width modulation*.

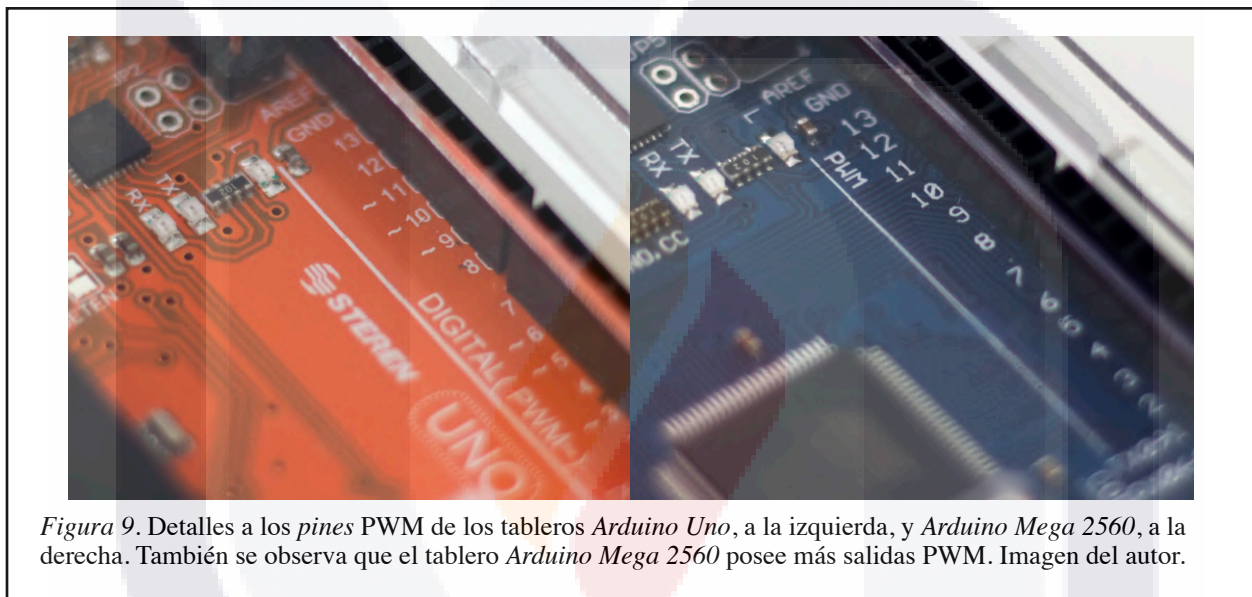
La modulación por ancho de pulsos consiste en una señal digital que aparenta ser una señal análoga al ofrecer distintas intensidades y no únicamente un encendido o un apagado total. Esto se logra al cambiar rápidamente entre los valores de encendido y apagado, lo que resulta en una apariencia más débil o más intensa en la señal. De este modo, es posible modular el brillo de un LED, por ejemplo, o la velocidad con la que gira un motor (Banzi, 2011; Edstrom, 2016).

Arduino puede emitir esta simulación de una señal análoga a través de determinados *pines* que, en el caso del tablero *Arduino UNO*, están señalados con una *tilde* o *virgulilla* al costado del número de cada *pin*, mientras que en tableros como *Arduino Mega 2560*, se indican con una línea que parte de las letras *PWM*, como se muestra en la siguiente figura (Figura 9). Tableros más pequeños, como *Arduino Nano* no indican cuáles *pines* poseen estas salidas, pero esta información se puede consultar en internet.

La modulación por ancho de pulsos se asumió como un elemento central del funcionamiento de los sistemas 2 y 3 desde la construcción de las primeras maquetas, que tuvieron como objetivo controlar, con los 5V de salida que proporciona *Arduino* y por medio de la frecuencia de la voz, un LED de 5mm, de modo que a frecuencias más bajas correspondiera una luz tenue y a las frecuencias altas una luz intensa.

Las primeras maquetas de 5V se construyeron en las sesiones de trabajo 7 y 8 (ver anexo A7 y A8), que tuvieron lugar después de la primera asesoría con Alan Rabchinsky en el Centro Multimedia, en donde se logró obtener representaciones numéricas a partir de la frecuencia del

sonido de la voz en *SuperCollider*. Para establecer una comunicación entre *Arduino* y *SuperCollider* fue necesario utilizar la clase *SendTrig* en *SuperCollider*, como lo mostró Romero (2011). Con esta propuesta para enviar datos de *SuperCollider* a *Arduino* fue posible observar cambios en el brillo del LED de 5mm cuando se le hablaba al micrófono de la computadora. También fue posible observar la correspondencia entre las variaciones en el brillo del LED y los sonidos producidos por medio de la voz. Posteriormente se configuró un micrófono USB unidireccional con *SuperCollider*, de modo que los otros sonidos del ambiente no interfirieran en la respuesta del LED (ver anexo A10).



La *frecuencia fundamental* de la voz humana al hablar puede ir desde 85 Hz en su valor más bajo, correspondiente a la voz de los hombres, hasta 255 Hz, como el valor más alto en la voz de las mujeres (Jung, Scwarbacher, y Lawlor en Madavan y Suddala, 2015), por lo que en estas maquetas se fijó un rango de detección de entre 80 Hz y 350 Hz, con el que responderían adecuadamente ante un poco de juego por parte del espectador, aunque tendrían dificultades si el usuario decidiera cantar o gritar, pues fácilmente alcanzaría frecuencias superiores a los 350 Hz establecidos como límite superior.

En esta etapa se construyeron dos maquetas muy similares entre sí (Figuras 10 y 11), con la única diferencia que en una de ellas se incluyó un botón para apagar por completo el LED. A pesar de que la detección de frecuencia con *Pitch* en *SuperCollider* funcionó, al igual que la comunicación entre éste y *Arduino*, se localizaron tres problemas que era preciso resolver para

que los sistemas operaran de una manera más apegada a lo que se esperaba. Fue así como se solicitó de nuevo otra asesoría por parte del Centro Multimedia, bajo la premisa de solucionar estos problemas, presentados en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2

Problemas en los sistemas 2 y 3 por resolver durante la segunda asesoría en el Centro Multimedia

Problema	Solución
El LED no se apaga cuando el espectador deja de hablarle al micrófono	Restablecer el valor enviado por la detección de frecuencia a 0 cuando se le deje de hablar al micrófono
El sistema responde a los sonidos de la sala, incluso cuando no se interactúa directamente con él	Colocar un sensor para que el sistema responda únicamente con la presencia del espectador
La potencia del LED utilizado es muy baja y no provoca un gran impacto visual	Utilizar dispositivos de mayor voltaje en los sistemas

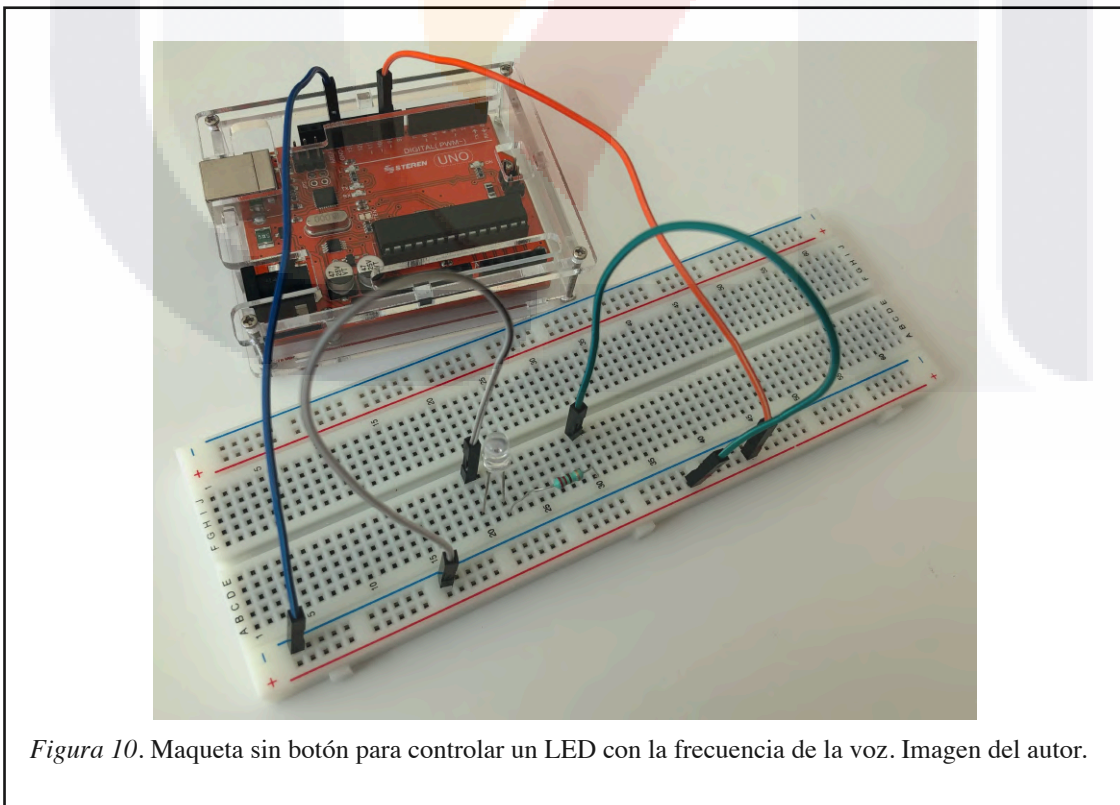


Figura 10. Maqueta sin botón para controlar un LED con la frecuencia de la voz. Imagen del autor.

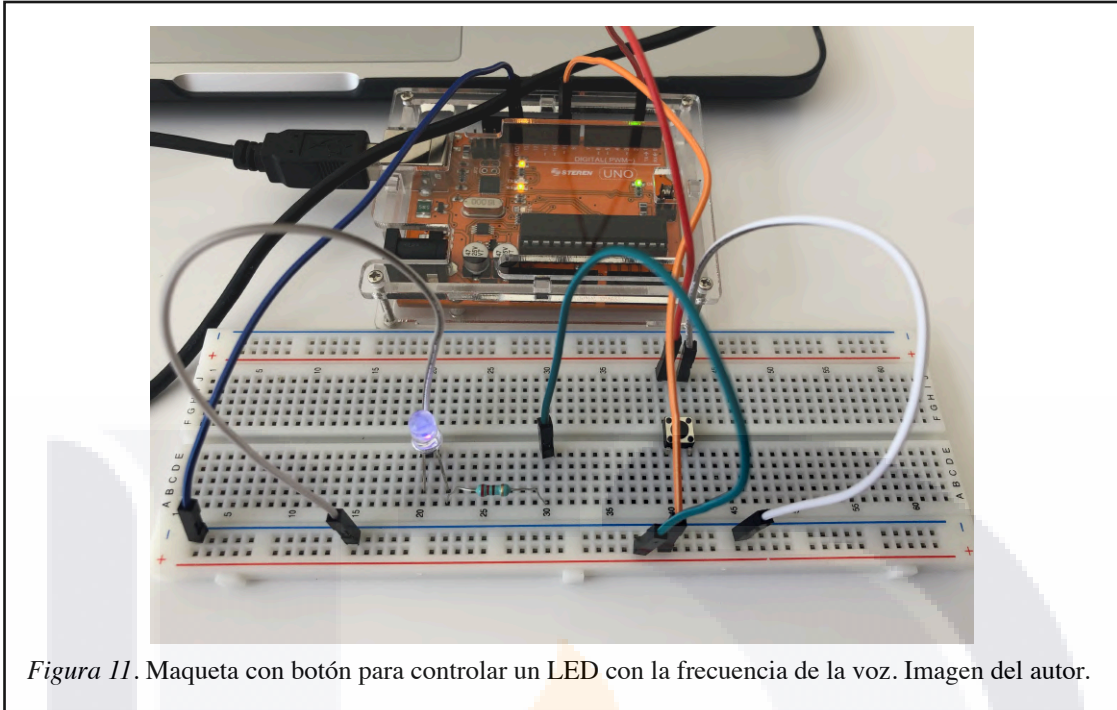


Figura 11. Maqueta con botón para controlar un LED con la frecuencia de la voz. Imagen del autor.

3.4.2 Segunda asesoría en el Centro Multimedia, interfaz electrónica, y maquetas de 12V

Con el propósito de obtener apoyo y orientación en la resolución de los tres problemas presentados en la tabla anterior (Tabla 2), se solicitó de nuevo la asesoría del Centro Multimedia, del Centro Nacional de las Artes. Dadas las nuevas necesidades, relacionadas con el control de dispositivos de mayor voltaje, en esta ocasión se trabajó en el laboratorio de robótica e interfaces electrónicas en lugar del laboratorio de audio. El ingeniero Juan Galindo está a cargo de este laboratorio, en donde también trabaja el ingeniero Abraham Sánchez.

Las sesiones, siete en total, se llevaron a cabo los días 22, 25, 29 y 31 del mes de octubre y 4, 5 y 6 del mes de noviembre del 2019. En ellas, las propuestas de solución para los tres problemas fueron guiadas por el ingeniero Juan Galindo, mientras que el ingeniero Abraham Sánchez apoyó la realización de otras tareas y también brindó su opinión en distintos detalles del trabajo. La propuesta del ingeniero Juan Galindo para resolver los problemas de los sistemas interactivos-transductivos 2 y 3 fue diseñar y construir una interfaz electrónica que funcionara en conjunto con *Arduino*.

La interfaz planteada tendría dos características principales: (a) tendría la capacidad de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

hacer funcionar los sistemas 2 y 3 al mismo tiempo, es decir, generar un flujo de aire y también luz, o cada uno por separado, y (b) no implementaría el rastreo de frecuencia, como se propuso originalmente y como ocurría en las maquetas de 5V, sino que utilizaría un micrófono *electret* para enviar una señal análoga pre-amplificada a Arduino. Otra ventaja al prescindir del rastreo de frecuencia y utilizar únicamente *Arduino* y la interfaz electrónica es la reducción en las dimensiones del sistema, pues lo vuelve más portátil, ya que no es necesario añadir una computadora, incluso si se tratara de una variante de proporciones reducidas, como los productos de *Raspberry Pi*. Para explotar aún más esta posibilidad se consideró la opción de diseñar la interfaz como un *shield* de *Arduino*, que es una interfaz o una tarjeta que amplía las cualidades de un tablero *Arduino* y se coloca de una manera muy sencilla, conectándose directamente a la placa, de modo que sus conexiones coincidan con los *pines* en la placa de *Arduino*. Finalmente se desechó esta opción debido al tamaño de algunos de los componentes que se montarían en la interfaz.

Otra decisión que se tomó desde el inicio de la asesoría fue sobre la alimentación de los sistemas 2 y 3, que se proporcionaría con 12V de corriente continua. Asimismo, se determinó que el funcionamiento de la interfaz podría dividirse en cuatro fases⁴²: (1) detección de la presencia del espectador para activar el sistema, (2) recepción de la señal de audio, (3) recepción de la señal de control de *Arduino*, mediante *modulación por ancho de pulsos* o *PWM*, y (4) amplificación de la señal enviada por *Arduino* a la interfaz.

El primer tema atendido durante la segunda asesoría fue el de los materiales necesarios para el funcionamiento de los sistemas 2 y 3. En la siguiente lista (Tabla 3) se presentan los materiales necesarios para la construcción de la interfaz electrónica, después de descartar algunos de los elementos propuestos inicialmente. Otros componentes que no aparecen en la lista y que completaron los sistemas fueron: el micrófono condensador *electret*, que sustituyó al micrófono unidireccional USB; un sensor ultrasónico, cuya función fue detectar la presencia del espectador, de modo que el sistema reaccionara únicamente si alguien se colocaba frente a él; cuatro LEDs de luz blanca de 10W; y un motor de 12V de corriente continua tipo Braun. Se optó

⁴² Adicionalmente se realiza un mapeo de los valores de la señal de audio, aunque esta fase es realizada por *Arduino*, no por la interfaz. Por este motivo no se consideró dentro de estas fases.

por utilizar los LEDs de 10W porque ofrecían la posibilidad de operar con variaciones de intensidad, lo cual era más difícil de lograr con otro tipo de LEDs. También se decidió utilizar cuatro y no solamente uno, con el propósito de obtener una luz más potente y llamativa. Por otra parte, el uso del motor en conjunto con una hélice impresa en 3D se tomó como alternativa al uso de una sopladora de aire o de un ventilador de computadora, debido a que la primera es muy ruidosa e interferiría con el sonido de la voz del espectador, y el segundo únicamente puede operar en dos estados, encendido y apagado; no es posible controlar su intensidad de giro, a diferencia de la velocidad de un motor de corriente continua mediante la modulación por ancho de pulsos.

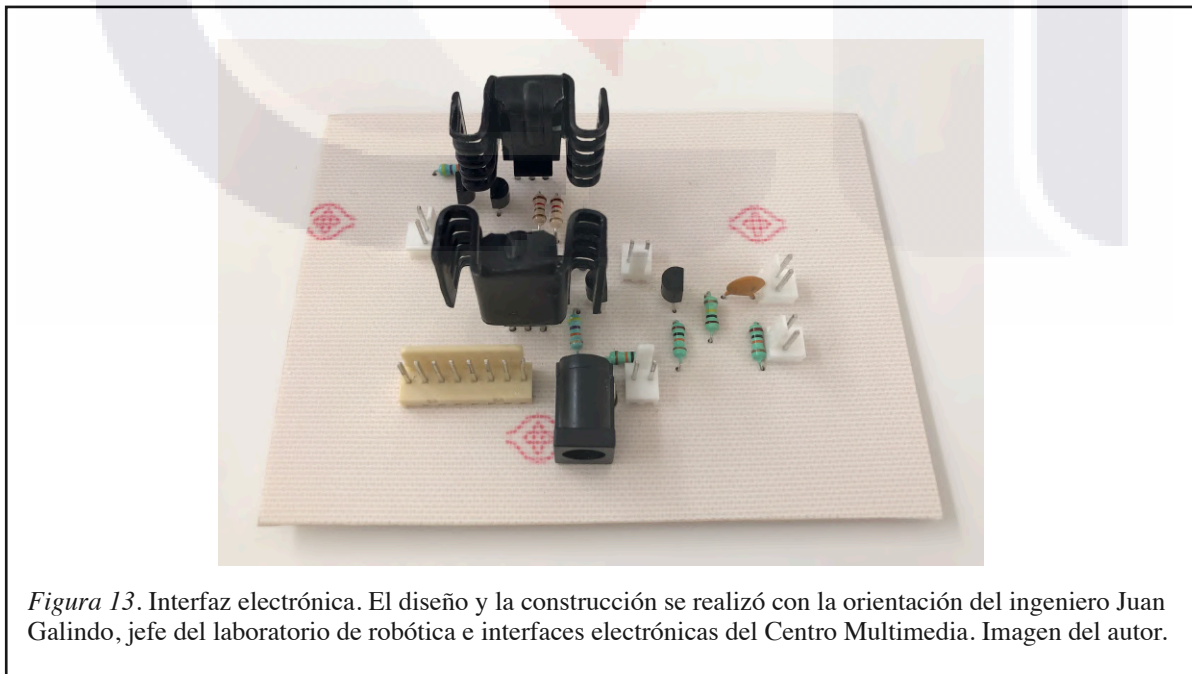
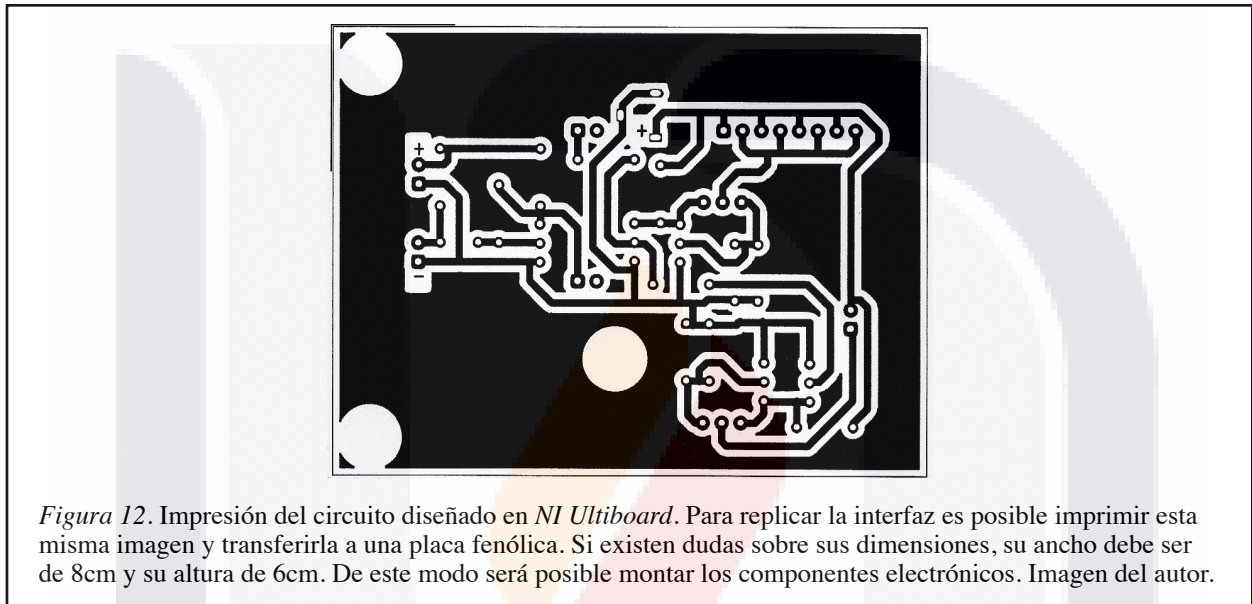
Tabla 3

Lista y cantidad de componentes electrónicos utilizados en la construcción de la interfaz electrónica

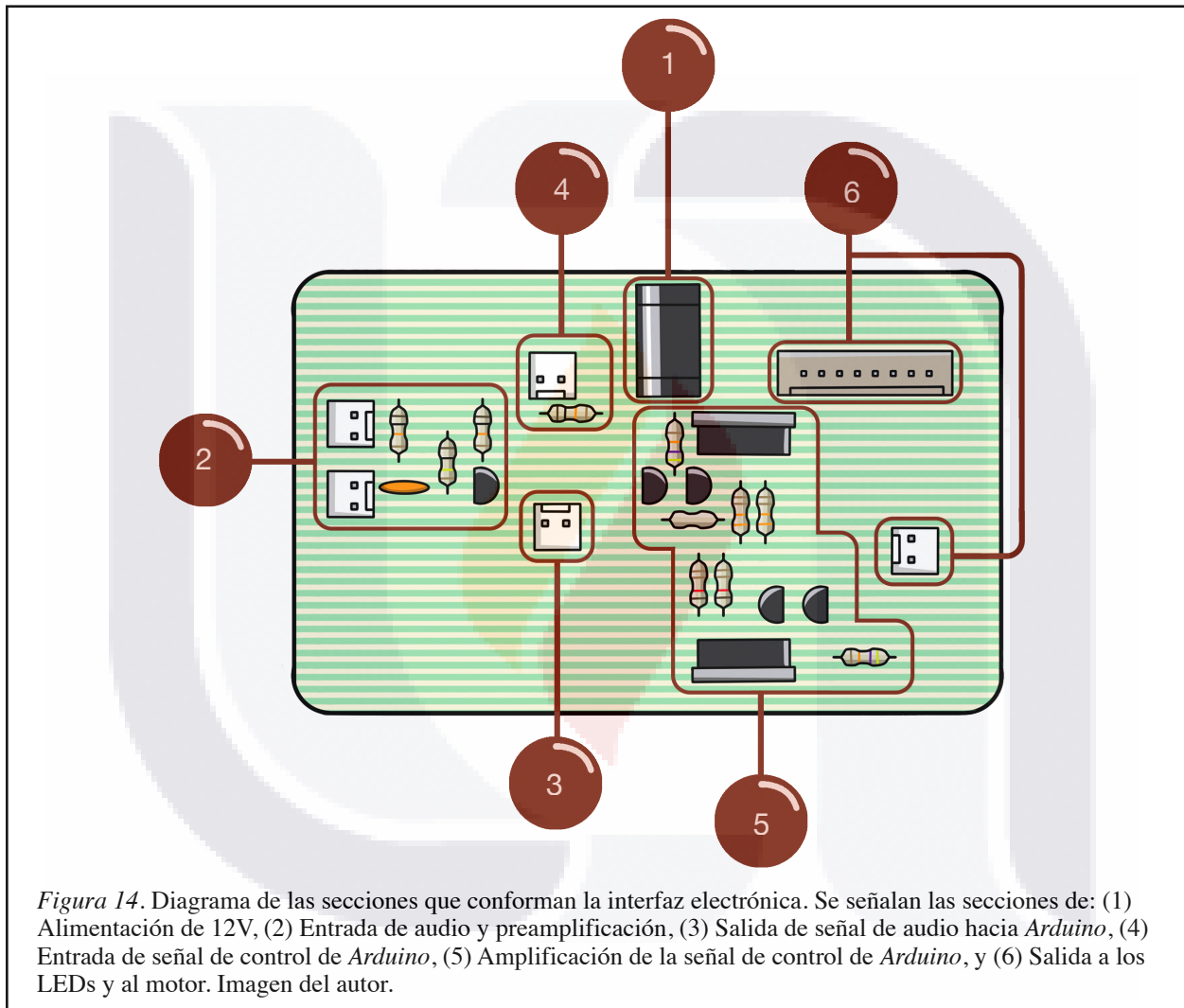
Componente	Cantidad requerida
Resistencia de 100k Ohm*	1
Resistencias de 10k Ohm*	3
Resistencias de 1.2 Ohm*	2
Resistencias de 3.3 Ohm*	2
Resistencias de 47k Ohm*	2
<i>Headers de 2 pines (hembra y macho)</i>	5
<i>Header de 8 pines (hembra y macho)</i>	1
<i>Jack invertido de 2.1 mm</i>	1
Capacitor de 100nF	1
Transistores BC547	5
Transistores MOSFET IRLZ44	2

* Las resistencias utilizadas en el circuito deben ser de 1/2W, no de 1/4W

Finalmente, se imprimió el circuito en una placa fenólica y se montaron los componentes electrónicos sobre ella. Para dibujar los canales que se plasmarían sobre la placa se utilizó el programa *NI Ultiboard*, aunque también es posible utilizar otros como *Fritzing*, que fue empleado por el autor para la elaboración de los esquemas que aparecen en las evidencias de las sesiones de trabajo. A continuación se muestra el dibujo del circuito realizado en *NI Ultiboard* (Figura 12) y la interfaz electrónica con los componentes soldados a ella (Figura 13).



El funcionamiento de esta interfaz electrónica se puede explicar de una manera más clara si se abordan por separado las distintas secciones o subconjuntos que la conforman. La interfaz consta de 6 secciones, señaladas en el siguiente diagrama (Figura 14). A continuación también se presenta una explicación más detallada de cada sección y de las funciones que desempeñan en ellas algunos de los componentes electrónicos.



1.- Alimentación de 12V: Tanto el tablero de *Arduino*, sea *Arduino Uno* o *Arduino Mega 2560*, como la interfaz construida, requieren de una fuente de alimentación para operar. En el caso la interfaz, la tensión de alimentación debe ser de 12V de corriente continua. Para alimentar el tablero *Arduino* y la interfaz se optó por utilizar un adaptador de corriente alterna a corriente continua con una salida de 12V y 5A como el que se muestra a continuación (Figura 15).

También fue importante utilizar la misma fuente de alimentación externa para el tablero *Arduino* y para la interfaz, por lo que se utilizó un cable de alimentación de 1 a 4 (Figura 16) para alimentar ambos de manera simultánea.



Figura 15. Adaptador de CA a CC. Imagen del autor.

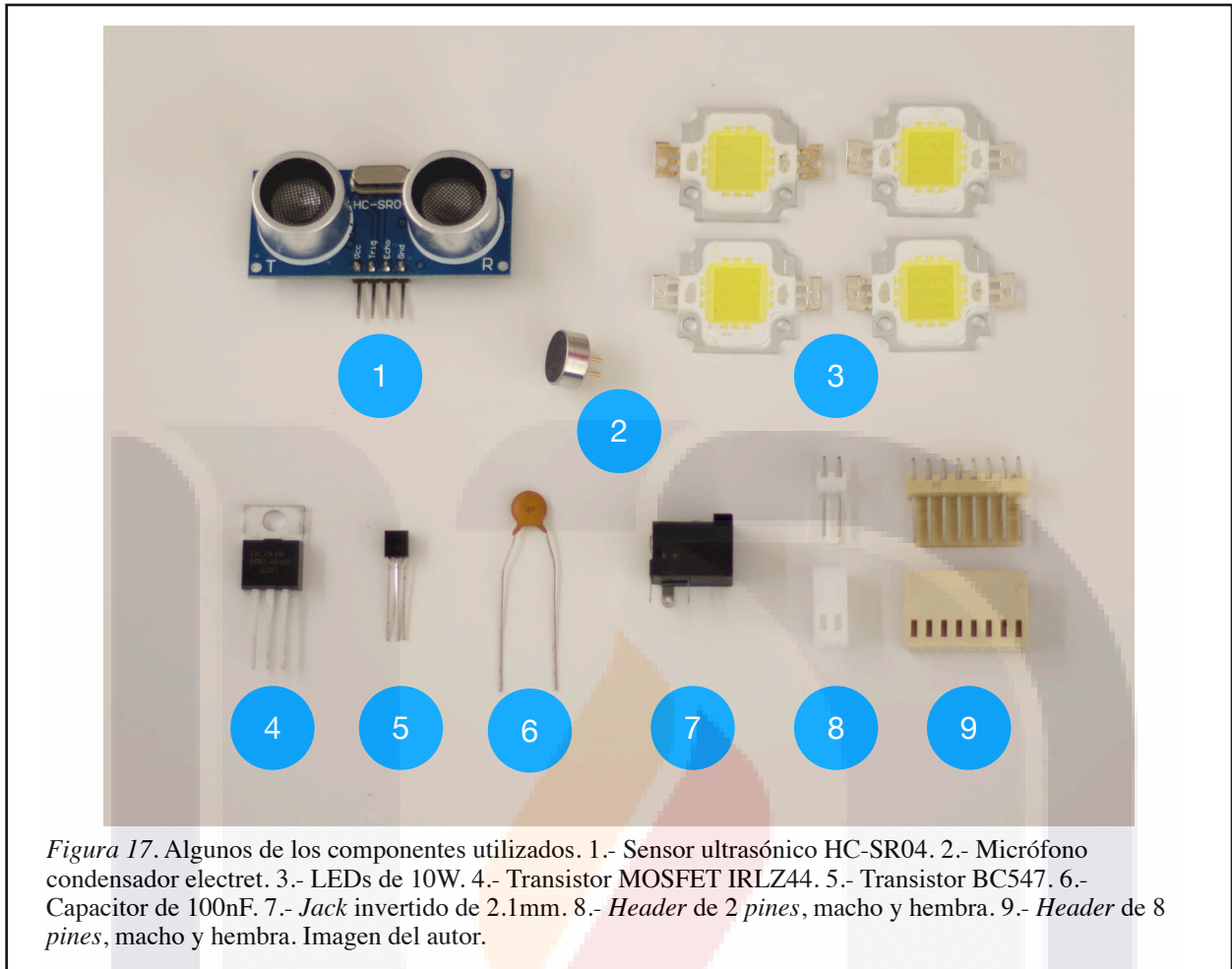


Figura 16. Cable de alimentación de 1 a 4. Imagen del autor.

La salida de 5V y la *tierra*, o GND, de *Arduino* también se conectan a la interfaz, no obstante, es importante recalcar que los 5V de *Arduino* nunca entran en contacto con los 12V utilizados en el circuito, mientras que GND de *Arduino* sí debe conectarse a la tierra de la interfaz.

Los 5V de *Arduino* se conectaron a la sección de preamplificación del micrófono electret, que se revisa más adelante, y a la alimentación del sensor ultrasónico HC-SR04 (Figura 17). Éste se utilizó para detectar la distancia de cualquier objeto con respecto al sistema, de modo que permitiera la respuesta únicamente si el espectador se colocaba dentro del rango establecido. Este tipo de sensor “envía una señal ultrasónica y espera a que el eco regrese, y mide la distancia con base en el tiempo que se requirió para que el eco vuelva” (Igoe, 2007, p. 268).

2.- Entrada de audio a través del micrófono electret y preamplificación: La recepción de audio en esta propuesta para los sistemas 2 y 3 no corre a cargo del micrófono unidireccional USB, que debía conectarse a la computadora, sino por parte de un micrófono condensador electret (Figura 17) que se conectó a otros componentes para amplificar la señal recibida por el electret antes de enviarla al *pin* A0 de *Arduino*.



Este preamplificador implementa un capacitor de 100nF (Figura 17), que es un componente con la capacidad de “suavizar” (Platt, 2013, p. 97) la señal de audio enviada por el micrófono electret. También se utilizó un transistor BC547 (Figura 17), que es un transistor bipolar, también conocidos como *BJT*, por sus siglas del inglés *bipolar junction transistor*. Este componente posee tres conexiones; *collector*, *base* y *emitter*. Su función consiste en “amplificar las fluctuaciones de corriente” (Platt, 2013, p. 241). El capacitor y el transistor, en conjunto con los 5V de *Arduino*, dos resistencias de 10k Ohm y una resistencia de 10k Ohm, preparan la señal que es enviada a *Arduino*.

3.- Salida de señal de audio hacia *Arduino*: La señal obtenida a través del preamplificador sale del *collector* del transistor BC547 hacia *Arduino*, específicamente hacia una de las entradas o *pines* análogos del tablero. En este caso se utilizó el *pin* A0.

4.- Entrada de señal de control de *Arduino* (mediante modulación por ancho de pulsos):

Después de que *Arduino* recibe los datos del sensor ultrasónico y del micrófono, se determina el valor que debe enviar de vuelta a la interfaz. En este caso se utilizó el *pin* de salida PWM 11, del tablero *Arduino*, que se conectó a uno de los *headers* de 2 *pin*es (Figura 17) soldados a la placa; también es importante mencionar que no se soldó ningún cable a la interfaz, pues esta acción únicamente implicaría un mayor desgaste, así como el riesgo de dañar algunos de sus componentes o de romper la misma placa, al añadir elementos que todo el tiempo colgaran de la ella. Debido a esto se optó por utilizar *headers*, de modo que existiera la posibilidad de conectar y desconectar el micrófono, los cables de *Arduino*, el motor y los LEDs con mayor facilidad. Gracias a esto también es más sencillo reemplazar el micrófono, por ejemplo, si éste se daña o se desgasta. Asimismo, la tarea de probar la interfaz con otros dispositivos se vuelve más sencilla.

5.- Amplificación de la señal de control de *Arduino*: La sección del circuito que se encarga de amplificar la señal de control de *Arduino* está duplicada; para encender los 4 LEDs únicamente se necesitan tres resistencias, dos transistores BC547, y un transistor MOSFET IRLZ44, pero la interfaz fue diseñada para que pudiera hacer funcionar los LEDs y el motor al mismo tiempo o por separado, si así se deseaba. Es por este motivo que se implementaron dos transistores MOSFET IRLZ44 en vez de uno, cuatro transistores BC547 en vez de dos, y seis resistencias en vez de tres. De modo que cada conjunto de transistores y resistencias está dedicado al funcionamiento específico de los LEDs o del motor. La única diferencia es que para los LEDs se utilizaron dos resistencias de 3.3 Ohm, mientras que para el motor se utilizaron dos resistencias de 1.2 Ohm. La resistencia restante de ambos conjuntos es de 47k Ohm.

El componente central de esta sección es el transistor MOSFET IRLZ44. Estas siglas, MOSFET, vienen del inglés *metal-oxide semiconductor field-effect transistor*, que se traduce como *transistor de efecto de campo metal-óxido-semiconductor*. Se trata de un transistor de efecto de campo que se encarga de amplificar un voltaje, a diferencia de los transistores bipolares, como el transistor BC547, que son amplificadores de corriente (Platt, 2013).

Una característica que es importante resaltar de la interfaz es que mientras más alta es la señal enviada por *Arduino*, más débil es el brillo en los LEDs y también el giro del motor; mientras que a una señal de *Arduino* más baja corresponde un mayor brillo en los LEDs y una mayor intensidad en el giro del motor.

6.- Salida a los LEDs y al motor: Finalmente, la señal es enviada a los LEDs de 10W, como los que se muestran en la imagen anterior (Figura 17), y al motor de 12V de corriente continua. Para conectar los cuatro LEDs se utilizó un *header* de 8 *pin*s (Figura 17), que permite conectar los extremos positivos y negativos de los 4 LEDs.

El esquema en donde se expone la manera en la que los componentes deben montarse en la interfaz electrónica aparece en el registro de la sesión de trabajo 18 (ver anexo A18). En cuanto a la explicación del código, o *sketch*, de *Arduino* implementado, éste se expone en la tabla a continuación (Tabla 4), con los comentarios de la función que desempeña cada sección del código. Para evitar confusiones y darle al lector la oportunidad de utilizar el código tal como se presenta aquí, los comentarios no se realizaron como normalmente se integran en el código, después de dos barras oblicuas, //, sino que se incluyeron en otra columna a la derecha.

Tabla 4

Código de Arduino utilizado con la interfaz electrónica

Código	Función
<pre>int control = 11; int mic = A0; int val; int trigPin1 = 3; int echoPin1 = 2; long duracion1, cm1; int Limite = 80; void setup() { Serial.begin(9600); pinMode(trigPin1, OUTPUT); pinMode(echoPin1, INPUT); pinMode(control, OUTPUT); pinMode(mic, INPUT); } void loop() { digitalWrite(trigPin1, LOW); delayMicroseconds(2); digitalWrite(trigPin1, HIGH); delayMicroseconds(10); digitalWrite(trigPin1, LOW);</pre>	<p>Primero se declaran las variables. Se determina que del <i>pin</i> 11 saldrá la señal de control, mientras que la señal del micrófono llegará al <i>pin</i> A0. También se declaran los <i>pin</i>s que se usarán para <i>Trig</i> y <i>Echo</i> en el sensor ultrasónico. Finalmente, se declaran las otras variables que se usarán en la lectura del sensor ultrasónico.</p> <p>Se definen los <i>pin</i>s que servirán como entradas y aquellos que servirán como salidas.</p> <p>Inicia el bucle de funcionamiento de <i>Arduino</i> con la señal ultrasónica enviada por el sensor ultrasónico.</p>

Código	Función
<pre>duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH); cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);</pre>	<p>Después se obtiene la longitud en centímetros, con base en el tiempo que tarda en regresar la señal.</p>
<pre>Serial.print("Distancia="); Serial.println(cm1);</pre>	<p>Se solicita que se publique el valor de la longitud con la etiqueta <i>Distancia=</i></p>
<pre>if (cm1 <= Limite) { val = analogRead(mic); Serial.print(" sonido="); Serial.println(val); val = map(val, 0, 1000, 0, 255);</pre>	<p>Se establece una condición: si se detecta un objeto dentro del límite establecido, en este caso 80 cm, se procede a leer los datos enviados por el micrófono y a publicarlos con la etiqueta <i>sonido=</i> Los datos del micrófono son mapeados para obtener valores de 0 a 255.</p>
<pre>if (val < 45) {analogWrite(control, 255);} if (val >= 45 && val < 140) {analogWrite(control, 150);} if (val >= 141 && val < 180) {analogWrite(control, 125);} if (val >= 181 && val < 240) {analogWrite(control, 100);} if (val >= 241 && val < 280) {analogWrite(control, 75);} if (val >= 281 && val < 320) {analogWrite(control, 50);} if (val >= 321 && val < 360) {analogWrite(control, 40);} if (val >= 361 && val < 400) {analogWrite(control, 30);} if (val >= 401 && val < 440) {analogWrite(control, 20);} if (val >= 441 && val < 480) {analogWrite(control, 10);} if (val >= 481 && val < 520) {analogWrite(control, 10);} if (val >= 521 && val < 560) {analogWrite(control, 0);} }</pre>	<p>En esta sección se asigna un valor a la señal de control de <i>Arduino</i> de acuerdo a la señal percibida por el micrófono. El valor de la señal de control de 255 equivale a la intensidad más alta enviada por <i>Arduino</i> y, al mismo tiempo, a un estado de apagado en los LEDs y en el motor. Mientras más alto es el valor de la señal del micrófono, menor es el valor enviado a la señal de control de <i>Arduino</i>.</p>
<pre>else { analogWrite(control, 255); } }</pre>	<p>Finalmente, si el sensor ultrasónico no detecta un objeto en un rango menor a 80 cm, la respuesta es mantener los LEDs y el motor apagados con un valor de 255 en la señal de control de <i>Arduino</i>.</p>

Los sistemas 2 y 3, como queda constatado al término de la exposición de su funcionamiento, operan por medio de una combinación de elementos analógicos y computacionales; existe un primer momento técnico de auténtica transducción cuando el sonido de la voz es transformado en una señal eléctrica por el micrófono electret. La interfaz electrónica es analógica, y de este mismo modo opera la preamplificación de la señal obtenida por el micrófono y su salida por una de las terminales, así como la amplificación llevada a cabo por el conjunto de transistores y resistencias hasta su salida hacia los LEDs y al motor. La contraparte de este proceso es la representación numérica de la señal análoga que sale desde la interfaz hacia *Arduino*, en donde se le asigna un valor de acuerdo a parámetros preestablecidos por el autor.

Aquí es posible observar dos aspectos de la interpretación de los proceso de transducción propuesta en el capítulo anterior; se trata del tercer y del cuarto aspecto, sobre la posibilidad de utilizar la computadora en la mediación entre las dos capas de la realidad conectadas, en este caso un entorno sonoro y uno visual, así como sobre las características formales de esta relación, que pueden ser determinadas por el artista.

En cuanto al tercer aspecto, los sistemas 2 y 3 son transductivos no porque el micrófono realice un proceso técnico de transducción, sino porque, entre otras cosas, dos capas de la realidad entran en contacto. Entre ellas se da un intercambio de energía; la interfaz electrónica recibe y regresa energía de formas distinta, al igual que el espectador, y esta mediación no ocurre únicamente a través de medios analógicos, sino que el tablero *Arduino*, una herramienta computacional, es utilizado para establecer una relación de isomorfismo entre las señales que la interfaz recibe y entrega; a cada elemento del conjunto de valores enviados por la interfaz, se le asigna otro elemento en un conjunto de valores de salida.

En el código utilizado en *Arduino* también se observan los parámetros asignados a los rangos de valores de la señal del micrófono. Estos parámetros fueron asignados por el autor, no con la pretensión científica de observar el movimiento o la luz de la voz, sino para ofrecer representaciones de este sonido por medio de luz y movimiento. La elección de estos parámetros no obedece a razones científicas, sino a las necesidades del sistema; fue necesario, por ejemplo, que el valor inicial de respuesta no fuera de 0, pues esto ocasionaba un funcionamiento errático. Del mismo modo, se requirió que el valor más bajo enviado por *Arduino* al inicio de la detección

de audio fuera suficientemente alto como para hacer funcionar el motor, pues era posible observar una señal débil en los LEDs, con una luz tenue, pero el mismo valor no tenía efecto en el motor.

La elección de estos parámetros puede variar de acuerdo a las herramientas y los componentes que se utilicen en los sistemas, o de acuerdo a las intenciones del artista que decida utilizar los mismos procesos en una instalación interactiva; de acuerdo al espacio asignado, a la iluminación o al nivel de ruido esperados en el espacio de exposición, al número esperado de personas a interactuar con la pieza, y a muchas otras variables similares. Por este motivo el uso de procesos de transducción en obras de arte electrónico no puede aspirar a la objetividad científica.

3.4.3 Sistema 1 y rastreo de frecuencia en Pure Data

A diferencia de los sistemas 2 y 3, cuya resolución no requirió llevar a cabo un rastreo de frecuencia a través de un programa de computadora, en el sistema 1 el rastreo de frecuencia y de amplitud fue la opción elegida para obtener representaciones numéricas a partir del sonido de la voz del usuario y, posteriormente, utilizar esta información para generar una nueva señal de audio. En el sistema 1 se pretendía captar una señal de audio y enviar otra al transductor táctil que es, vale la pena recordarlo, similar a un altavoz. Por este motivo tenía sentido utilizar un programa específicamente diseñado para trabajar con audio, como *SuperCollider* o *Pure Data*.

Después de las dificultades que se presentaron al utilizar *SuperCollider* para rastrear la frecuencia y manipular los datos de ésta, se decidió intentar el mismo proceso en *Pure Data*, en donde el entorno visual fue de utilidad para simplificar algunos de los pasos que en *SuperCollider* requerían de la elaboración de un bloque de código.

El *patch*, como se denomina a los archivos de *Pure Data*, debía contener cuatro elementos: (1) un detector de frecuencia, (2) una serie de operadores lógicos para limitar los datos de la frecuencia de la voz a un rango específico, (3) una serie de operaciones aritméticas para escalar los valores obtenidos, y (4) un receptor de datos de *Arduino* con una serie de operadores lógicos, con el propósito de activar el sistema únicamente si los datos del sensor

ultrasónico, enviados por *Arduino*, se encuentran dentro de un límite específico, de manera similar a lo que se hizo con los sistemas 2 y 3.

La imagen a continuación (Figura 18) presenta la primera parte del *patch* de *Pure Data*. En primer lugar, se observa el *convertidor de análogo a digital*, que es la primera caja, que lleva escrito dentro de ella *adc~*. Este objeto fue necesario para introducir una señal de audio a partir de los sonidos detectados por el micrófono. Posteriormente, a esta caja se le conectó el objeto *sigmund~*, que es el rastreador de frecuencia. Al conectar una caja numérica a la esquina inferior izquierda del objeto *sigmund~* éste arroja los valores de la frecuencia en protocolo MIDI, por lo que es necesario añadir el objeto *mtof*, seguido de una caja numérica, para obtener estos valores en hercios (Harte, 2018). Por otro lado, al conectar otra caja numérica a la esquina inferior derecha del objeto *sigmund~*, éste arroja el argumento del envolvente, con lo que es posible rastrear la amplitud de la señal de audio, lo que fue de utilidad en el desarrollo del *patch*.

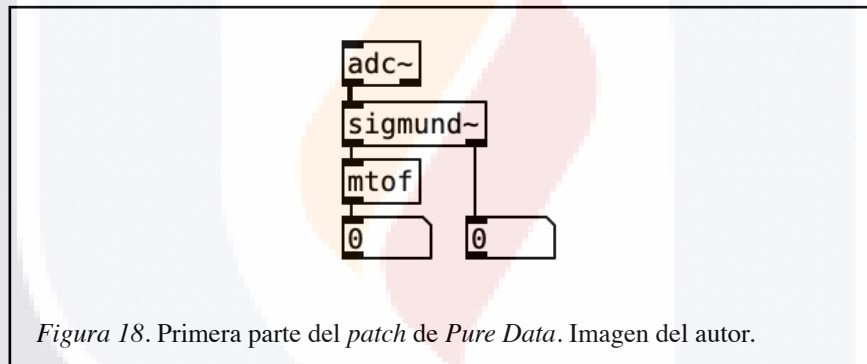


Figura 18. Primera parte del *patch* de *Pure Data*. Imagen del autor.

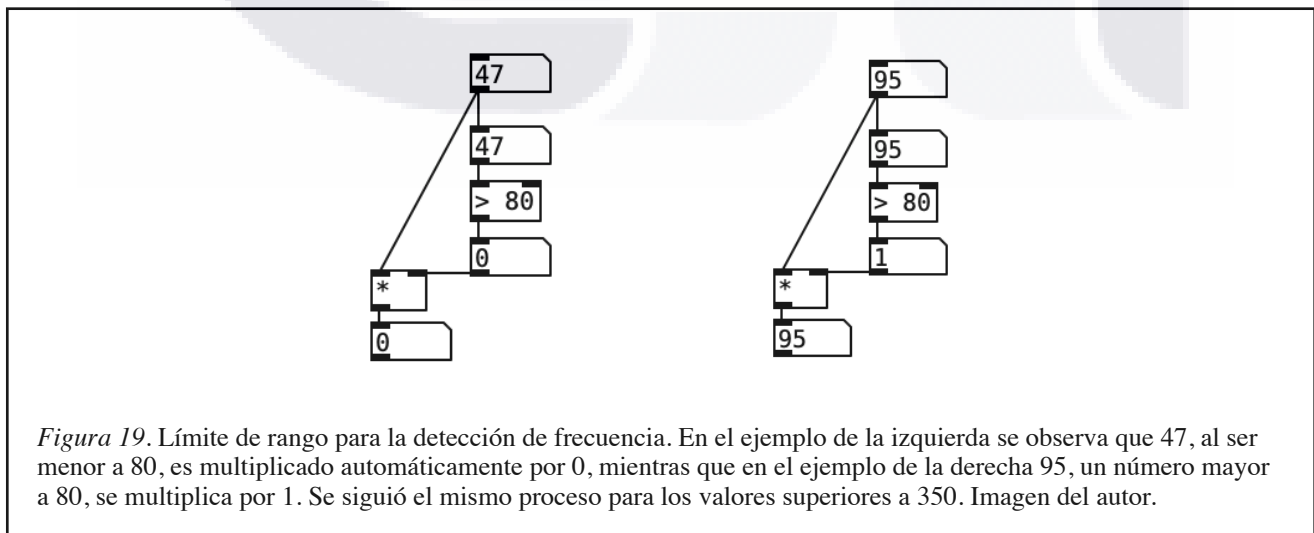
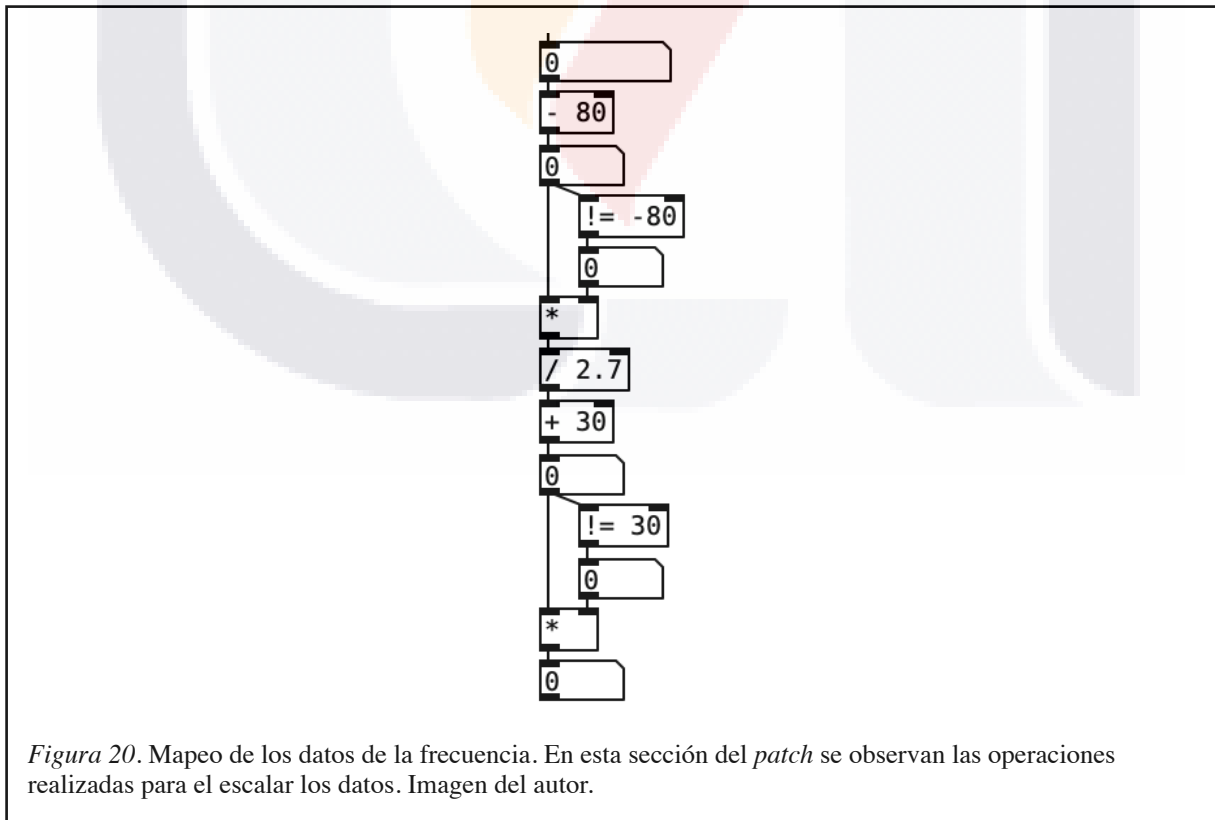


Figura 19. Límite de rango para la detección de frecuencia. En el ejemplo de la izquierda se observa que 47, al ser menor a 80, es multiplicado automáticamente por 0, mientras que en el ejemplo de la derecha 95, un número mayor a 80, se multiplica por 1. Se siguió el mismo proceso para los valores superiores a 350. Imagen del autor.

El siguiente paso fue limitar el rastreo de frecuencia que, en este caso, se fijó entre 80 y 350 hercios. Con esta acción el sistema no responde a ningún valor inferior o superior a este rango, por lo que se determinó que en ambos casos se emitiría un valor de 0. Los operadores lógicos fueron de utilidad en esta sección para enviar un 1 si el número cumplía con la condición de ser, por ejemplo, mayor a 80, o un 0 si no satisfacía este criterio. Como se muestra en la imagen (Figura 19), los números obtenidos a través del rastreo de la frecuencia se multiplicaron por 1 o por 0 para permitir el paso únicamente de los valores que se encontraran dentro de este rango.

Con estos operadores lógicos se limitó el rango de entrada entre 80 y 350 hercios pero, debido a que el rango de salida se fijó entre 30 y 130 hercios, aún era necesario realizar una serie de operaciones aritméticas con el propósito de escalar estos datos. Fue necesario restarle 80 a los números obtenidos a partir de la detección de frecuencia para, posteriormente, dividirlos entre 2.7 y, finalmente, sumarles 30. A pesar de que el proceso fue sencillo, se requirió utilizar operadores lógicos de nuevo para sustituir los valores de -80 y de 30 por 0. Esta sección del patch se muestra en la imagen a continuación (Figura 20).



El *patch* presentado en la imagen anterior (Figura 20) cumple la función de rastrear la frecuencia detectada por el micrófono y escalar los datos para producir sonidos más graves, sin embargo, responde a cualquier sonido detectado por el micrófono, incluso cuando el espectador no se encuentra frente al sistema para interactuar con él. Esto se solucionó con una estrategia similar a la que se utilizó en los sistemas 2 y 3, es decir, mediante la implementación de un sensor ultrasónico cuya lectura es enviada desde *Arduino* hacia *Pure Data*; de este modo el sistema responde únicamente cuando el espectador se encuentra frente al sensor.

Esta comunicación entre *Arduino* y *Pure Data* se realizó a través del *puerto serial*; los datos del sensor ultrasónico se publican en el puerto serial y *Pure Data* se encarga de leer esta información. Para esto fue necesario el uso del objeto *comport*, que se debe descargar como una librería externa⁴³.

Para esta aplicación el código en *Arduino* es similar al código utilizado en los sistemas 2 y 3, pero más sencillo, pues únicamente se debe realizar la lectura del sensor ultrasónico y, después, escribir los datos en el puerto serial. El resultado se presenta en la siguiente tabla (Tabla 5). Existen otros dos elementos a los que se debe prestar atención en *Arduino*: El primero es a la tasa de baudios, o *baud rate*, establecida, que en este caso es de 9600. En *Pure Data* se debe utilizar la misma cifra. El segundo es el puerto al cual está conectado el tablero *Arduino*.

Los siguientes pasos en *Pure Data*, después de la instalación de *comport*, se ilustran en la imagen a continuación (Figura 21); al colocar una caja de mensaje con el texto *devices* y dar clic izquierdo sobre ella, en la consola de *Pure Data* aparecen los dispositivos disponibles. Al costado izquierdo de cada uno se encuentra un número, que indica el puerto al cual están conectados, como se observa en el ejemplo (Figura 22). Después se añadió al *patch* el objeto *comport*, en cuya caja es necesario indicar el puerto con el cual se desea establecer la conexión, seguido de la tasa de baudios, en este caso de 9600. En la consola se notifica si la conexión con el dispositivo fue exitosa (Figura 23). Posteriormente, solo es necesario conectar una caja numérica a la esquina inferior izquierda del objeto *comport* para observar, desde *Pure Data*, los datos de distancia del sensor ultrasónico que, se recuerda, ya están dados en centímetros, con lo

⁴³ Una forma de buscar este elemento externo es a través del menú de *Pure Data*: Ayuda > Buscar externos, o a través del siguiente enlace: <https://puredata.info/downloads/comport>

cual es sencillo limitarlos, como se muestra en la ilustración (Figura 21).

Con ayuda de un *toggle* y con base en los datos enviados por *Arduino* es posible encender o apagar el sistema. Además, con este planteamiento es posible modificar el límite de la distancia para encender o apagar el sistema sin necesidad de alterar el código de *Arduino*, únicamente al escribir otro número después del operador lógico conectado a la recepción de datos de *comport*. Incluso es posible utilizar el rastreo de la amplitud realizado por *sigmund~* para volver más dinámica la respuesta en el transductor táctil y que el sistema no obedezca únicamente a la frecuencia de la voz del usuario, sino también al volumen de su voz. Con estos detalles adicionales, el resultado del *patch* es el siguiente (Figura 24).

Tabla 5

Código de Arduino utilizado en el sistema 1

Código

```

int trigPin1 = 3;
int echoPin1 = 2;
long duracion1, cm1;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  Serial.write(cm1);

  delay(250);
}

```

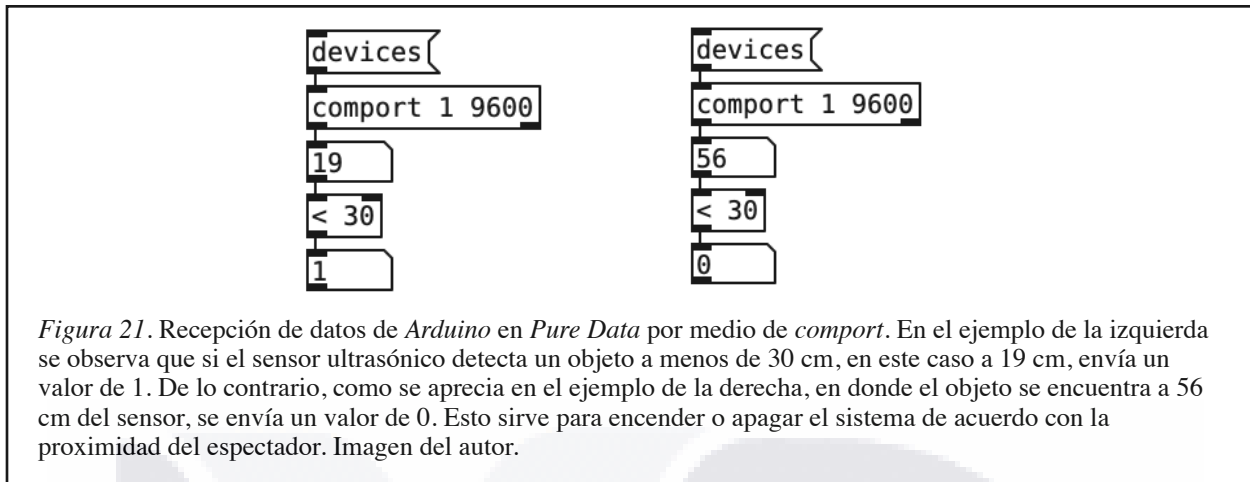


Figura 21. Recepción de datos de Arduino en Pure Data por medio de *comport*. En el ejemplo de la izquierda se observa que si el sensor ultrasónico detecta un objeto a menos de 30 cm, en este caso a 19 cm, envía un valor de 1. De lo contrario, como se aprecia en el ejemplo de la derecha, en donde el objeto se encuentra a 56 cm del sensor, se envía un valor de 0. Esto sirve para encender o apagar el sistema de acuerdo con la proximidad del espectador. Imagen del autor.

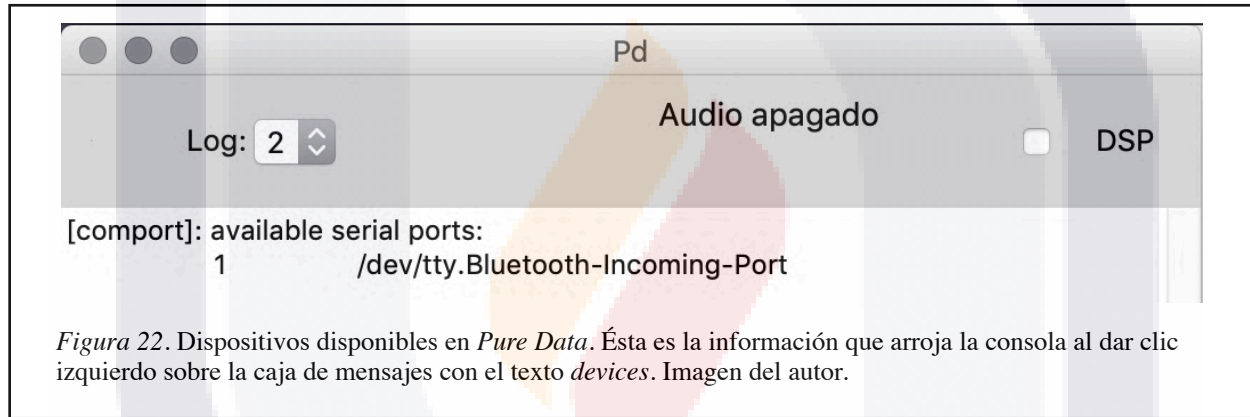


Figura 22. Dispositivos disponibles en Pure Data. Ésta es la información que arroja la consola al dar clic izquierdo sobre la caja de mensajes con el texto *devices*. Imagen del autor.

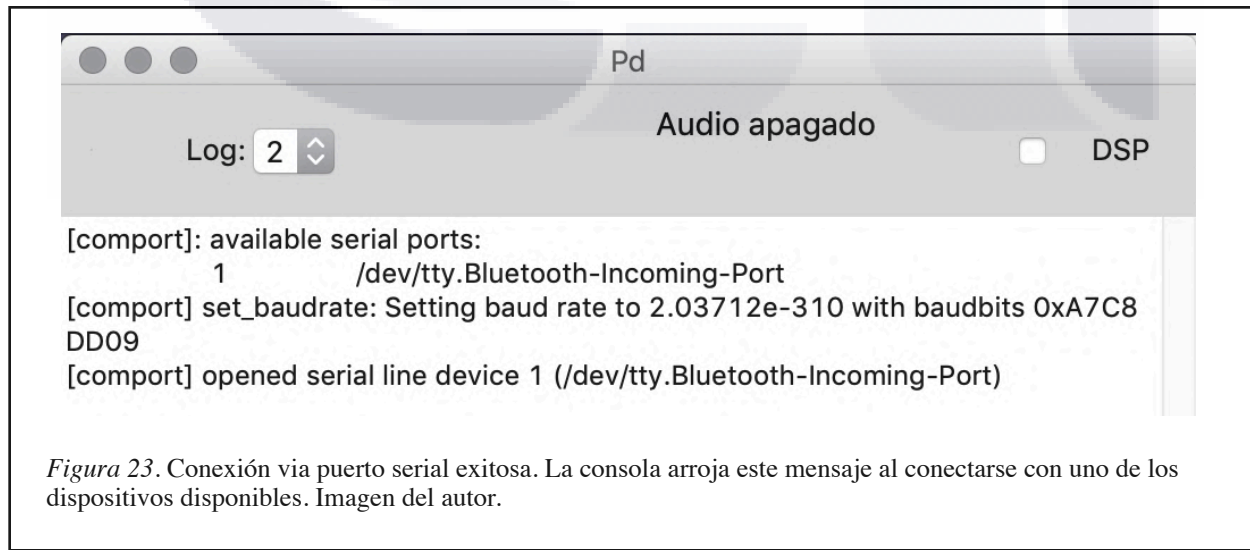


Figura 23. Conexión via puerto serial exitosa. La consola arroja este mensaje al conectarse con uno de los dispositivos disponibles. Imagen del autor.

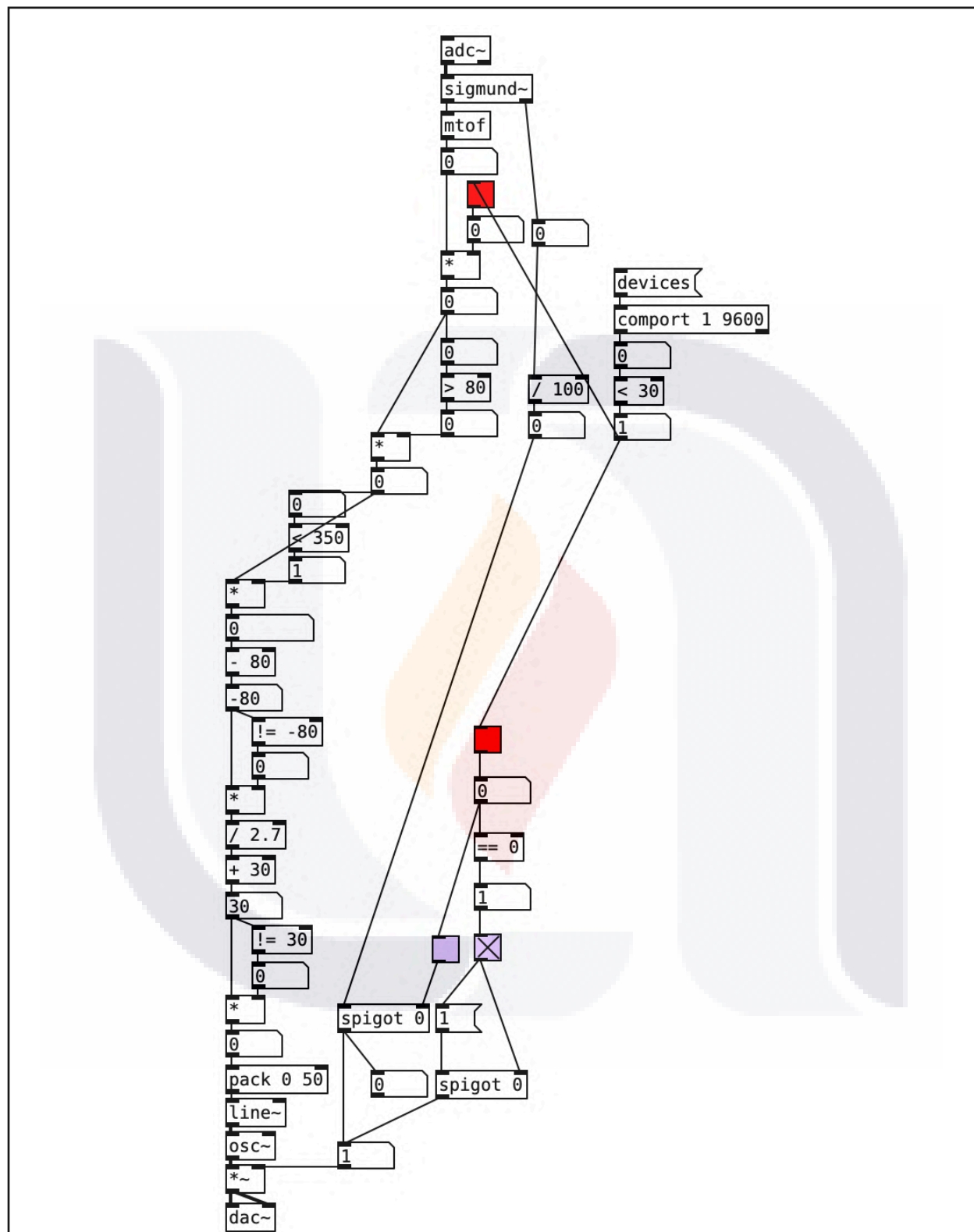
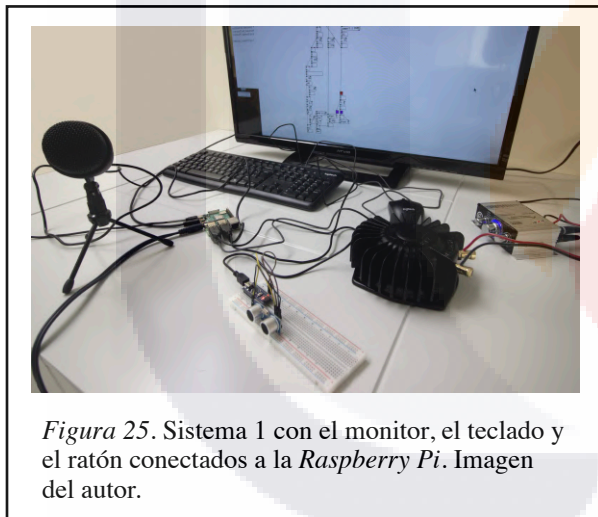


Figura 24. Patch implementado en el sistema 1. Se caracteriza por el rastreo de frecuencia y por la recepción de datos de Arduino. Imagen del autor.

3.4.4 Raspberry Pi y reducción de dimensiones en el sistema 1

La combinación del *patch* de *Pure Data* y del *sketch* de *Arduino* funcionó para escalar la frecuencia de la voz y para responder únicamente cuando el espectador se coloca frente al sistema, sin embargo, el uso de una computadora portátil para correr el *patch* de *Pure Data* hace del sistema 1 una combinación de dispositivos que ocupa un espacio mayor en comparación con los otros dos sistemas, en los que el uso de la computadora portátil se reemplazó por la interfaz electrónica, con un tamaño similar al tablero *Arduino Uno*. Este problema se solucionó en la última sesión de trabajo (ver anexo A22), en la que se configuró un equipo *Raspberry Pi* en su variante 4 *Model B*. Para esto se utilizó una tarjeta de memoria micro SD con un adaptador SD, una televisión con conexión HDMI, un cable de HDMI a micro HDMI, un teclado y un ratón de conexión USB. Después de configurar la *Raspberry Pi* se le instaló *Pure Data*, junto con el objeto externo *comport*, y el entorno de programación de *Arduino*.



Uno de los aspectos útiles de la *Raspberry Pi* es que puede correr el *patch* de *Pure Data* incluso si el monitor, el teclado y el ratón son desconectados. De este modo, el uso de la *Raspberry Pi* implica una reducción en las dimensiones del sistema 1 en comparación con el uso de una computadora portátil; cuando la *Raspberry Pi* está conectada al monitor, al teclado y al ratón, puede resultar mucho más voluminosa (Figura 25) que una computadora portátil, pero al desconectarlos, sin contar el micrófono, el amplificador ni el transductor táctil, se obtiene un sistema tan compacto (Figura 26) como la combinación del tablero *Arduino Uno* y la interfaz

electrónica en los sistemas 2 y 3, y las dimensiones se reducen aún más si se utiliza el tablero *Arduino Nano* para enviar a *Pure Data* la lectura del sensor ultrasónico, tal como se hizo en este caso.

3.5 Resultados

La construcción de los sistemas interactivos-transductivos presentados en este capítulo estuvo acompañada de la elaboración de otros productos, algunos comprendidos dentro de los elementos requeridos para el funcionamiento de los sistemas, otros que facilitan la tarea de entenderlos y replicarlos, y otros más que ofrecen otras posibilidades de carácter profesional y didáctico. A continuación se presentan los productos obtenidos al término de la sección práctica de este proyecto:

— 3 sistemas interactivos-transductivos: Fueron el producto y el propósito principal de la propuesta de producción del presente proyecto. Se logró que los tres sistemas funcionaran como se planteó originalmente, aunque fue necesario realizar una serie de modificaciones, tanto para optimizar su funcionamiento como para reducir sus dimensiones.

En el sistema 1, el sonido de la voz del espectador es utilizado para controlar la vibración de un transductor táctil, que puede transmitir esta vibración a materiales como arena o agua. El sistema 2 le permite al espectador observar variaciones en el brillo de cuatro LEDs de alta potencia, que representan las variaciones en el sonido de su voz. En el sistema 3, la velocidad a la que gira una hélice adherida a un motor corresponde a las variaciones en el sonido de la voz del espectador; esta hélice genera, a su vez, un flujo de aire capaz de mover objetos pequeños. Los tres sistemas responden únicamente si el espectador se coloca frente a ellos para interactuar, por lo que es muy difícil que respondan a otros sonidos ambientales sin la interacción del espectador.

— 1 interfaz electrónica: Esta interfaz electrónica se construyó con la orientación del ingeniero Juan Galindo, jefe del laboratorio de robótica e interfaces electrónicas del Centro Multimedia, en el Centro Nacional de las Artes. Se diseñó específicamente para los sistemas 2 y 3 de este proyecto, con la posibilidad de hacer funcionar ambos sistemas de manera simultánea o

individual, y cumple dos funciones esenciales: por una parte capta, amplifica y envía a *Arduino* una señal de audio y, por otro lado, recibe, amplifica y reenvía a los LEDs y al motor una señal de control emitida por *Arduino*.

— 2 *sketches* de *Arduino*: Se elaboró un *sketch* de *Arduino* para los sistemas 2 y 3, que funciona en conjunto con la interfaz electrónica. Este *sketch* recibe los datos de un sensor ultrasónico para activar el sistema únicamente si el espectador entra en un rango de distancia determinado. Con base en esta lectura, el *sketch* recibe la señal de audio captada por el micrófono electret y envía una señal de control de vuelta a la interfaz.

En el segundo *sketch*, elaborado para el sistema 1, solamente se reciben los datos del sensor ultrasónico para, posteriormente, escribirlos en el puerto serial y ponerlos al alcance de *Pure Data*, para desempeñar una función de activación por la detección de un objeto en un rango próximo al sistema, similar a lo que se realizó en los sistemas 2 y 3.

— 1 *patch* de *Pure Data*: El sistema 1, a diferencia de los sistemas 2 y 3, requirió del uso de un programa especializado en producción sonora, para lo cual se escogió *Pure Data*, así como del diseño de un *patch* que realiza dos funciones: leer los datos del sensor ultrasónico enviados por *Arduino* para activar o desactivar el sistema, y recibir una señal de audio del exterior para escalarla y devolverla en frecuencias más bajas.

A través de este *patch* también es posible modificar los valores que limitan la recepción de audio, así como el rango al cual es escalada, al igual que el valor de la distancia requerida para activar el sistema. Solamente es necesario modificar los parámetros de algunas cajas numéricas y de objeto para experimentar y obtener resultados distintos.

— Registro de 22 sesiones de trabajo acompañado de 13 videos: Otro producto de esta fase de construcción fue el registro de las sesiones de trabajo (ver anexo A), en el que se exponen de manera más detallada los problemas que se presentaron a lo largo de este proceso y las distintas alternativas que se analizaron para solucionarlos. En este registro también se realizaron algunas recomendaciones y aclaraciones sobre cuestiones específicas que no se incluyeron dentro de los capítulos de este trabajo, pero que pueden ser de ayuda para otros artistas o estudiantes que desarrollen proyectos similares. En el registro de las sesiones de trabajo también se procuró ilustrar el proceso con mayor claridad, por lo que se incluyeron secciones de código

que no se implementaron en las soluciones finales de los sistemas, así como imágenes y videos en los que se presentan los resultados de cada sesión. No se realizó un video para cada sesión, pero sí se elaboró uno cuando se consideró que el material audiovisual ayudaría a mostrar una parte de los avances de cada sesión o facilitaría la comprensión de los aspectos en los que se trabajó. De este modo, se elaboraron 13 videos, a los cuales se puede acceder desde el anexo A⁴⁴.

— 1 maqueta interactiva-transductiva de 5V: Finalmente, en la sesión de trabajo 21 (ver anexo A21), se probó el uso del *patch* de *Pure Data*, diseñado para el sistema 1, en una maqueta de 5V para encender un LED de 5mm. Inicialmente se consideró que el *patch* del sistema 1 también podría utilizarse en los sistemas 2 y 3, con el propósito de sustituir el micrófono electret por el micrófono unidireccional de conexión USB, pero se desistió después de realizar algunas pruebas con los dispositivos de alta potencia y después de reflexionar sobre el aumento en las dimensiones del sistema al necesitar de otro dispositivo, como la *Raspberry Pi*, para correr el *patch* de *Pure Data*. A pesar de esto, se construyó una maqueta en la que el sonido detectado por la computadora o por otro micrófono conectado a la computadora es utilizado para controlar el brillo de un LED de 5mm. Además, esta maqueta también se desactiva si el espectador se aparta del sensor ultrasónico.

Al utilizar únicamente la salida de 5V de *Arduino*, esta maqueta puede constituir un proyecto interesante, de bajo riesgo, para desarrollar cursos o talleres en los que se aborde el funcionamiento de *Pure Data* y *Arduino*, así como la comunicación entre estas dos plataformas, principalmente para un público con conocimientos elementales o nulos sobre estas herramientas, para quienes el uso de un voltaje más alto podría ser peligroso.

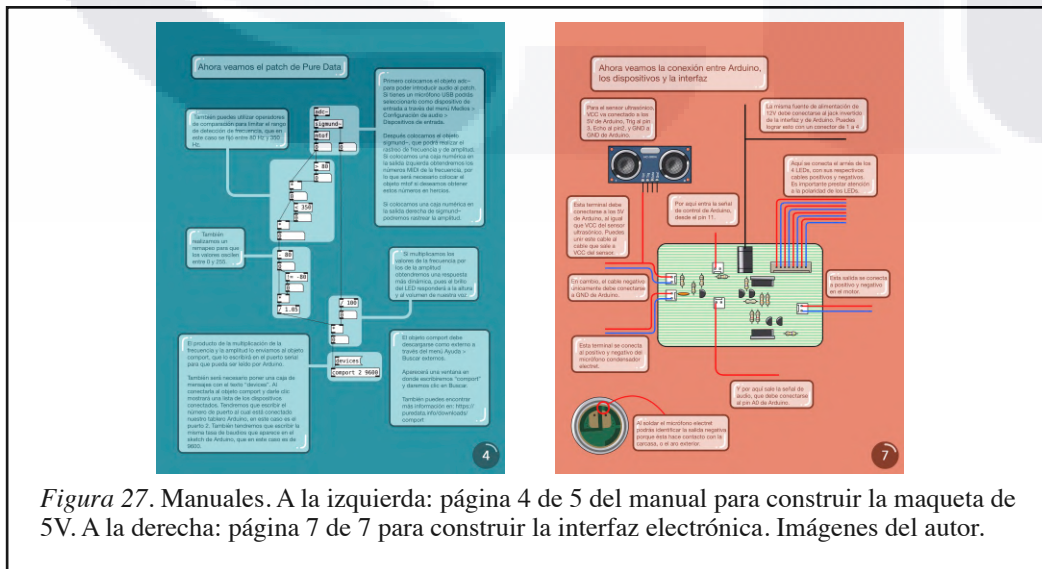
— 2 manuales para construir una interfaz electrónica y una maqueta interactiva-transductiva: Originalmente se concibió que el registro de las 22 sesiones de trabajo cumpliría dos funciones; por una parte, dar cuenta del proceso seguido en la construcción de los sistemas y, por otro lado, servir como una guía para que distintos tipos de lector, como estudiantes de artes visuales interesados en el uso de la tecnología, pudieran replicar los sistemas, no obstante, posteriormente se consideró que este interés por ofrecer un recurso pedagógico, o de instrucción

⁴⁴ Los 13 videos corresponden a las sesiones registradas en los anexos: A4, A5, A7, A8, A9, A10, A14, A15, A18, A19, A20, A21, y A22.

sobre el uso de las herramientas empleadas en este proyecto, podía atenderse de una mejor manera si se elaboraba un manual con instrucciones y procedimientos más breves y claros, por lo que se diseñaron y se elaboraron dos manuales.

En uno de los manuales (ver anexo B) se abordó la construcción de la maqueta interactiva-transductiva de 5V presentada en el punto anterior; se mencionaron las funciones del sistema, así como los materiales requeridos para su construcción; también se describieron el *sketch* de *Arduino* y el *patch* de *Pure Data* implementados en la maqueta; finalmente, se mostró la manera en la que los componentes deben conectarse para hacer funcionar el sistema. En el otro manual (ver anexo C) se abordó la construcción de la interfaz electrónica utilizada en los sistemas 2 y 3 de este proyecto. A diferencia del primer manual, en el segundo también se incluyó una advertencia, debido al uso de una mayor potencia.

Debido a que una gran parte de los conocimientos necesarios para elaborar, tanto la maqueta de 5V como la interfaz electrónica, fueron facilitados en las asesorías del Centro Multimedia, el autor le propuso al personal del Centro Multimedia diseñar los manuales, desde el contenido de la información hasta el material visual presentado, y contar con la aprobación de los jefes de los laboratorios que el autor visitó durante las asesorías, de modo que estos recursos pudieran formar parte del material en línea ofrecido por el Centro Multimedia. El Centro Multimedia accedió y, después de realizar algunas correcciones en la propuesta original, aprobaron los manuales elaborados por el autor (Figura 27).



3.6 Reflexiones del tercer capítulo

Al concluir la sección práctica de este proyecto también fue posible generar distintas reflexiones que conciernen a tres aspectos de esta propuesta; a los sistemas interactivos-transductivos, a la metodología usada en su construcción, y a las herramientas utilizadas en su desarrollo. Estas reflexiones se presentan a modo de conclusión del presente capítulo.

3.6.1 Sobre los sistemas interactivos-transductivos

La función principal de los tres sistemas construidos en este proyecto es la de representar; representan el sonido de la voz del usuario por medio de vibración, flujo de aire y variaciones de luz, así como por el movimiento generado por los primeros dos. Estas representaciones, no obstante, son distintas a las representaciones elaboradas con otros materiales, como ocurre con los personajes en las obras de Picasso que, de acuerdo con Rodríguez (2009), “dan voz, que abren sus bocas, que gritan o chillan o ríen o ejecutan acciones sinestésicas” (p. 21). Son también distintas de las equivalencias con las que Kandinsky conectaba colores y timbres, con las cuales, si bien no pretendía realizar ilustraciones de piezas musicales (Rucsanda, 2019), sí implicaban una preocupación por integrar elementos como el sonido y la vibración de manera pictórica. En contraste, estas representaciones cinéticas, lumínicas y visuales son parte de un sistema, compuesto también por el usuario y por una interfaz. Este sistema es interactivo, pues el usuario, o *interactor*, puede introducir información al sistema, y es necesario que lo haga para que el sistema funcione. Debe colocarse frente al micrófono y frente al sensor ultrasónico para hablar y, así, observar la representación y los efectos generados por su voz. El sistema interactivo es también transductivo, pues en él se aprecian los seis aspectos de los procesos de transducción en el arte electrónico planteados en el segundo capítulo de este trabajo.

A través de estos sistemas interactivos-transductivos, dos dominios entran en contacto, uno visual y el otro sonoro; las representaciones cinéticas de los sistemas son percibidas de manera visual. También se optó por usar la palabra *sistemas* porque, además de que el usuario es un elemento necesario para que se de esta interacción, se lleva a cabo un intercambio energético;

la energía fluye dentro del sistema, del usuario al micrófono, del micrófono al resto de los componentes electrónicos, de los componentes a los LEDs, al motor o al transductor táctil, y de vuelta al usuario. La mediación entre la voz del usuario y su respectiva representación se lleva a cabo a través de una interfaz, que no es la interfaz electrónica construida con la orientación del Centro Multimedia, sino el conjunto de elementos y componentes analógicos y computacionales por medio de los cuales se establece una relación de isomorfismo entre las variaciones en la voz del usuario y las variaciones en su representación con vibración, luz o movimiento.

La capacidad de los sistemas para representar ofrece la posibilidad de presentarle al usuario otra manera de percibir un objeto o un fenómeno, en este caso el sonido de su voz, y de hacer evidentes sus efectos, que en un ámbito cotidiano permanecen ignorados. Estos efectos parten de la concepción del lenguaje y de la voz humana como creadores de espacios, de contemplarlos como elementos abstractos y, al mismo tiempo, con consecuencias concretas en el entorno.

Durante la construcción de los sistemas fue necesario probar y fijar algunos parámetros en la detección de audio y en la intensidad de cada respuesta. Esto es especialmente notorio en el *sketch* de *Arduino* utilizado en los sistemas 2 y 3, en donde los parámetros de la señal enviada de vuelta a la interfaz electrónica debían ser graduales, para generar distintas intensidades en la luz emitida por los LEDs, pero al mismo tiempo debían ser lo suficientemente fuertes como para, aun a partir de un sonido débil, hacer girar el motor. Si se opta por utilizar los LEDs y el motor por separado, cada uno con una propia interfaz electrónica, los parámetros en *Arduino* pueden ser aún más graduales para los LEDs y aún más altos para el motor. Esta posibilidad resalta el poder que tiene el autor para modificar considerablemente los efectos generados por cada sistema, por lo que no es posible utilizar estos sistemas con pretensiones científicas, sino únicamente artísticas, incluso didácticas.

3.6.2 Sobre la metodología de construcción

La realización de pruebas y modificaciones no se realizó únicamente en los archivos de *Arduino*, *Pure Data* y *SuperCollider*, sino que también estuvo presente en la construcción de las maquetas

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

y de la versión final de los sistemas. Este principio de prueba y modificación obedeció a la metodología utilizada, que se diseñó a partir de los dos postulados sobre la mentalidad técnica de Simondon (2009), y para la cual se propusieron cinco procedimientos sin un orden específico: (a) identificar los materiales y componentes necesarios para construir cada sistema, (b) realizar pruebas con distintos componentes y parámetros para seleccionar aquellos que optimizan el funcionamiento del sistema, (c) identificar los componentes y subconjuntos que podrían ser sustituidos por otros más sofisticados y con mejores capacidades, (d) identificar los componentes que pueden cumplir con más de una función para eliminar aquellos que no son esenciales, y (e) mantener una perspectiva abierta a la modificación de los esquemas originales.

Estos cinco procedimientos implicaron las siguientes ventajas: en el sistema 1 se encontró un rango de frecuencias en el que los patrones de cimbática eran visibles; en los sistemas 2 y 3 el micrófono electret, los cables de salida y entrada de Arduino y del sensor ultrasónico, los LEDs y el motor no se soldaron directamente a la interfaz electrónica, sino que se utilizaron *headers*, para facilitar la desconexión y el eventual remplazo de estos componentes; la búsqueda de un mejor funcionamiento no se detuvo, incluso cuando ya se había logrado que los sistemas funcionaran como se deseaba, lo que desembocó en la producción de la última maqueta de 5V; la interfaz electrónica puede hacer funcionar el sistema 2 y el 3 de manera simultánea o por separado; de modo similar, el adaptador de corriente en los sistemas 2 y 3 alimenta tanto la interfaz como el tablero *Arduino*.

A pesar de que el proceso de construcción de los sistemas se benefició con los procedimientos propuestos a partir de los postulados de la mentalidad técnica de Simondon (2009), no es posible afirmar que estos sistemas ejemplifican adecuadamente la mentalidad técnica. Un objeto de la mentalidad técnica debe ser un *objeto abierto*, es decir, debe poseer elementos resistentes, permanentes, mientras que otros de sus elementos deben ser fácilmente intercambiables y reemplazados (Simondon, 2009). Esto es, hasta cierto punto, verdadero en los sistemas interactivos-transductivos, dado que los archivos de *Arduino* y *Pure Data* en los tres son propensos a ajustes y modificaciones, lo que hace posible llevar a cabo pruebas de parámetros con ellos y, a pesar de que otras piezas propensas a desgaste no fueron soldadas a la interfaz electrónica, la mayoría de los componentes electrónicos utilizados poseen una vida útil corta, son

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

fabricados en masa y son impersonales; en realidad no hay elementos demasiado resistentes en los sistemas, aunque se espera que la computadora *Raspberry Pi* y los tableros *Arduino* resistan más que el resto de los componentes electrónicos, como sensores, diodos, transistores y resistencias, pero la mayoría de estas piezas son impersonales e intercambiables.

La construcción de una carcasa sólida y resistente para alojar los componentes de los sistemas podría solucionar la demanda de la combinación de piezas duraderas y de piezas renovables, aunque a esta solución le espera otro obstáculo: los objetos de la mentalidad técnica deben poseer una estructura reticular, que les permita ser expandidos o continuados, sin ningún distanciamiento entre lo viejo y lo nuevo (Simondon, 2009). Esta exigencia tampoco es satisfecha por los sistemas, pues están diseñados para funcionar con un rango específico de energía; no se les puede alimentar con una tensión mayor y tampoco es posible hacer funcionar dispositivos de mayor potencia. El planteamiento de la mentalidad técnica de Simondon (2009) fue útil en la propuesta de una metodología para la construcción de los sistemas interactivos-transductivos, pero estos no satisfacen los requisitos para ser considerados como objetos de la mentalidad técnica.

3.6.3 Sobre las herramientas

Durante el proceso de construcción de los tres sistemas interactivos-transductivos se procuró utilizar materiales y herramientas de bajo costo y de acceso gratuito, pues estas tecnologías son populares en la enseñanza de la producción digital de audio y del uso del cómputo físico, con lo que el acceso a programas, como *SuperCollider* y *Pure Data*, y a otras herramientas, como *Arduino*, no solamente fue económico y sencillo, sino que también lo fue conseguir información y orientación para utilizar estas plataformas. Del mismo modo, se consideró que, debido al uso de estas tecnologías libres, los sistemas y las propuestas presentadas en este trabajo se sumarán al arsenal de información y proyectos disponibles para el aprendizaje de otras personas interesadas en el manejo de audio y del cómputo físico.

De modo que es posible localizar algunas virtudes en las herramientas escogidas para llevar a cabo esta propuesta, entre las que destaca, como ya se mencionó, la ventaja que suponen

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

para recolectar información sobre su uso, así como para conseguirlas o descargarlas, lo que también se traduce en la posibilidad de diseñar recursos para la enseñanza de la tecnología a partir de estos mismos programas y dispositivos. Otra de las virtudes que ofrecen tableros como *Arduino* es la variedad de sensores que se pueden conectar a ellos para obtener representaciones numéricas, no solamente de sonidos, como se hizo en este trabajo, sino también a partir de distancia, movimiento, temperatura, y ritmo cardiaco, entre muchas otras posibilidades. La comunicación propuesta en este trabajo entre *Arduino* y *Pure Data* también implica que la datificación de estos fenómenos puede tener una salida sonora y no únicamente visual, con lo que el lector que decida aventurarse en la exploración con estas herramientas podrá utilizar algunos de los procedimientos implementados en esta propuesta para realizar procesos inversos, es decir, en los que obtenga representaciones sonoras a partir de estímulos visuales, por ejemplo.

Por otra parte, también es importante mencionar las limitaciones del uso de la tecnología en este trabajo: la primera de ellas es que para el lector interesado en replicar la interfaz electrónica de los sistemas 2 y 3 será complicado encontrar una utilidad distinta a la que se le ha dado en este trabajo, dado que fue diseñada para satisfacer las necesidades específicas de los sistemas construidos. El campo de aplicación de algunos elementos aquí presentados no es amplio; el uso de una tensión de alimentación y de una potencia de salida específicas limitan las posibilidades de utilizar estos planteamientos con una gran variedad de dispositivos y de componentes.

La segunda limitante concierne al nivel de complejidad y a los conocimientos adquiridos por el autor pues, a pesar de que se cumplió con el objetivo de desarrollar los tres sistemas de la sección práctica del proyecto, fue necesario ajustar estas propuestas al nivel de manejo del autor. Las consecuencias de esto se observan en el reemplazo de *SuperCollider* en favor de *Pure Data*, que ofrecía una interfaz más amigable y se ajustaba mejor a la experiencia del autor. Algunos obstáculos de esta naturaleza implicaron la necesidad de dedicar más tiempo a su resolución o a la búsqueda de alternativas. Este tiempo podría haberse enfocado en la optimización de los sistemas y en la realización de otras pruebas que mejoraran su funcionamiento.

Conclusiones

El origen de este trabajo se localiza en una búsqueda personal del autor por reflexionar sobre las posibilidades teóricas y prácticas que se desprenden de la pieza *Juan 1:1* (2017), el libro de mapas digitales en donde las palabras encuentran su representación visual a través de formas de islas; de territorios en donde las fronteras son construidas por el lenguaje. Desde el inicio de esta búsqueda, centrada en la representación visual o tangible de un elemento abstracto como el lenguaje, se adoptó el uso de la computadora para llevar a cabo la mediación entre los dominios visual y sonoro, pues la computadora es, como la describió Sartori (1998), “el nuevo soberano (...) porque (...) no sólo unifica la palabra, el sonido y las imágenes, sino que además introduce en los <<visibles>> realidades simuladas, realidades virtuales” (p. 32).

En esta búsqueda se presentó el concepto de la *transducción* que, de cierto modo, se ajustaba a lo que el autor se refería, pero al mismo tiempo, y de cierto modo, no lo hacía, pues mientras que en algunas ocasiones las características atribuidas a este término por los autores parecían concordar, en otras ocasiones las diferencias eran rotundas. De este modo, el presente trabajo se dedicó a entender el concepto de la transducción desde las prácticas de representación visual, cinética o lumínica de audio que se llevan a cabo dentro del arte electrónico. La pretensión de este análisis no consistía únicamente en elaborar una interpretación útil de este concepto en el arte electrónico, sino que también se esperaba que, a través de ésta, fuera posible señalar determinados aspectos de la producción artística actual, tanto en México como en el extranjero, para comprender mejor algunas obras en las que a menudo los sonidos se representan de forma visual o los estímulos visuales se representan de forma sonora.

Es posible afirmar que este estudio del concepto de la transducción y su relación con los procesos de representación entre los dominios visual y sonoro en el arte electrónico fue exitoso, dentro del nivel de desarrollo que permiten los dos años de este programa académico pero, a pesar de que se elaboró una interpretación para este término en la que se destacaron seis aspectos observados en los distintos usos que se le ha dado a este término por casi un siglo, y que también se construyeron los tres sistemas interactivos-transductivos planteados en la propuesta práctica de este proyecto, aún se extienden diversas rutas para el desarrollo de las ideas, los propósitos y

los productos presentados en este trabajo.

Las conclusiones se organizaron en cuatro apartados que conciernen a la tecnología y al arte, a la interpretación del concepto de la transducción en el arte electrónico, a la propuesta de producción, y a los problemas y posibilidades cuyo tratamiento podría ofrecer nuevos proyectos.

Sobre la tecnología y el arte

El desarrollo de la tecnología tiene un impacto en la vida cotidiana, pues los objetos tecnológicos más comunes producen cambios en las vidas de las personas, como la televisión que, argumentó Sartori (1998), “modifica sustancialmente la relación entre entender y ver (...) está produciendo una permutación, una metamorfosis, que revierte en la naturaleza misma del *homo sapiens*” (p. 36).

La situación no es diferente en el campo del arte, en donde las novedades tecnológicas se relacionan con la producción artística no sólo en una dimensión técnica, concerniente a las herramientas y a los materiales, sino también en una dimensión estética, concerniente a los discursos y cuestionamientos (Lara, 2016; Shanken, 2009); en el trabajo de Rafael Lozano-Hemmer, por ejemplo, aportaciones tecnológicas como motores, cámaras, y equipos de vigilancia no solamente son utilizados para crear una instalación interactiva⁴⁵, sino que también sirven para reflexionar sobre las implicaciones sociales y los prejuicios programados en las cámaras y en los equipos de vigilancia, que pretenden ofrecer una mayor sensación de seguridad (Asiaghi, 2009).

El uso de la tecnología en el arte se puede comprender desde posiciones distintas; los pigmentos o las herramientas mecánicas constituyen ejemplos del uso de la tecnología en el arte, aunque este trabajo se enfocó en las tecnologías electrónicas y computacionales, que conforman las herramientas y los dispositivos empleados en la producción de arte electrónico, que contiene al arte computacional y que a su vez es contenido dentro del arte tecnológico, pues algunos medios del arte tecnológico como se concibió aquí, es decir como un equivalente del término *media art*, no son electrónicos, ni analógicos ni digitales, sino químicos o biológicos, por

⁴⁵ *Función de onda* (2007) es la instalación de Lozano-Hemmer sobre la que Asiaghi (2009) escribió.

ejemplo (Di Castro, 2014).

Uno de los primeros efectos del desarrollo de las tecnologías electrónicas y computacionales fue el uso de la electricidad y de componentes electrónicos para incorporar luz y movimiento en las propuestas artísticas que, en consecuencia, se transformaron en fuentes de luz y adquirieron una fuente de energía artificial (Shanken, 2009; Stiles, 2012), pues es necesario recordar que algunas formas de escultura usaron, previamente, el viento o el flujo y la caída del agua para generar movimiento o sonido. La posibilidad de emitir luz y de generar movimiento fue importante en la creación de obras de arte que cambian a través del tiempo y, por lo tanto, escaparan al estatismo del arte visual tradicional.

Otro cambio que acompaña a la posibilidad de cambiar a través del tiempo es el de establecer una relación distinta con el público; la tecnología facilitó la posibilidad de la participación en la obra por parte del público. También es posible que se acepte o se solicite la participación del público en piezas que prescindan del uso de la tecnología pero, de acuerdo con Popper (1993), la interacción depende de la implementación de dispositivos tecnológicos que hacen posible la circulación de acciones entre el espectador y la obra, lo que no sucede en la participación, que consiste en una invitación para que el público genere un cambio en la pieza. La interacción incluso implicó, para Giannetti (2004), la necesidad de utilizar otro término para referirse al espectador que pasó, de ser un *participante*, a convertirse en un *interactor*, con la capacidad de introducir información nueva en el sistema y de crear su propio espectáculo.

En cuanto al sonido, a pesar de que fueron principios mecánicos los que hicieron posible la recepción y reproducción de sonidos, las herramientas electrónicas ampliaron estas posibilidades con la llegada de las tecnologías de transducción (Lara, 2016), que desde un principio estuvieron relacionadas con la necesidad de expandir los límites espaciales y temporales de la voz (Chen, 2016; Sartori, 1998). Así, las tecnologías de transducción pudieron ser, para la voz de las personas, lo que un espejo es para sus rostros (Lara, 2016; Khan, 2001; Sánchez, 2019). Actualmente la computadora ofrece una amplia gama de posibilidades para la recibir, editar, almacenar y reproducir, incluso audio, incluso para generarlo, y también estuvo involucrada en el desarrollo de nuevas formas de crear imágenes, tanto estáticas como en movimiento.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Con la computadora es posible representar una imagen, un sonido y otros objetos, denominados por Manovich (2006) como *objetos de los nuevos medios*, por medio de funciones matemáticas, mientras que también es posible generar representaciones gráficas, estáticas o en movimiento, a partir de términos matemáticos. Por medio de la *representación numérica*, la computadora se convirtió en una plataforma con la capacidad no sólo de presentar textos, imágenes, audios, y otros objetos, sino también de ensamblarlos y de ser verdaderamente una herramienta multimedia (Manovich, 2006; Sartori, 1998). Se trata, entonces, de una máquina a través de la cual la energía, las imágenes y los sonidos son interpretados con un código común; dispuestos en un mismo nivel (Cabezas, 2014).

Desde el siglo XIX se construyeron instrumentos que producían representaciones visuales de la voz, como el eidofono de Margaret Watts Hughes (Lega, 2013), o que generaban luz y sonido de forma simultánea, como el órgano de fuego de Frédéric Kastner (Daniels, 2004a) pero, ahora, la computadora ofrece la posibilidad de llevar a cabo estas mediaciones a través de una misma máquina. Por otro lado, el cómputo físico aumentó esta capacidad, pues percibe y responde a cambios en el entorno a través de sensores (Di Castro, s.f.; Cabezas, 2014; Banzi, 2011). El desarrollo de plataformas del cómputo físico como *Arduino* o *Wiring* no sólo implica que estos dispositivos se han vuelto más rápidos y más compactos, lo que mejora su uso por parte de los artistas, quienes no tienen que lidiar con artefactos pesados, de grandes dimensiones y cuya respuesta dificulta la interacción con el usuario, sino que este desarrollo también afecta la distribución de estos productos; las tecnologías libres y el *hardware* abierto han reducido los costos de estos equipos, con lo que su uso se ha difundido, así como la información sobre su manejo.

El desarrollo de la tecnología no sólo ha permitido acceder a otras maneras de relacionarse con el público; de producir y de articular sonidos e imágenes; también ha permitido que un mayor número de artistas y estudiantes, y también la población en general, tengan acceso a tecnologías con interfaces y lenguajes de programación más amigables. La información se ha puesto al alcance de muchas personas, los costos se han reducido, y los dispositivos son más compactos y rápidos.

Sobre la interpretación del concepto de la transducción en el arte electrónico

Los procesos de transducción y las representaciones entre medios visuales y sonoros son cosas distintas. En el campo del arte, la representación visual de un sonido puede realizarse con las mismas herramientas con las que se elabora cualquier pintura o dibujo; del mismo modo, una representación sonora de una imagen puede realizarse de una manera sencilla, como en *Atlas Eclipticalis* (1961-1962) de John Cage, en donde con un atlas de estrellas, papel pautado y una pluma o un lápiz fue posible ofrecer una representación sonora de los mapas de estrellas (John Cage Complete Works, s.f.), o como en *La vida en los pliegues* de Carlos Amorales, en donde “se estableció una relación entre lo visual, lo textual y lo sonoro” (Montero, 2017, p. 76) después de que se elaboró una serie de instrumentos musicales; de ocarinas, basadas en formas abstractas.

El concepto de la transducción, en cambio, llegó al campo del arte con las tecnologías electrónicas y computacionales; en 1969 el escultor estadounidense Robert Mallery sugirió considerar un nuevo tipo de arte, el *arte transductivo* (Mallery, 1969). Incluso en trabajos más recientes, como los de López (2006, 2010, 2013), y con perspectivas que parten del uso filosófico del concepto de la transducción, como los de Fox (2015a, 2015b), este término se mantiene vinculado al uso de las tecnologías electrónicas y de la computadora.

El uso de este término comprende casi 100 años de historia, con el primer registro de su uso en este trabajo fechado en 1923 (Helmreich, 2015; Johnson, 1931), y ha llegado a disciplinas como la física, filosofía, genética, microbiología, semiótica, música, composición audiovisual y los estudios del sonido, entre otras. Algunos de estos usos son altamente especializados, excluyentes y restrictivos, mientras otros utilizaban este término en sentidos más amplios.

A partir de estos usos se elaboró una interpretación del concepto de la transducción que se ajustara a las piezas que, en un principio y de manera intuitiva, se identificaron como ejemplos de obras de arte electrónico que incorporan procesos de transducción. Para elaborar esta interpretación se utilizó la hermenéutica analógica, una propuesta de Mauricio Beuchot que plantea un equilibrio entre la razón unívoca y la razón equívoca (Beuchot, 2009, 2018), cuyas características son similares a los usos dados a la transducción en las 33 fuentes consultadas.

La amplia libertad que ofrece la metodología de la hermenéutica analógica en sus tres

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

modos de sutileza (Beuchot, 2009) fue aprovechada para analizar, en primer lugar, el significado de la palabra *transducción* para, posteriormente, describir con mayor detalle cinco ejemplos de los principales usos de este término y, finalmente, contrastarlos para identificar las similitudes y los contrastes entre las concepciones de los autores consultados.

En este proceso la libertad metodológica, la noción de equilibrio entre las razones unívoca y equívoca, y la disposición para que “lo científico pueda interpretarse poéticamente y lo poético científicamente” (Beuchot, 2018, p. 55) fueron importantes para ajustar esta propuesta a las necesidades del proyecto, no obstante, es necesario considerar y reconocer la ausencia de límites en el uso de la hermenéutica analógica, señalada por Alcalá (2009), y con la que se sitúa, o como una teoría vacía, pues al tener la capacidad de aplicarse en cualquier campo no puede ser refutada, o como únicamente un conjunto de procedimientos para llegar al conocimiento, “de manera que la hermenéutica analógica sería un camino más, no el único” (Alcalá, 2009, p. 104).

La hermenéutica analógica no es la única ruta para estudiar y conocer el concepto de la transducción y su relación con las prácticas artísticas en las que se representan sonidos de forma visual o estímulos visuales de forma sonora, pero en este trabajo se optó por utilizarla debido a que su manera de proceder, es decir los modos de sutileza adaptados por Beuchot (2009) de Ortiz-Osés, su búsqueda de un balance entre aquellas interpretaciones excluyentes y aquellas demasiado flexibles, y la posibilidad de establecer distintos grados de verdad sin negar ni cancelar las interpretaciones halladas, diseñaron una base adecuada para elaborar esta interpretación sobre el concepto de la transducción, que no tiene pretensiones de ser universal, sino de fomentar la reflexión y la discusión sobre este concepto, cuyo uso en el arte electrónico también podrá ser estudiado bajo otras metodologías y criterios.

En este trabajo se identificaron seis aspectos que componen la interpretación de la transducción en el arte electrónico. El primero está relacionado con el uso filosófico de la palabra *transducción* en el trabajo de Gilbert Simondon, al igual que con uno de los dos esquemas de la transducción trazados a partir de las palabras comúnmente asociadas a este término: se consideró que un proceso de transducción se da entre dos capas de la realidad; las conecta y pone un fenómeno al alcance de la percepción de un nivel distinto, superior o inferior, como los latidos al interior del cuerpo del espectador, que pueden transmitirse al nivel de la sala de exposición.

El segundo aspecto resalta el intercambio energético entre las dos capas de la realidad puestas en contacto. Esto también implica que ambas forman parte de un mismo sistema, y es otra de las razones por las cuales se optó por denominar como *sistemas* a los dispositivos que componen la sección práctica de este proyecto. Este intercambio de energía es posible porque una interfaz media la comunicación entre ambas capas y establece una relación de isomorfismo entre ellas; en el tercer aspecto se expuso que esta interfaz puede ser analógica o digital. En el caso de los sistemas interactivos-transductivos construidos en este proyecto, la interfaz se refiere a la placa diseñada y armada con la orientación del Centro Multimedia, sino al conjunto de elementos electrónicos, como dicha placa, y de dispositivos computacionales, como los tableros de *Arduino*, que sirven de mediadores entre el usuario y el transductor táctil, los LEDs y el motor.

En el cuarto aspecto se reconoció que una gran parte de las características y de los parámetros fijados en la mediación entre los dos dominios conectados son elegidos por el artista, muchas veces de acuerdo con sus necesidades expresivas o con las herramientas de las que dispone, por lo que no se espera que los procesos de transducción en el arte electrónico gocen de objetividad científica, ni que puedan mostrar, por ejemplo, el verdadero brillo de la voz, ni el auténtico patrón de cimática generado por determinada palabra. Después de todo, aquí se considera que un proyecto artístico y un proyecto científico obedecen a propósitos distintos.

En el quinto aspecto se incluyeron dos esquemas temporales de un proceso de transducción; el esquema secuencial y el esquema de encuentro. Es posible aplicar el primero de ellos a su desarrollo técnico, en donde la energía fluye en un sentido únicamente, desde la voz del espectador al micrófono, a la interfaz electrónica y a los LEDs, por ejemplo. En contraste, el segundo esquema, que representa una perspectiva estética del proceso, se caracteriza no por un flujo unidireccional, como el primero, sino por una modulación de energía.

Finalmente, en el sexto aspecto se señaló que los procesos de transducción son utilizados para percibir algo de una manera distinta a la de la experiencia cotidiana. Su propósito es evidenciar algo que normalmente pasa inadvertido; se pone al alcance de la percepción humana.

A pesar de que se procuró mantener un equilibrio entre las distintas posturas y definiciones consultadas sobre la transducción, es evidente que una gran parte de los elementos

que conforman esta interpretación se desprenden del proyecto filosófico de Gilbert Simondon y de algunas de sus aplicaciones en contextos artísticos, como el trabajo de Fox (2015a, 2015b). Esta predominancia se debe a que el concepto de la transducción de Simondon (2015) ya se había distanciado de una definición exclusivamente técnica y tecnológica basada en la física, para adaptarse a escenarios en los que se describe el proceso del crecimiento de un cristal o, en el caso de la biología, los cambios de una especie a través del tiempo, análogo a la expansión de un cristal, o el crecimiento de un individuo, “que no tiene análogo en física” (Simondon, 2015, p. 196). Este concepto incluso fue utilizado por Fox (2015a) para analizar las obras interactivas del *new media art*.

Sobre la propuesta de producción

A través de 22 sesiones de trabajo se logró completar los tres sistemas interactivos-transductivos que conforman la propuesta de producción de este proyecto, los cuales representan las variaciones en la voz del usuario por medio de la vibración generada por un transductor táctil, de la luz emitida por cuatro LEDs, y del movimiento de un motor con una hélice a manera de ventilador.

La denominación dada, *sistemas interactivos-transductivos*, está relacionada, en principio, con la noción de sistema, que en el campo del arte considera la participación del espectador como un elemento esencial para el desarrollo de la obra, en lugar de considerar a ésta de manera aislada (Edmonds et al., 2004). De modo similar, en la propuesta filosófica de Simondon (2015) no se acepta al *individuo* como un ser absoluto o constituido, al igual que “el principio de individuación [cursivas añadidas] no es una realidad aislada, (...) el principio de individuación (...) es el sistema completo en el cual se opera la génesis del individuo” (Simondon, 2015, pp. 61-62). La noción de sistema es necesaria para Simondon, pues únicamente se puede contener *energía potencial* en un sistema, y la energía es “condición de la metaestabilidad” (Simondon, 2015, p. 66), un estado que, a su vez, hace posible la individuación (Barthélémy, 2012).

Los sistemas también son interactivos, no sólo porque permiten la participación del

espectador, o usuario, sino que entablan, con él, una relación de ida y vuelta, en donde el usuario es capaz de introducir información al sistema (Popper, 1993; Giannetti, 2004), pues al hablar se genera una representación numérica de los sonidos que emite, y esta información vuelve a él de una manera distinta. Y los sistemas son también transductivos, pues es posible observar en ellos los seis aspectos delineados en la interpretación de la transducción en el arte electrónico elaborada en este trabajo.

Las tecnologías libres y el *hardware* abierto facilitan el acceso a dispositivos y programas de computadora a un bajo costo; esto no representa únicamente una gran facilidad para tener acceso a estas herramientas, sino que también incrementa las posibilidades de encontrar mayor información sobre su funcionamiento e implica que los hallazgos compartidos llegarán a un público más amplio y numeroso. Por estas razones, para la construcción de los tres sistemas, se escogió utilizar programas como *SuperCollider* y *Pure Data*, además de los tableros de *Arduino*, así como una *Raspberry Pi* pues, a pesar de que el costo de estas computadoras es más elevado que el de los tableros de *Arduino*⁴⁶, se mantienen aún en un rango accesible para un gran número de usuarios.

Aun cuando los sistemas fueron completados y cumplieron con las funciones concebidas para cada uno de ellos, el autor no logró desarrollar un dominio avanzado de estas herramientas, sino probablemente uno intermedio, pues antes de realizar este proyecto no había estado en contacto con estas tecnologías. Este hecho tiene dos implicaciones: la primera es que los sistemas aún pueden alcanzar grados más altos de sofisticación y complejidad, pues una gran parte del tiempo que se dedicó a su construcción se utilizó en aprender a utilizar las herramientas escogidas y, después, en que los sistemas funcionaran, pero el tiempo dedicado a su perfeccionamiento no fue abundante. La segunda implicación es el testimonio del aprendizaje del autor quien, en un periodo menor al que comprende la elaboración de este trabajo⁴⁷, logró aprender a utilizar *SuperCollider*, *Pure Data*, *Arduino* y *Raspberry Pi* y desarrollar una propuesta práctica que, en su versión final, incluyó el uso y la comunicación entre tres de estas cuatro

⁴⁶ Con un precio de aproximadamente diez veces el de estos.

⁴⁷ Es decir, un periodo menor a dos años.

herramientas⁴⁸.

Durante la construcción de los sistemas se decidió adaptar los postulados de la mentalidad técnica de Simondon (2009), lo que permitió llevar a cabo este proceso de una manera organizada, así como registrar los cambios, obstáculos y soluciones que se presentaron. La mentalidad técnica fue resumida por Fox (2015b) como la comprensión de “los aspectos funcionales de una determinada tecnología” (p. xii). Para considerar un objeto como un producto de la mentalidad técnica es preciso que éste cumpla con dos requisitos: por una parte, debe contener elementos diseñados para resistir y perdurar y, al mismo tiempo, otros de sus elementos deben ser fácilmente reemplazables; este balance mantendrá al objeto en un estado constante actualizado. El objeto también debe poseer una estructura reticular, en la que lo nuevo pueda ser añadido sin contrastar con lo antiguo.

En los sistemas construidos es posible observar tres clases de materiales o componentes que se distinguen por su resistencia y su apertura a la modificación: los transistores, las resistencias, los cables y, en general, todos los componentes que conforman la interfaz electrónica, pueden dañarse fácilmente y su vida útil no es particularmente larga; estos componentes son fabricados en grandes cantidades, por lo que es fácil reemplazarlos si se dañan, sin que su reemplazo tenga un efecto perceptible en el desempeño de los dispositivos. También están otros objetos como los tableros *Arduino*, la computadora *Raspberry Pi*, el transductor táctil, el amplificador y el adaptador de corriente; estos objetos con más complejos que los componentes electrónicos y se espera que su vida útil sea más larga. Su reemplazo también se vuelve más costoso, y en el caso de los tableros de *Arduino* y de la *Raspberry Pi*, su sustitución también implica que será necesario cargar en los nuevos dispositivos los mismos programas y ajustes que poseían los anteriores. Finalmente están los *sketches* y *patches* de *Arduino* y *Pure Data*, que consisten en los componentes que mejor se ajustan al cambio, pues para probar con un *sketch* o *patch* distinto ni siquiera hace falta buscar en tiendas especializadas, sino que basta con

⁴⁸ También es necesario resaltar que durante este proceso fue posible encontrar una amplia oferta de talleres y cursos gratuitos o de bajo costo, tanto en el estado de Aguascalientes como en la Ciudad de México. Algunos de estos cursos no fueron presenciales, lo que facilita su acceso desde cualquier estado del país. Es la intención del autor que este testimonio, al igual que el resto del presente trabajo, sirva a manera de incentivo e inspiración para que cualquier artista o estudiante interesado en aprender a utilizar estas tecnologías descubra que existe una gran variedad de recursos a su alcance que podrán apoyar su aprendizaje.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

crear una copia del programa anterior para realizar los cambios deseados en la nueva versión y probarla; si no satisface los criterios del usuario, será igual de sencillo cargar de nuevo la versión anterior que ya había sido probada.

Algunos de los componentes utilizados en la construcción de los sistemas son más aptos al cambio que otros, pero ninguno de ellos es especialmente resistente. Una carcasa para la exposición de estos sistemas podría llenar el vacío del componente resistente requerido; un objeto que pueda mantener una estructura constante, dentro del cual los otros componentes podrían ser extraídos y nuevamente integrados, pero en el estado actual de los sistemas no se satisface esta demanda para considerarlos como un objeto de la mentalidad técnica. Tampoco poseen una estructura reticular, pues no es posible añadir elementos nuevos sin cambiar considerablemente la estructura de los sistemas.

Problemas, finales y comienzos

Este apartado constituye la última sección de este trabajo, que no equivale al final de esta investigación, como expresó Terrones (2018), para quien una investigación no concluye, y los documentos aparentemente completos representan en realidad el abandono de una sección en un proceso que continúa. Así se presenta este trabajo que concluye, pero ante el cual, al mismo tiempo, se extienden algunas rutas formuladas a partir de diversos problemas y hallazgos encontrados durante este proceso.

En el sexto aspecto de la interpretación del concepto de la transducción elaborada en este trabajo se planteó que mediante el uso de los procesos de transducción en el arte electrónico se busca hacer visible o perceptible algo que previamente no lo era. El deseo de representar de manera visual un elemento de la realidad, antes invisible, proviene de una herencia que, en Occidente, se remonta a la Edad Moderna y a la invención del telescopio y del microscopio. Para D'Ignazio (2005), las obras de arte que tratan de volver visible algo invisible permanecen en el ámbito de lo simbólico, sin la posibilidad de convertirse en *máquinas micropolíticas* las cuales, entre otras cosas, permiten producir experiencias de multiplicidad, algo que escapa a las relaciones simbólicas, no obstante, es necesario preguntarse si existe la posibilidad de producir

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

experiencias de disonancia y multiplicidad mediante el uso de los procesos de transducción, pues las relaciones simbólicas son más o menos evidentes en algunas piezas que en otras, como sucede en *Almacén de corazonadas* de Rafael Lozano-Hemmer y *Cordiox* de Ariel Guzik; en la primera, la relación entre los latidos de los espectadores y los destellos en los focos es evidente, mientras que en la segunda es mucho más difícil identificar con qué se relaciona cada sonido emitido por la máquina, aunque sea claro que representan elementos invisibles, imperceptibles, de la realidad.

Obras como las anteriores sirvieron para elaborar una interpretación sobre el concepto de la transducción en el arte electrónico, pero no se profundizó en el efecto que el uso de los procesos de transducción tiene en este tipo de obras, ni en las relaciones que podrían existir entre ellas, más allá de los seis aspectos indicados que, se presume, son comunes entre ellas. Para fortalecer esta propuesta sería necesario analizar un mayor número de obras, con las que incluso podría señalarse una tendencia por parte de distintos artistas mexicanos hacia la representación visual de elementos sonoros o al revés, la representación sonora de estímulos visuales, incluso cuando algunas de las piezas en cuestión no correspondan al concepto de la transducción.

Para continuar el desarrollo, la reflexión o la crítica sobre el concepto de la transducción y su relación con el arte electrónico no sólo sería necesario estudiar más obras u obras distintas a las que se mencionaron en este trabajo, sino que también sería útil considerar otra metodología de trabajo, distinta a la hermenéutica analógica, con la cual se pueda complementar o contrastar la interpretación que aquí se propuso. En todo caso, dicha investigación futuro podrá utilizar la bibliografía de este trabajo como punto de partida, además de que algunos de sus contrastes principales y de sus vínculos más estrechos ya fueron mencionados en este trabajo. Se considera, asimismo, que en todo trabajo que se refiera al concepto de la transducción y a su uso en el arte se debería consultar, cuando menos, el trabajo de Simondon (2015), Mallery (1969), Fox (2015a, 2015b), Seiça (2012)⁴⁹ y López (2006, 2010, 2013).

La perspectiva simondoniana de la transducción que se utilizó en este trabajo se basó principalmente de la individuación física, más que en la individuación vital o psíquico-colectiva,

⁴⁹ Y también la versión editada de la tesis de maestría de Seiça (2017) que no se pudo consultar en este trabajo, titulada *Transdução: Processos de Transferência na Literatura Eletrônica e Arte Digital*.

que también podrían ser discutidas con una mayor extensión en trabajos similares. En cuanto al concepto mismo, aquí se identificaron algunos momentos importantes en la historia de su uso, como su primera aparición y su llegada a otras disciplinas, sin embargo, no se halló información sobre su uso previo al siglo XX, pero se considera que la consulta de fuentes en las que se aborde esta parte en la historia de la palabra *transducción* podría aportar consideraciones valiosas para su reflexión y uso en el arte.

Finalmente, se hace un llamado no sólo a la reflexión y discusión sobre las representaciones entre los dominios visual y sonoro y sobre el concepto de la transducción en el arte, sino también a la enseñanza de la tecnología y el arte, la cual constituye uno de los intereses que despertaron hacia el final de este trabajo. Se espera que algunas de las soluciones técnicas concernientes al uso y a la comunicación entre *Arduino*, *SuperCollider* y *Pure Data* sean utilizadas y difundidas por los lectores de este trabajo. En esta ruta, la última maqueta de 5V presentada en la sección práctica de este proyecto representa un primer paso en la preparación de talleres y cursos sobre arte, tecnología y representaciones cinéticas, lumínicas y visuales de audio.

El concepto de la transducción cuenta con una historia de casi un siglo, mientras que su uso intermitente en el arte ya superó las cinco décadas. En este trabajo, algunas de las principales concepciones de la transducción se pusieron en contacto para establecer un balance y elaborar una propuesta; un punto de encuentro a partir del cual artistas y académicos podrán nombrar y discutir con mayor facilidad un fenómeno que se ha presentado en la producción artística desde las primeras muestras del arte electrónico y computacional.

Referencias

- Asiaghi, A. (2009). Materialized Surveillance. *Mechanical Engineering*, 131(3), 72.
- Adell, F. y Casacuberta, D. (s.f.). Producción y publicación digital. *Universitat Oberta de Catalunya*. Recuperado de <http://disseny-test.uoc.edu/materials/prod-digital/es/5-3-4-transduccion/>
- Alcalá, R. (Febrero-marzo, 2009). Los límites de la hermenéutica analógica. *Multidisciplina*, (3), 103-106.
- Alonso, R. (2006). Arte, ciencia y tecnología. Vínculos y desarrollo en Argentina. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 20, 21-34.
- Andrade, A. (10 de marzo de 2019). Suite de tres artistas mexicanos que trabajan con tecnología. *Aguaardiente*, (13). Recuperado de <https://aguaardiente.uaa.mx/13/anf01.html>
- Antimodular (s.f.). “Pulse Room”. Recuperado de http://antimodular.com/showimage_embed.php?img=puebla_2007&proj=22&type=artwork&id=10
- Arias, L. M. (2016). ¿Qué queremos decir cuando decimos “imagen”? Una aproximación desde la teoría de las funciones del lenguaje. *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, 56, 137-155.
- Arnau, A., y Soares, D. (2008). Fundamentals of Piezoelectricity. En A. Arnau (Ed.), *Piezoelectric Transducers and Applications* (pp. 1-38). Valencia, España: Springer.
- Banerji, D. (2015). Individuation, Cosmogogenesis and Technology: Sri Aurobindo And Gilbert Simondon. *Integral Review*, 11(1), 65-79.
- Banzi, M. (2011). *Getting Started with Arduino*. California, Estados Unidos: Maker Media, Inc.
- Bañuelos, C. M. (s.f.). *SuperCollider: Ambiente de programación* [archivo de video]. Recuperado de <https://www.coursera.org/learn/composicion-algoritmica-supercollider/lecture/ft6ix/supercollider-ambiente-de-programacion>
- Barragán, H. (2004). *Wiring: Prototyping Physical Interaction Design* (Tesis de maestría inédita). Interaction Design Institute Ivrea. Italia.

- Barragán, H. (2016). *The Untold History of Arduino*. Hernando Barragán. Recuperado de <https://arduinhistory.github.io/>
- Barragán, H. y Reas, C. (2007). Extension 8: Electronics. En C. Reas y B. Fry, *Processing. A Programming Handbook for Visual Designers and Artists*. (pp. 633-660). Massachussets, Estados Unidos: The MIT Press.
- Barrios, X. (2015). *Arte, hibridación y nuevas tecnologías en la sociedad de la información. La composición digital en la imagen como práctica artística* (Tesis doctoral inédita). Universidad del País Vasco. España.
- Bartha, P. (2019). Analogy and Analogical Reasoning, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Recuperado de <https://plato.stanford.edu/entries/reasoning-analogy/>
- Barthélémy, J-H. (2012). Glossary: Fifty Key Terms in the Works of Gilbert Simondon. En A. De Boever, A. Murray y J. Roeffe. (Eds.), *Gilbert Simondon: Being and Technology* (pp. 203-231). Edimburgo, Escocia; Edinburgh University Press.
- Barthélémy, J-H. e Iliadis, A. (2015). Gilbert Simondon and the Philosophy of Information. An Interview with Jean-Hughes Barthélémy. *Journal of French and Francophone Philosophy*, 23(1), 102-112. doi: <http://dx.doi.org/10.5195/jffp.2015.679>
- Bastien, P. (Septiembre, 2019). *The origins of sound art*. Trabajo presentado en Festival Internacional de Música y Nuevas Tecnologías Visiones Sonoras, Morelia, México.
- Beuchot, M. (2009). *Tratado de hermenéutica analógica. Hacia un nuevo modelo de interpretación*. México: Editorial Itaca.
- Beuchot, M. (2018). *Lecciones de hermenéutica analógica*. México: UNAM.
- Blumenthal, R. L. (2019). Crystals. *Salem Press Encyclopedia of Science*. Recuperado de <https://dibpxy.uaa.mx/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ers&AN=88806481&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Builes, I. (2018). Gilbert Simondon y Jean Piaget: A propósito del argumento del isomorfismo. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia*, 10(1), 195-214. doi:10.17533/udea.rp.v10n1a08
- Cabezas, J. (2014). *Afecciones nómadas: Devenir de la interacción, el sonido y la imagen* (Tesis

de maestría inédita). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

Cambridge Dictionary. (s.f.a). *Electronic media*. Cambridge Dictionary. Recuperado de <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/electronic-media>

Cambridge Dictionary. (s.f.b). *Electronic*. Cambridge Dictionary. Recuperado de <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/electronic>

Campbell, J. (2019). Analog signals (technologies). *Salem Press Encyclopedia of Science*.

Cárdenas, A. (2011). Piaget: lenguaje, conocimiento y Educación. *Reflexiones. Revista Colombiana de Educación*, (60), 71-91.

Carlson, M. y Schmidt, U. (2012). Pulse on pulse: modulation and signification in Rafael Lozano-Hemmer's *Pulse Room*. *Journal of Aesthetics and Culture*, 4(1). doi: 10.3402/jac.v4i0.18152

Chabot, P. y Lagarde, F. (2013). Simondon du désert [película en Vimeo]. Recuperado de <https://vimeo.com/156520798>

Chau, C. (2014). Movement and Time in the Nexus between Technological Modes with Jean Tinguely's *Kineticism*. *Arts*, 3, 394-406. doi:10.3390/arts3040394

Chaves, A. G., y Ordoñez, A. (s.f.). Recombinación en bacterias. Transformación. Conjugación. Transducción generalizada. Recuperado de <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/genetica/wp-content/uploads/sites/12/2016/11/CAP%C3%8DTULO-16--RECOMBINACI%C3%93N-EN-BACTERIAS.pdf>

Chen, C. J. (2016). *Elements of Human Voice*. Nueva Jersey, Estados Unidos: World Scientific.

Chen, G. D., Lin, C. W., y Fan, H. W. (2015). The History and Evolution of Kinetic Art. *International Journal of Social Science and Humanity*, 5(11). doi: 10.7763/IJSSH.2015.V5.581

Código. (25 de julio de 2014). Cuestionario Código: Manuel Rocha Iturbide. *Código*. Recuperado de <https://revistacodigo.com/arte/cuestionario-codigo-manuel-rocha-iturbide/>

compArt. (s.f.a). *Georg Ness: Computergrafik*. compArt daDA: the database Digital Art. Recuperado de <http://dada.compart-bremen.de/item/exhibition/164>

- compArt. (s.f.b). *Computer-Generated Pictures (Noll & Julesz)*. compArt daDA: the database Digital Art. Recuperado de <http://dada.compart-bremen.de/item/exhibition/172>
- compArt. (s.f.c). *Computer-Grafik (Nake & Ness)*. compArt daDA: the database Digital Art. Recuperado de <http://dada.compart-bremen.de/item/exhibition/171>
- compArt. (s.f.d). *Billy Kluver*. compArt daDA: the database Digital Art. Recuperado de <http://dada.compart-bremen.de/item/agent/369>
- Courribet, B. (2006). Composing audio-visual art: The issue of time and the concept of transduction. *Zenodo*. Recuperado de <http://doi.org/10.5281/zenodo.849327>
- Cross, R. D. (2019). Wind. *Salem Press Encyclopedia of Science*.
- Cuenca, M. J. y Hilferty, J. (1999). *Introducción a la lingüística cognitiva*. Barcelona, España: Editorial Ariel, S.A.
- D'Ignazio, C. (2005). *How to Make the Invisible Stay Invisible. Three Case Studies in Micropolitical Engineering*. kanarinka. Recuperado de <http://www.kanarinka.com/wp-content/uploads/2015/07/HowToMakeTheInvisibleStayInvisible.pdf>
- Daniels, D. (2004a). *Sound and Vision in Avantgarde & Mainstream*. Medien Kunst Netz. Recuperado de http://www.medienkunstnetz.de/themes/image-sound_relations/sound_vision/
- Daniels, D. (2004b). *Media-Art/Art-Media. Forerunners of media art in the first half of the twentieth century*. Medien Kunst Netz. Recuperado de http://www.medienkunstnetz.de/themes/overview_of_media_art/forerunners/
- De Assis. (2017). Gilbert Simondon's 'Transduction' as Radical Immanence in Performance. *Performance Philosophy*, 3(3), 695-716. doi: <https://doi.org/10.21476/PP.2017.33140>
- De Bruyn, D. (2012). *Black Noise*. Maria Jane. Recuperado de <http://marciajane.com/selected-texts/essay-by-dirk-de-bruyn/>
- Di Castro, A. (s.f.). *Cómputo físico*. Academia. Recuperado de <http://www.andreadicastro.com/academia/ComputoFisico/CF.html>
- Di Castro, A. (2014). *Arte electrónico y arte digital*. Academia New Media. Materiales de apoyo. Nuevas tecnologías en las artes. Recuperado de <http://www.andreadicastro.com/>

academia/newmedia/ARTE_ELECTRONICO_DIGITAL.xhtml#

Diccionario de la lengua española. (2015a). *Imagen*. Diccionario de la lengua española.

Recuperado de <https://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=imagen>

Diccionario de la lengua española. (2015b). *Sonido*. Diccionario de la lengua española.

Recuperado de <https://dle.rae.es/?id=YMV5Hqd>

Diccionario de la lengua española. (2015c). *Audio*. Diccionario de la lengua española.

Recuperado de <https://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=audio>

Diccionario de la lengua española. (2015d). *Estructura*. Diccionario de la lengua española.

Recuperado de <https://dle.rae.es/estructura>

De Haro, V. (2007). Mauricio Beuchot: *Lineamientos de hermenéutica analógica*. *Tópicos*, (32), 217-222.

Dietrich, F. (1985). Visual Intelligence: The First Decade of Computer Art (1965-1975). *IEEE Computer Graphics and Applications*, 5(7), 33-45.

Dziak, M. (2019). Light. *Salem Press Encyclopedia of Science*.

Editorial Herder México. (s.f.). *Gilbert Simondon*. Editorial Herder México. Recuperado de <https://herder.com.mx/es/autores-writers/gilbert-simondon>

Edmonds, E., Turner, G., y Candy, L. (Enero, 2004). *Approaches to interactive art systems*.

Trabajo presentado en 2nd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Singapur.

Edstrom, B. (2016). *Arduino™ for Musicians. A Complete Guide to Arduino and Teensy Microcontrollers*. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press.

Enciclopedia Británica. (19 de mayo de 2009). *Lissajous figure*. Enciclopedia Britannica.

Recuperado de <https://www.britannica.com/science/Lissajous-figure>

Enciclopedia Británica. (19 de abril de 2018a). *Isomerization*. Enciclopedia Britannica.

Recuperado de <https://www.britannica.com/science/isomerization>

Enciclopedia Británica. (20 de julio de 2018b). *Conservation of energy*. Enciclopedia Britannica.

Recuperado de <https://www.britannica.com/science/conservation-of-energy>

Enciclopedia Británica. (18 de febrero de 2019). *Transduction*. Enciclopedia Britannica.

- Recuperado de <https://www.britannica.com/science/transduction-microbiology>
- Enciclopedia Británica. (3 de febrero de 2020a). *Energy*. Enciclopedia Britannica. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/energy>
- Enciclopedia Británica. (6 de abril de 2020b). *Vibration*. Enciclopedia Britannica. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/vibration>
- Exploratorium. (s.f.). Vocal Visualizer. Use your voice to transform laser light into dazzling patterns. *Exploratorium*. Recuperado de <https://www.exploratorium.edu/snacks/vocal-visualizer>
- Fedorova, M. (6 de octubre de 2014). Tyler Fox at LocoMotoArt. *Temporary*. Recuperado de <http://temporaryartreview.com/tyler-fox-at-locomotoart/>
- Fekete, J., Wijk, J. J., Stasko, J. T., y North, C. (2008). The Value of Information Visualization. En A. Kerren, J. T. Stasko, J. Fekete, y C. North. (Eds.), *Information Visualization. Human-Centered Issues and Perspectives* (pp. 1-18). Berlin, Alemania: Springer.
- Fernández, M. (2008). Detached from HiStory: Jasia Reichardt and *Cybernetic Serendipity*. *Art Journal*, 67(3), 6-23. doi: 10.1080/00043249.2008.10791311
- Floe Inclusive Learning Design Handbook. (s.f.). *Sonification*. Floe. The Inclusive Learning Design Handbook. Recuperado de <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>
- Fox, T. S. (s.f.). *Biolesce*. Tyler Fox. Recuperado de <http://www.tylersfox.com/487>
- Fox, T. S. (2015a). Prehensive transduction: Techno-aesthetics in new media art. *Platform: Journal of Media and Communication*, 6, 96-107.
- Fox, T. S. (2015b). *Transductive Praxis in BioArt: Relational Ontology and Aesthetics of Nonhuman Experience* (Tesis doctoral inédita). Simon Fraser University. Columbia Británica, Canadá.
- Frohnert, C. (Mayo, 2009). *Heart Beats Dust: The Conservation of an Interactive Installation from 1968 and an Introduction to E.A.T (Experiments in Art and Technology)*. Trabajo presentado en Electronic Media Group Session AIC 35th Annual Meeting, Los Angeles, Estados Unidos.
- Galindo, R. P. (2014). *Danza e interactividad. Reflexiones sobre la experiencia estética del*

intérprete en la danza con medios digitales a través de la técnica de rastreo de movimiento (Tesis de maestría inédita). Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México.

García, L. (2010). *Pulsum Plantae*. lessnullvoid. Recuperado de <http://lessnullvoid.cc/pulsum/>

García, L. (2012). *Pulsum Plantae [2012]*. INTERSPECIFICS. Recuperado de <http://interspecifics.cc/work/pulsum-plantae-2012/>

Giannetti, C. (Enero, 2004). *El espectador como interactor*. Trabajo presentado en Centro Gallego de Arte Contemporáneo, Santiago de Compostela, España.

Griffiths, A. J. F., Miller, J. H., Suzuki, D. T., Lewontin, R. C., y Gelbart, W. M. (2000). Transduction. En W. H. Freeman (Eds.), *An Introduction to Genetic Analysis* [versión en línea]. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21760/>

Grond, F., y Berger, J. (2011). Parameter Mapping Sonification. En T. Hermann, A. Hunt y Neuhoff, J. G. (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 363-398). Berlín, Alemania: Logos Publishing House.

Gronlund, M. (2017). *Contemporary Art and Digital Culture*. Nueva York: Routledge.

Gubern, R. (1987). *La mirada opulenta. Exploración de la iconosfera contemporánea*. Barcelona, España: Gustavo Gili.

Haines & Hinterding. (2009). Aura [Descripción de pieza en el sitio web de los artistas]. Haines & Hinterding. Recuperado de <http://www.haineshinterding.net/2009/06/24/aura/>

Harriman, J. (2015). *Feedback Lap Steel: Exploring Tactile Transducers as String Actuators*. Trabajo presentado en International Conference on New Interfaces for Musical Expression, Los Angeles, Estados Unidos.

Hart, J. (1980). Preface. En G. Simondon, *On the Mode of Existence of Technical Objects*. (pp. I-XXIII). Canadá: University of Western Ontario.

Harte, K. [Kenneth Harte]. (26 de octubre de 2018). *PD Sigmund - Pitch Tracking* [video en YouTube]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=BRtoBR12Yoc>

- Hatanaka, M. (julio, 2016). *The Transition of Art and Technology in Japan*. Trabajo presentado en el International Symposium for Media Art. Art & Technology: Changing Times, Contemporary Trends, Future Platforms, Japón.
- Helmreich, S. (2015). Transduction. En D. Novak y M. Sakakeeny. (Eds.), *Keywords in Sound* [versión Kobo Desktop]. Recuperado de <https://www.dukeupress.edu/keywords-in-sound>
- Heredia, J. M. (2018). Forma e individuación: Simondon y la Gestalpsychologie. *Eidos*, (29), 366-399. doi: <http://dx.doi.org/10.14482/eidos.29.9846>
- Hermann, T., Hunt, A., y Neuhoff, J. G. (2011). Introduction. En T. Hermann, A. Hunt y J. G. Neuhoff. (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 1-6). Berlin, Alemania: COST Office.
- Hernández, M. J. (2017). El Espíritu Santo: Aliento de vida, comunión activa y capacitador de posibilidades en Basilio de Cesarea. *Carthaginensia*, 33(63), 109-128.
- Herrera, J. M. (mayo, 2010). Conceptos fundamentales y labor de la Hermenéutica analógica. Trabajo presentado en XXVII Encuentro Nacional de Estudiantes y Pasantes de Filosofía. El Ser humano como evento, Tijuana, México.
- Hosch, W. L. (2009). Isomorphism. En *Enciclopedia Británica*. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/isomorphism-mathematics>
- Igoe, T. (2007). *Making Things Talk*. California, Estados Unidos: Maker Media, Inc.
- Institute of Contemporary Arts. (s.f.). *Cybernetic Serendipity: A Documentation*. Institute of Contemporary Arts. Recuperado de <https://archive.ica.art/whats-on/cybernetic-serendipity-documentation>
- Interspecifics. (s.f.). *Pulsu(m) Plantae [2012]*. Interspecifics. Recuperado de <http://interspecifics.cc/work/pulsum-plantae-2012/>
- Jane, M. (2015). *Pulse, change, flux: the energetic image* (Tesis de maestría inédita). The Univesrity of Melbourne. Melbourne, Australia.
- Jay, M. (1988). Scopic Regimes of Modernity. En H. Foster. (Ed.), *Vision and Visuality* (pp. 3-23).Seattle, Estados Unidos: Bay Press.

- Jenny, H. (Diciembre, 1969). Cymatics: the sculpture of vibrations. *The UNESCO Courier: a window open on the world*, 22(12), 4-31. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000078290>
- Jeon, M., Fiebrink, R., Edmonds, E. A., y Herath, D. (2019). From rituals to magic: Interactive art and HCI of the past, present, and future. *International Journal of Human-Computer Studies*, 131, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.06.005>
- Jewitt, C. (s.f.). *Multimodality*. En *Glossary of Multimodal Terms*. Recuperado de <https://multimodalityglossary.wordpress.com/multimodality/>
- John, B. (2004). The Sounding Image. *About the relationship between art and music — an art-historical retrospective view*. Medien Kunst Netz. Recuperado de http://www.medienkunstnetz.de/themes/image-sound_relations/sounding_image/
- John Cage Complete Works (s.f.). Atlas Eclipticalis [Archivo en línea]. Recuperado de http://johncage.org/pp/John-Cage-Work-Detail.cfm?work_ID=31
- Johnson, K. S. (1931). *Transmission Circuits for Telephonic Communication. Methods of Analysis and Design*. Nueva York, Estados Unidos: D. Van Nostrand Company, Inc.
- Kahn, D. (2001). *Noise, Water, Meat. A History of Sound in the Arts*. Massachusetts, Estados Unidos: The MIT Press.
- Kerren, A., Stasko, J. T., Fekete, J., y North, C. (2008). Preface. En A. Kerren, J. T. Stasko, J. Fekete, y C. North. (Eds.), *Information Visualization. Human-Centered Issues and Perspectives* (pp. V-VII). Berlin, Alemania: Springer.
- Koutsomichalis, M. (2013). *Mapping and Visualization with SuperCollider* [versión Google Play]. Recuperado de <https://play.google.com/books/reader?id=XeotAgAAQBAJ&printsec=frontcover>
- Kress, G. (2003). *Literacy in the New Media Age*. Londres, Inglaterra: Routledge.
- Lambert, L. (Productor). (10 de agosto de 2013). *Sarah Choukah /// Gilbert Simondon and Bio-Hacking* [Audio en podcast]. Recuperado de <https://soundcloud.com/the-funambulist/sarah-choukah-archipelago>
- Stiles, K. (2012). Art and Technology. En K. Stiles y P. Selz, *Theories and Documents of Contemporary Art*, (pp. 384-396).

- California, Estados Unidos: University of California Press.
- Lapworth, A. C. (2016). Theorizing Bioart Encounters after Gilbert Simondon. *Theory, Culture and Society*, 33(3), 123-150. <https://doi.org/10.1177/0263276415580173>
- Lara, R. (2016). *Poner la escucha en (corto) circuito. Arte electrónico y experimentación sonora en México: dos décadas* (Tesis doctoral inédita). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Lara, R. (mayo-junio, 2017). Tramas del arte sonoro en México. *Código*, (98), 64-67.
- Lega, F. (2013). *La Cimática como herramienta de expresión artística* (Tesis doctoral inédita). Universitat de Barcelona.
- Lessnullvoid. (s.f.). *Lessnullvoid/Pulsum-Plantae* [archivo digital en GutHub]. Recuperado de <https://github.com/Lessnullvoid/Pulsum-Plantae>
- Letiche, H. y Moriceau, J. (2017). *Simondon: investigating the pre-organizational*. *Culture and Organization*, 23(1), 1-13. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/14759551.2016.1240358>
- Lopes, D. (2010). *A Philosophy of Computer Art*. Milton, Reino Unido: Routledge.
- López, C. (2006). *Geste, son et image: vers un changement de paradigme* (Memoria de maestría inédita). Université Paris VIII.
- López, C. (otoño, 2010). Transduction between image and sound in compositional processes. *Sonic Ideas/Ideas Sónicas*, 3(1), 43-47.
- López, C. (2013). Non-real-time transduction and its use as a compositional technique for the creation of visual music. Recuperado de http://www.carloslopezcharles.com/default/texts_files/Non-real-time%20ICMC%20Carlos%20Lopez%20Charles.pdf
- López-Varela, A. (2013). Introduction. *Journal of Comparative Literature and Aesthetics*, 36(1-2), 1-30.
- Mackenzie, A. (2002). *Transductions. Bodies and Machines at Speed*. Londres, Inglaterra: Continuum.
- Madavan, V. R., y Suddala, S. (2015). Gender Recognition System Using Voice Frequency Range Detection and Creating Warning Systems. *International Journal of Emerging Technology in*

Computer Science & Electronics, 13(2), 268-270.

- Maestro, J. G. (12 de diciembre de 2005). *Semiotics and Transduction. Materialistic Interpretation of Human Communication*. Academia Editorial del Hispanismo. Recuperado de <http://www.academiaeditorial.com/web/semiotics-and-transduction/>
- Mallery, R. (1969). Computer Sculpture. *ArtForum*, 7(9), 29-35. Recuperado de https://archive.org/stream/ComputerSculptureArticleByRobertMalleryInArtforumMay1969-Pulsa/ComputerSculptureArticleByRobertMalleryInArtforumMay1969-Pulsa_djvu.txt
- Mallery, R. (1975). *Robert Mallery*. Artist and Computer. Recuperado de <https://www.atariarchives.org/artist/sec2.php>
- Mannu, G. S. (2014). Retinal phototransduction. *Neurosciences*, 19(4), 275–280. Recuperado de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4727664/>
- Manovich, L. (2006). El lenguaje de los nuevos medios de comunicación. La imagen en la era digital. Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- Marbaniang, D. (1998). In the Beginning Was the Word. An Exegesis of John 1:1-5. *Central India Theological Seminary*.
- Martínez, M. y Jasso, J. L. (2006). Arte por computadora. *Casa del tiempo*, (88), 62-65.
- Mavers, D., y Gibson, W. (s.f.). *Mode*. En *Glossary of Multimodal Terms*. Recuperado de <https://multimodalityglossary.wordpress.com/mode-2/>
- Mayer, M. (21 de abril de 2013). Sobre el arte digital en México. *Cuadrivio*. Recuperado de <https://cuadrivio.net/sobre-el-arte-digital-en-mexico/>
- Mazzei, M. (2019). Digital signal (technologies). *Salem Press Encyclopedia of Science*.
- Merriam-Webster. (s.f.a). *Sound*. Merriam-Webster. Recuperado de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sound>
- Merriam-Webster. (s.f.b). *Audio*. Merriam-Webster. Recuperado de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/audio>
- Merriam-Webster. (s.f.c). *Transduction*. Merriam-Webster. Recuperado de <https://www.merriam-webster.com/dictionary/transduction>

- Modos de oír. (s.f.). *La regadera*. Recuperado de: <https://modosdeoir.inba.gob.mx/la-regadera>
- MoMA. [The Museum of Modern Art]. (12 de mayo de 2017). *Rauschenberg's Mud Muse – Part 1 | AT THE MUSEUM* [video en YouTube]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Tvt-VSgPd4c>
- Montero, D. (Mayo-junio, 2017). La vida en los pliegues — Carlos Amorales. *Código*, (98), 74-81.
- Mulder, S. (junio, 2016). *Responsibility in design: applying the philosophy of Gilbert Simondon*. Trabajo presentado en la 2016 Design Research Society 50th Anniversary Conference, Brighton, UK.
- Munoth, Y., Kumar, N. V., Vishal, V., Pavirthra, L. K., y Srinivasan, R. (abril, 2019). *Pattern Analysis on Cymatics-based Images for Pronunciation*. Trabajo presentado en la International Conference on Communication and Signal Processing, India.
- Nake, F. (1971). There Should Be No Computer Art. *Bulletin of the Computer Arts Society*.
- Noll, A. M. (2016). Early Digital Computer Art at Bell Telephone Laboratories, Incorporated. *Leonardo*, 49(1), 55-65. doi:10.1162/LEON_a_00830
- opensource.com. (s.f.). *What is Open Hardware?* [opensource.com](https://opensource.com/resources/what-open-hardware) Recuperado de <https://opensource.com/resources/what-open-hardware>
- Ortiz, A. (2017). Historia del pabellón mexicano en la Bienal de Venecia. *Acer-VOS. Patrimonio Cultural Iberoamericano*, 4, 410-429.
- Osserman, R. (2006). Mapping. En *Enciclopedia Británica*. Recuperado de <https://www.britannica.com/science/mapping>
- Owren, M. J. (2011). Human Voice in Evolutionary Perspective. *Acoustics Today*, 24-34.
- Oxford Reference. (s.f.). *Electronic media*. Oxford Reference. Recuperado de <https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095746382>
- Palczewski, K. (2012). Chemistry and biology of vision. *The Journal of biological chemistry*, 287(3), 1612–1619. Recuperado de <https://doi.org/10.1074/jbc.R111.301150>
- Perec, G. (2001). *Especies de espacios*. Barcelona, España: Montesinos.
- Pisanksi, K., Raine, J., y Reby, D. (2020). Individual differences in human voice pitch are

preserved from speech to screams, roars and pain cries. *Royal Society Open Science*, 7, 1-8.
doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191642>

Platt, C. (2013). *Encyclopedia of Electronic Components. Power Sources & Conversions* (Vol. 1). California, Estados Unidos: O'Reilly Media, Inc.

Popa-Blanariu, N. (2013). Narrativity and Transmediality - Dancing Literature: a Reverse Ekphrasis. *Journal of Comparative Literature and Aesthetics*, 36(1-2), 117-129.

Popper, F. (1993). *Art of the Electronic Age*. Londres, Reino Unido: Thames and Hudson.

Prado, A., Camas, J. T., y Sánchez, R. C. (2006). Fototransducción visual. *Rev Mex Oftalmol*, 80(6), 340-346.

Prates, E. (2012). Holofractal Music in Scene: Experiments on Performing Arts under a Semiotic Transduction Dialogue. Trabajo presentado en 10th World Congress of the International Association for Semiotic Studies, Universidad de La Coruña, España.

Pure Data. (s.f.). *Pure Data*. Pure Data. Recuperado de <https://puredata.info/>

Raspbian. (s.f.). *Welcome to Raspbian*. Raspbian. Recuperado de <https://www.raspbian.org/>

Rodríguez, M. (2009). La plasticidad del fonón: Matrices polifónicas y poliédricas. *El Artista* (6), 5-22.

Rodríguez, P. E. (2007). Prólogo. Individuar. De cristales, esponjas y afectos. En G. Simondon, *La individuación a la luz de las nociones de forma e información*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Cactus.

Romero, E. (2011). *Curso de iniciación al Arduino*. Taller de audio. Centro Multimedia del CNA. Recuperado de <http://cmm.cenart.gob.mx/tallerdeaudio/cursos/cursoarduino/cursoarduino.html>

Roosth, S. (2009). Screaming yeast: Sonocytology, cytoplasmic milieus, and cellular subjectivities. *Critical Inquiry*, 35(2), 332-350. doi:10.1086/596646

Rovescalli, A. (2014). *The domestication of kinetic art. The Lumino by Nicolas Schöffer* (Tesis de maestría inédita). Haute école d'art et de design. Ginebra, Suiza.

Rucsanda, M. D. (2018). Connections between Music and Painting in Arnold Schoenberg's Works. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series VIII: Performing*

Arts, 11(2), 105–114.

Ruiz, A. (2018). *Jean Tinguely: <<Für Statik>>* [Entrada en blog personal]. Recuperado de <https://anaruizalvarez.com/index.php/jean-tinguely-fur-statik/>

Sáizar, C. (2009). Presentación. En M. M. Gutiérrez. (Ed.), *Centro Multimedia. Centro Nacional de las Artes. Quince Años* [versión en PDF] (p. 5). Recuperado de http://cmm.cenart.gob.mx/images/2011/descargables/CMM_XV.pdf

Sánchez, L. M. (Septiembre, 2019). *Una imagen no para los ojos hecha con palabras no para los oídos: el sonido como idea: Marcel Duchamp*. Trabajo presentado en 2do Seminario Conceptualización del Arte Contemporáneo, Aguascalientes, México.

Sartori, G. (1998). *Homo videns. La sociedad teledirigida*. Buenos Aires, Argentina: Taurus.

Scenocosme Gregory - Anais (2012). Akousmaflore interactive plants - Scenocosme : Gregory Laserre & Anais met den Ancxt [video en YouTube]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=1hae2Fwrqn8&feature=emb_title

Science World. (s.f.a). *Sound*. Science World. Recuperado de <https://www.scienceworld.ca/resource/sound/>

Science World. (s.f.b). *Sound = Vibration, Vibration, Vibration*. Science World. Recuperado de <https://www.scienceworld.ca/resource/sound-vibration-vibration-vibration/>

Sedes, A., Courribet, B., y Thiébaud, J. (2003). Visualisation du sonore avec le logiciel Egosound : Work in Progress. *CICM Centre de recherche en Informatique et Création Musicale*. Université de Paris VIII.

Sedes, A., Courribet, B., y Thiébaud, J.(octubre, 2004). *Visualization of Sound as a Control Interface*. Trabajo presentado en la Seventh International Conference on Digital Audio Effects (DAFx'04), Nápoles, Italia.

Seiça, A. (2011). *Transduction: Transfer Processes in Digital Literature and Art* (Tesis de maestría inédita). University of Évora: Évora, Portugal.

Seiça, A. (2012). The Transducer Function: An Introduction to a Theoretical Typology in Electronic Literature and Digital Art. *Citar*, 4(1), 71-79.

Seiça, A. (2017). *Transdução: Processos de Transferência na Literatura Eletrónica e Arte*

Digital. Húmus.

Seminario Simondon. (18 de junio de 2017). En *Facebook* [página de eventos académicos].

Último acceso: febrero 16, 2020, en <https://pt-br.facebook.com/seminariosimondon/photos/simondon-puro-t%C3%A9cnica-afecto-individuaci%C3%B3n-agosto-septiembre-2017s%C3%A1bados-de-18-a-/1179253018845180/>

Shanken, E. A. (2009). *Art and Electronic Media*. Londres, Inglaterra: Phaidon Press Limited.

Simondon, G. (2009). Technical Mentality, trans. Arne de Boever. *Parrhesia*(7), 17-27.

Simondon, G. (2013). *Imaginación e invención*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Cactus.

Simondon, G. (2015). *La individuación a la luz de las nociones de forma y de individuación*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Cactus.

Skrzypek, J. (2017). Three concerns for structural hylomorphism. *Analytic Philosophy*, 58(4), 360-408.

Smirnov, A. y Pchelkina, L. (2011). *Russian Pioneers of Sound Art in the 1920s*. [Catálogo de exhibición]. *Red Cavalry: Creation and Power in Soviet Russia between 1917 and 1945*. La Casa Encendida: Madrid.

Smith, R. (15 de febrero de 1997). Robert Mallery, 69, Junk Artist Behind the Growth of Sculpture. *The New York Times*. Recuperado de <https://www.nytimes.com/1997/02/15/arts/robert-mallery-69-junk-artist-behind-the-growth-of-sculpture.html>

Spence, B. (2011). The Broker. En A. Ebert, A. Dix, N. D. Gershon y M. Pohl. (Eds.), *Human Aspects of Visualization*, (pp. 10-22). Nueva York, Estados Unidos: Springer.

Sterne, J. (2003). *The Audible Past. Cultural Origins of Sound Reproduction*. Durham, Estados Unidos: Duke University Press.

Stiles, K. (2012). Art and Technology. En K. Stiles y P. Selz, *Theories and Documents of Contemporary Art*, (pp. 384-396). California, Estados Unidos: University of California Press.

SuperCollider. (s.f.). *SuperCollider*. GitHub. Recuperado de <https://supercollider.github.io/>

Tate. (s.f.). *Electronic media*. Tate. Recuperado de <https://www.tate.org.uk/art/art-terms/e/electronic-media>

- Terrones (2018). *Juan disparó a un buitre que caminaba con pintura azul: Un relato sobre arte contemporáneo en Aguascalientes* (Tesis doctoral inédita). Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México.
- The Lumen Prize. (s.f.a). *Fidgety (in between up and down)*. The Lumen Prize. Recuperado de <https://lumenprize.com/artwork/fidgety-in-between-up-and-down/>
- The Lumen Prize. (s.f.b). *The Punishment of Tantalus*. The Lumen Prize. Recuperado de <https://lumenprize.com/artwork/the-punishment-of-tantalus/>
- The UNESCO Courier. (Diciembre, 1969). *The Sculpture of Vibrations. The UNESCO Courier: A window open on the world*. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000078290>
- Thiébaud, J. (2005). A Graphical Interface for Trajectory Design and Musical Purposes. CICM - Université Paris VIII.
- Thiébaud, J., Bello, J. P., y Schwarz, D. (agosto, 2007). How Musical are Images? From Sound Representation to Image Sonification: An Eco Systemic Approach. *International Computer Music Conference (ICMC)*, 183-187.
- Thiébaud, J., Healey, P. G. T., y Kinns, N. B. (2008). Drawing Electroacoustic Music. Queen Mary, University of London.
- Thomas, S., y Haider, N. S. (2016). Digital Transducers and its Application. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(4), 1350-1359.
- Walker, C. S. (2017). Madness, Dissidence and Transduction. *Palabra Clave*, 20(3), 686-701. Recuperado de DOI: 10.5294/pacla.2017.20.3.5
- Watkins, J. (2018). Composing Visual Music: Visual Music Practice at the Intersection of Technology, Audio-visual Rhythms and Human Traces. *Body, Space & Technology*, 17(1), 51-75. doi: <https://doi.org/10.16995/bst.296>
- Weidman, A. (2015). Voice. En D. Novak y M. Sakakeeny. (Eds.), *Keywords in Sound* [versión Kobo Desktop]. Recuperado de <https://www.dukeupress.edu/keywords-in-sound>
- West, J. P. [Director y productor] y Giloth, C. F. [Productora]. (1992). *Robert Mallary: Pioneer in*

Computer Art [Documental en Vimeo]. Recuperado de <https://vimeo.com/133915501>

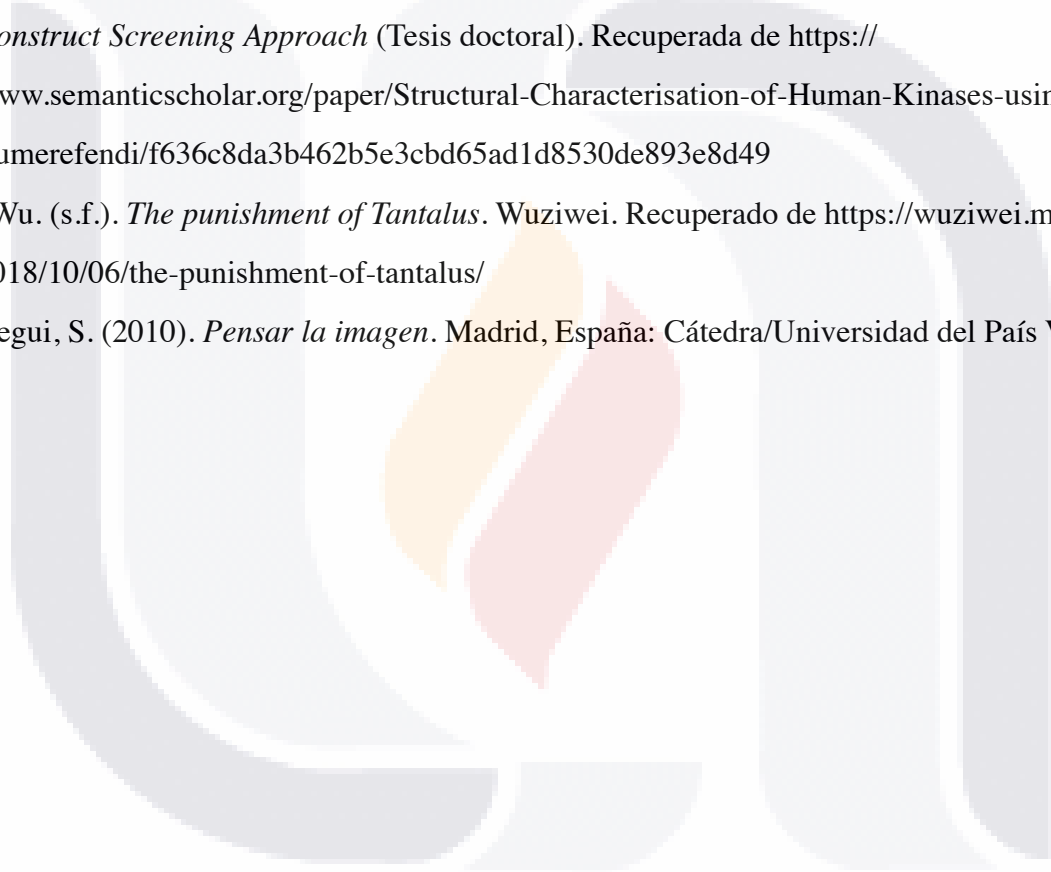
Wittgenstein, L. (1922). *Tractatus Logico-Philosophicus*. Londres, Reino Unido: Kegan Paul, Trench & Co., LTD.

Youngblood, T. (10 de junio de 2015). How to Use Arduino's Analog and Digital Input/Output (I/O). *All About Circuits*. Recuperado de <https://www.allaboutcircuits.com/projects/using-the-arduinios-analog-io/>

Yumerefendi, H. (2009). *Structural Characterisation of Human Kinases using a Library-Based Construct Screening Approach* (Tesis doctoral). Recuperada de <https://www.semanticscholar.org/paper/Structural-Characterisation-of-Human-Kinases-using-Yumerefendi/f636c8da3b462b5e3cbd65ad1d8530de893e8d49>

Ziwei, Wu. (s.f.). *The punishment of Tantalus*. Wuziwei. Recuperado de <https://wuziwei.me/2018/10/06/the-punishment-of-tantalus/>

Zunzunegui, S. (2010). *Pensar la imagen*. Madrid, España: Cátedra/Universidad del País Vasco.



Anexos

Anexo A — Registro de sesiones de trabajo

- Anexo A1 Sesión de trabajo 1 - Primeros esquemas de los sistemas y carpeta para el Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A2 Sesión de trabajo 2 - Primera visita al Centro Multimedia (CMM) y modificación de esquemas iniciales
- Anexo A3 Sesión de trabajo 3 - Detección de Frecuencia en SuperCollider
- Anexo A4 Sesión de trabajo 4 - Modulación por ancho de pulsos (PWM) en Arduino
- Anexo A5 Sesión de trabajo 5 - Pruebas con Tartini en SuperCollider
- Anexo A6 Sesión de trabajo 6 - Segunda visita al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A7 Sesión de trabajo 7 - Maqueta 1 del sistema 2 (voz y luz)
- Anexo A8 Sesión de trabajo 8 - Maqueta 2 del sistema 2 (sonido y luz)
- Anexo A9 Sesión de trabajo 9 - Pruebas de cimática - Frecuencias para el sistema 1 (sonido y vibración)
- Anexo A10 Sesión de trabajo 10 - Configuración de micrófono unidireccional
- Anexo A11 Sesión de trabajo 11 - Segunda solicitud de asesoría al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A12 Sesión de trabajo 12 - Visita 3 al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A13 Sesión de trabajo 13 - Visita 4 al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A14 Sesión de trabajo 14 - Visita 5 al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A15 Sesión de trabajo 15 - Visita 6 al Centro Multimedia (CMM)
- Anexo A16 Sesión de trabajo 16 - Visita 7 al Centro Multimedia (CMM)

Anexo A17 Sesión de trabajo 17 - Visita 8 al Centro Multimedia (CMM)

Anexo A18 Sesión de trabajo 18 - Visita 9 al Centro Multimedia (CMM)

Anexo A19 Sesión de trabajo 19 - Carcasa provisional para montaje de los sistemas 2 y 3

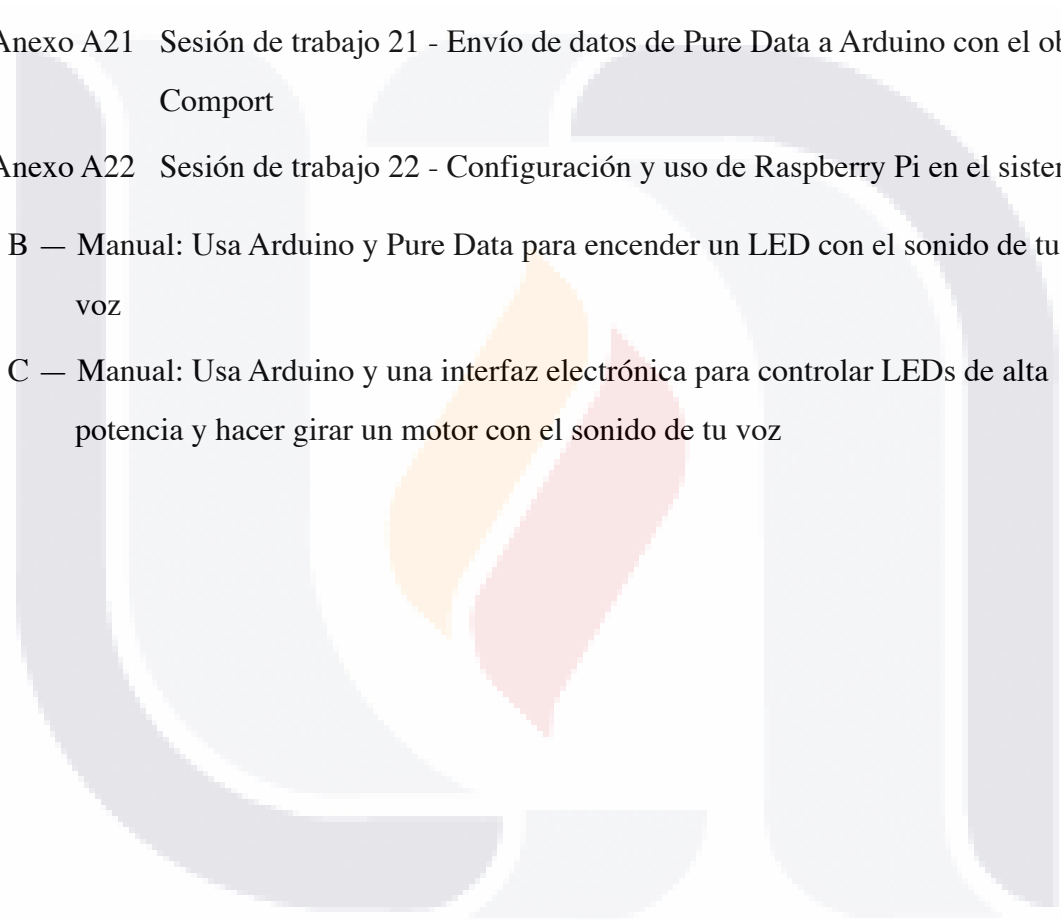
Anexo A20 Sesión de trabajo 20 - Detección de frecuencia con Pure Data y el objeto Sigmund

Anexo A21 Sesión de trabajo 21 - Envío de datos de Pure Data a Arduino con el objeto Comport

Anexo A22 Sesión de trabajo 22 - Configuración y uso de Raspberry Pi en el sistema 1

Anexo B — Manual: Usa Arduino y Pure Data para encender un LED con el sonido de tu voz

Anexo C — Manual: Usa Arduino y una interfaz electrónica para controlar LEDs de alta potencia y hacer girar un motor con el sonido de tu voz



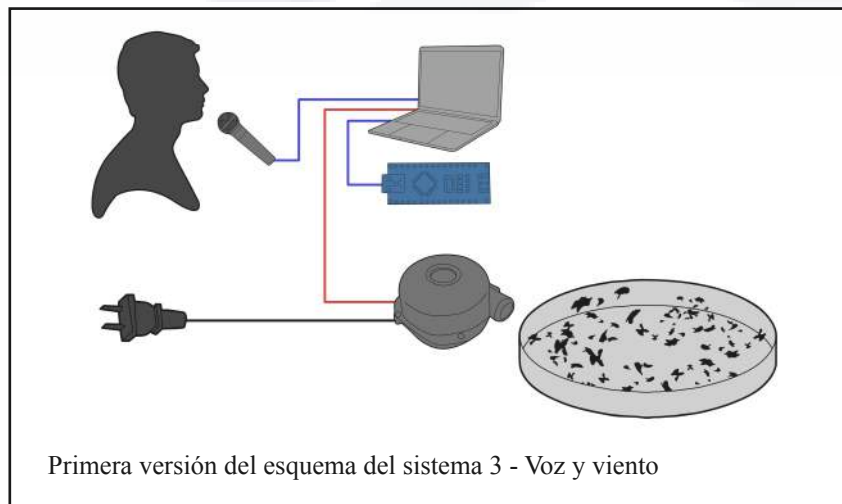
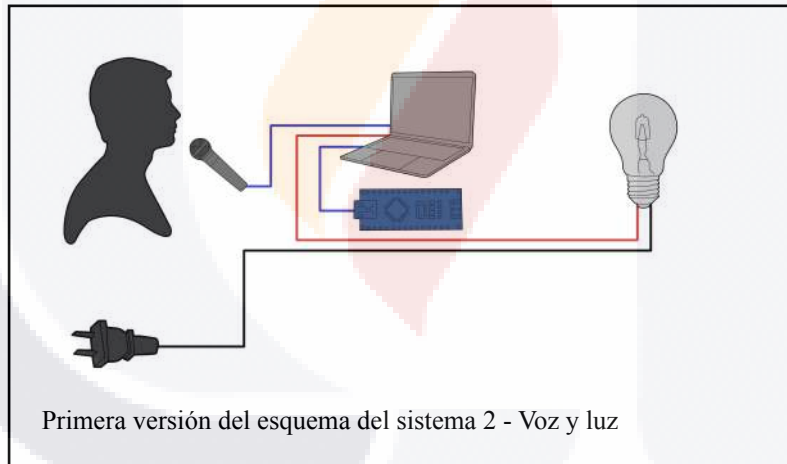
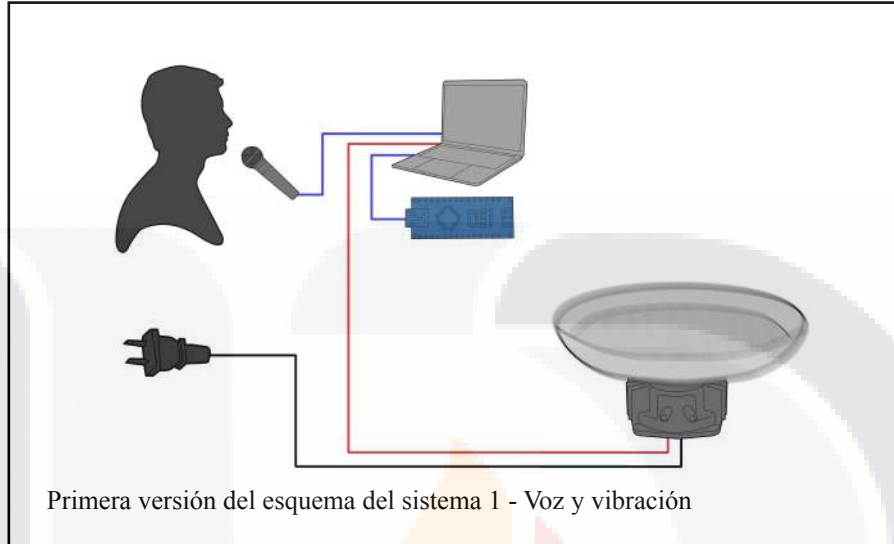
**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	1	Fecha:	Julio 26, 2019	Duración:	4 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Primeros esquemas de los sistemas y carpeta para el Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, libreta y pluma						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se realizó la primera propuesta y los primeros esquemas para la construcción de los sistemas interactivos. Se estableció contacto con el Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes para recibir apoyo por parte del programa de asesorías.						
Descripción de la sesión:							
<p>Durante la primera sesión se hizo la solicitud para el programa de asesoría abiertas del Centro Multimedia (CMM) del Centro Nacional de las Artes, en Churubusco y Tlalpan, en la Ciudad de México. Para esto se llenó el formulario de solicitud en la página del Centro Multimedia, en donde se solicitan, entre otras cosas, el título del proyecto sobre el cual se recibirán las asesorías, su finalidad y una descripción amplia, así como una descripción breve del requerimiento que se solicita al Centro Multimedia.</p> <p>También se elaboró una carpeta del proyecto, en la que se explicó de manera más detallada el propósito de los sistemas interactivos y las ideas que se tenían para su funcionamiento. Además, se realizaron esquemas en computadora para ilustrar mejor la idea general que se tenía. Se realizó un esquema por cada uno de los sistemas que se pretenden construir: luz, vibración y viento.</p> <p>Primero se envió el formulario completo. La carpeta y los esquemas se enviaron después de recibir una respuesta positiva sobre las asesorías por parte de Nancy Durán Orizaba, subdirectora de los talleres del Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes.</p> <p>Finalmente, el Centro Multimedia determinó que se otorgaría una asesoría por parte de Alan Rabchinsky, jefe del departamento de audio del Centro Multimedia.</p>							
Problemas que se presentaron:	No se presentaron problemas durante la elaboración de la carpeta ni de los esquemas, aunque durante la redacción, tanto del formulario como de la carpeta, se procuró enfocarse en los aspectos artísticos, creativos y prácticos del proyecto y no tanto en la parte académica o teórica, pues las asesorías del Centro Multimedia están orientadas, en mayor medida, hacia el apoyo para artistas y público interesado, sobre el uso de la tecnología.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En la próxima sesión se presentará el proyecto ante Alan Rabchinsky, jefe del departamento de audio del Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes. Se le explicará detalladamente el objetivo de cada sistema interactivo para decidir que planteamiento técnico es mejor para cada uno.						

Enlaces a videos:

N/A

Fotografías, esquemas o código:



**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	2	Fecha:	Agosto 7, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Laboratorio del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CNA), CDMX
Título de la sesión:	Primera visita al Centro Multimedia (CMM) y modificación de esquemas iniciales						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Alan Rabchinsky (jefe del departamento de audio, CMM)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, libreta y pluma						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se recibió la primera asesoría por parte de Alan Rabchinsky, jefe del departamento de audio del Centro Multimedia, en el Centro Nacional de las Artes. Se discutieron las funciones de cada sistema interactivo y se hizo una lista de componentes (físicos y digitales) necesarios para su funcionamiento.						

Descripción de la sesión:

Al inicio de la asesoría se comentó la propuesta general del proyecto con Alan Rabchinsky. También se expuso el propósito de la sección práctica del proyecto. Se tomó la decisión de que en el sistema 1 (voz y vibración), que utiliza un transductor táctil, no haría falta utilizar [Arduino](#), sino que bastaría con utilizar [SuperCollider](#) para hacer un mapeo y enviar las notas directamente al transductor táctil.

También se hizo una lista de algunos materiales que se necesitarán. Para hacer funcionar el transductor táctil será necesario conseguir:

- Un transductor táctil
- Un amplificador
- Cable de bocina
- Cable RCA de audio

En cuanto al sistema 2 (voz y luz), se concluyó que el investigador cuenta con los materiales necesarios para construir las primeras maquetas, esto es:

- LEDs de color
- Protoboard
- [Arduino](#)
- Cables tipo jumper m/m
- Cable USB

La elección del foco que se utilizará en la versión final del sistema se dejó para sesiones posteriores.

Se decidió en el sistema 3 (voz y viento) no se utilizaría una sopladora, como se había considerado inicialmente, pues éstas requieren de un alto voltaje para funcionar, además de que son muy ruidosas, y se busca que los sistemas sean silenciosos, de modo que la voz del espectador sea el sonido predominante. En vez de la sopladora se utilizará un ventilador de computadora.

Se acordó que el tablero [Arduino Uno](#) sería un tablero ideal para trabajar con los sistemas 2 y 3.

También se definieron los pasos que se seguirán en la programación para alcanzar el funcionamiento deseado:

1. Obtener valores numéricos a partir de sonidos (datificación) mediante [SuperCollider](#)
2. Escalar los valores de estos números a un rango dentro del cual [Arduino](#) pueda trabajar (0 - 255)
3. Enviar los números en un rango de 0 a 255 desde [SuperCollider](#) a [Arduino](#)
4. Utilizar los números en [Arduino](#) para enviar una señal eléctrica a los dispositivos que se controlarán, mediante modulación por ancho de pulsos (PWM)

Para captar el sonido de la voz desde [SuperCollider](#) se plantearon dos alternativas: utilizar un micrófono profesional conectado a una tarjeta de audio, o utilizar un micrófono con conexión USB. No se tomó una decisión entre estas opciones. Además, la diferencia que suponen en cuanto al funcionamiento de los sistemas no es considerable.

Por último, se observó una estructura de acrílico para conseguir una similar, que sería útil en el diseño final del sistema 3 (voz y viento), dentro de la cual circularían fragmentos de papel con ayuda del ventilador de la computadora.

Problemas que se presentaron:	No se presentaron problemas durante la primera visita al Centro Multimedia.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Dentro de las tareas a realizarse después de la sesión está comprar los materiales mencionados durante la asesoría: el transductor táctil, un amplificador, cable de bocina, cable RCA de audio, y el micrófono profesional y una tarjeta de audio o un micrófono con conexión USB.
Evidencias	
Enlaces a videos:	N/A
Fotografías, esquemas o código:	



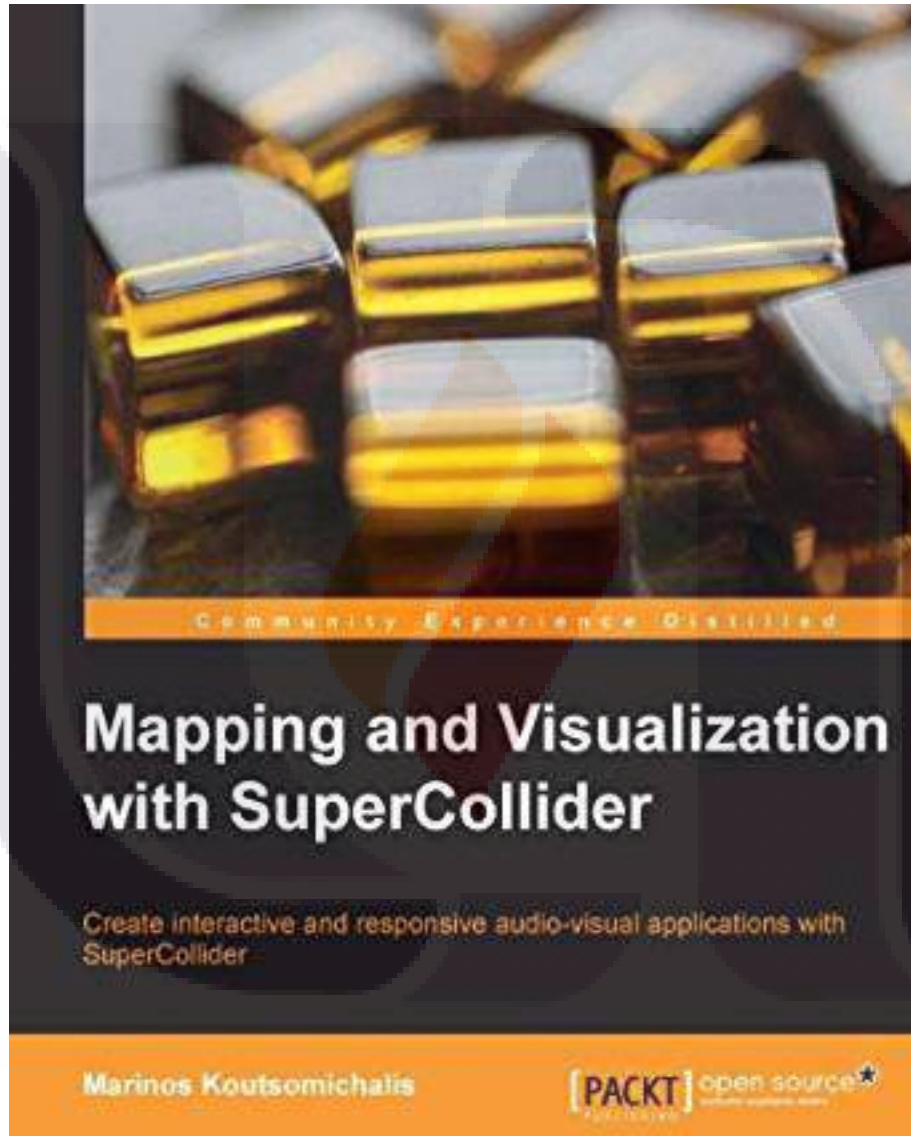
Fotografía tomada en el taller de audio del Centro Multimedia, a cargo de Alan Rabchinsky. Se muestra la estructura de acrílico y un ventilador de computadora. Componentes similares podrían ser útiles para la construcción del sistema 3 (voz y viento).

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	3	Fecha:	Agosto 17, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Detección de Frecuencia en SuperCollider						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider instalado, libro digital de Marinos Koutsomichalis, “Mapping and Visualization with SuperCollider” y audifonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se escogió utilizar la frecuencia de la voz como el elemento generador de valores numéricos en SuperCollider. Se adquirió y consultó el libro <i>Mapping and Visualization with SuperCollider</i> , del artista griego Marinos Koutsomichalis. En él se tratan temas como síntesis de <i>Spectra</i> , Transformada rápida de Fourier (FFT), <i>machine listening</i> , rastreo de amplitud y rastreo de frecuencia.						
Descripción de la sesión:							
<p>La sesión comenzó con búsqueda de información sobre el rastreo de frecuencia en SuperCollider, con el propósito de utilizar esta característica para obtener valores numéricos a partir de sonidos. Se halló el libro <i>Mapping and Visualization with SuperCollider</i>, del artista griego Marinos Koutsomichalis. Este material es de gran relevancia para la construcción de los sistemas interactivos que se plantean, ya que en él se explican aspectos sobre el rastreo de amplitud y frecuencia en SuperCollider. Estos temas no sólo se abordan en un nivel técnico/práctico, sino que se brinda un panorama técnico relevante para comprender mejor las posibilidades que ofrece SuperCollider.</p> <p>Durante la sesión se consultó el capítulo sobre la Transformada rápida de Fourier (FFT), que se utiliza para el análisis de audio. También se revisaron algunas de las alternativas para realizar el rastreo de frecuencia en SuperCollider. En el libro de Marinos se abordaron 4: ZeroCrossing, Pitch, Tartini y Qitch. Las últimas dos no están incluidas inicialmente en SuperCollider, sino que es necesario descargarlas por separado.</p>							
Problemas que se presentaron:	Durante esta sesión no se presentó ningún problema o reto.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En las próximas sesiones habrá que realizar pruebas con las alternativas de rastreo de frecuencia presentadas por Marinos, con el propósito de seleccionar aquella que se ajuste mejor a las necesidades de los sistemas interactivos.						

Enlaces a videos: N/A

Fotografías, esquemas o código:



Portada del libro *Mapping and Visualization with SuperCollider*, de Marinos Koutsomichalis (2013).

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	4	Fecha:	Agosto 18, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Modulación por ancho de pulsos (PWM) en Arduino						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, software de Arduino instalado, tablero Arduino Uno, LED de 5mm (de cualquier color), protoboard, potenciómetro de 100 K ohms, resistencia de 220 ohms, botón, cables tipo jumper m/m.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se realizó una práctica para conocer la modulación por ancho de pulsos (PWM) con Arduino para, en este caso, controlar la intensidad del brillo de un LED.						
Descripción de la sesión:							
<p>A partir del curso en línea titulado Aplicaciones musicales con Arduino, impartido por el Mtro. Cristian Bañuelos y el Mtro. Mauro Herrera, se modificó un circuito y un sketch de Arduino para realizar un primer acercamiento a la modulación por ancho de pulsos (PWM) en Arduino.</p> <p>En una explicación breve y sencilla se puede decir que la modulación por ancho de pulsos es una manera en la cual una salida digital, como las que se implementan en el cómputo físico y en tableros como Arduino, puede simular una señal análoga.</p> <p>En este caso, la modulación por ancho de pulsos se utilizó para controlar la intensidad del brillo de un LED, como una maqueta en miniatura de lo que se pretende lograr en el sistema 2 (voz y luz) con un foco de mayor potencia.</p> <p>En este circuito se utilizó un potenciómetro para controlar una señal de entrada análoga, aunque en el sistema que se pretende construir, la información introducida por el potenciómetro será sustituida por los valores numéricos obtenidos a partir de la detección de frecuencia.</p> <p>El circuito y el sketch con base en los cuales se construyó esta propuesta implementaban también una bocina y un LED RGB, aunque aquí se adaptaron ambos, el sketch y el circuito, para aproximarse más a lo que se busca realizar en el sistema 2 (aunque el principio de modulación por ancho de pulsos también se utilizará en el sistema 3, sobre voz y viento, aunque con un ventilador en lugar de un foco).</p> <p>Para realizar esta versión alternativa del circuito y del sketch originales se localizaron primero los elementos que se pretendían eliminar y sustituir, como el altavoz y el LED RGB. Una vez eliminados del circuito, se localizaron los bloques del código en Arduino que debían modificarse.</p> <p>Finalmente se construyó el circuito final, cuya complejidad no es alta, y se cargó el código de Arduino. También se realizó una prueba para comprobar el funcionamiento de la propuesta.</p>							
Problemas que se presentaron:	Se trabajó en la modificación del circuito y del sketch originales para comprender mejor el código, pues se utilizará en dos de los sistemas.						

Actividades para trabajar en las próximas sesiones:

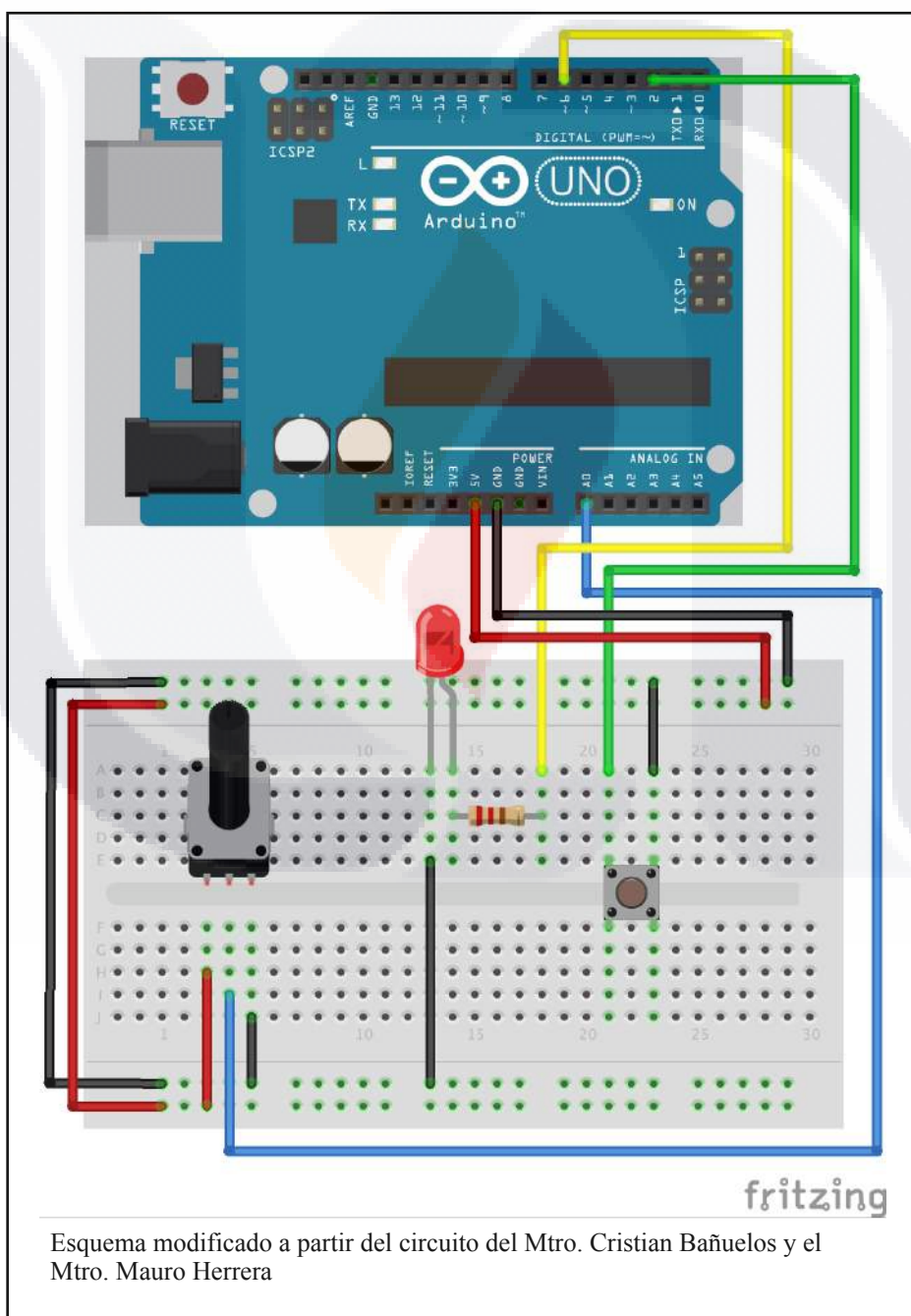
El objetivo principal para las futuras sesiones será utilizar los valores del rastreo de frecuencia en SuperCollider para controlar la modulación por ancho de pulsos, en lugar de utilizar un potenciómetro o una perilla como entrada análoga.

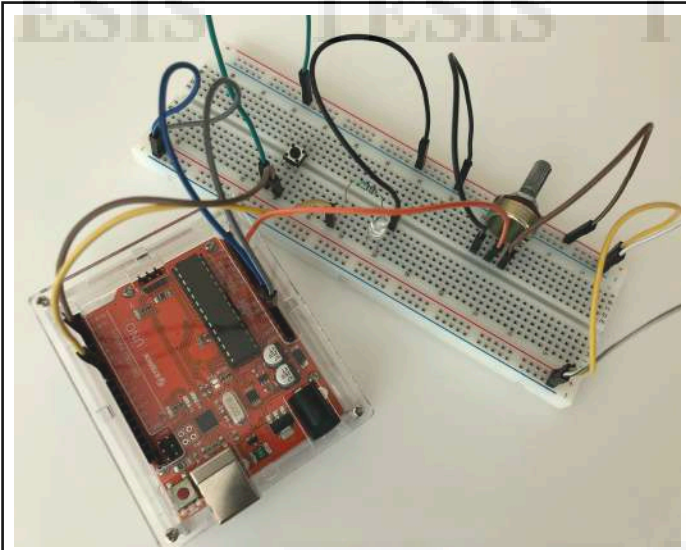
Evidencias

Enlaces a videos:

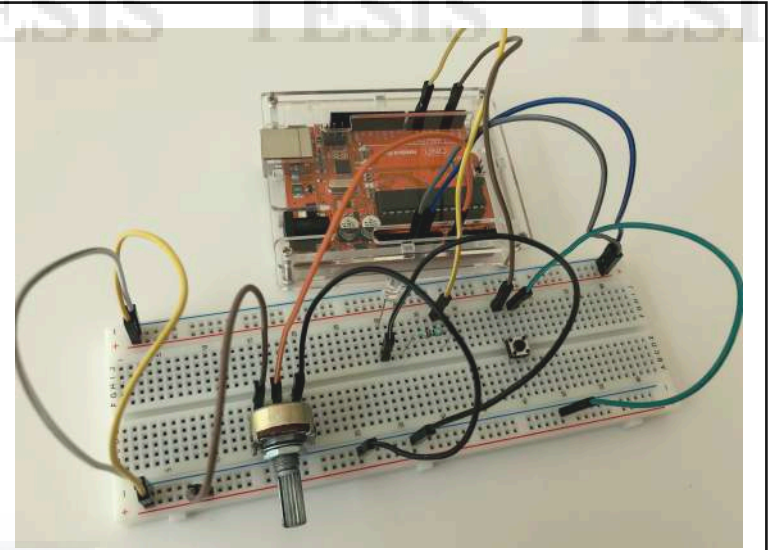
<https://www.youtube.com/watch?v=ICknMKnUntg>

Fotografías, esquemas o código:

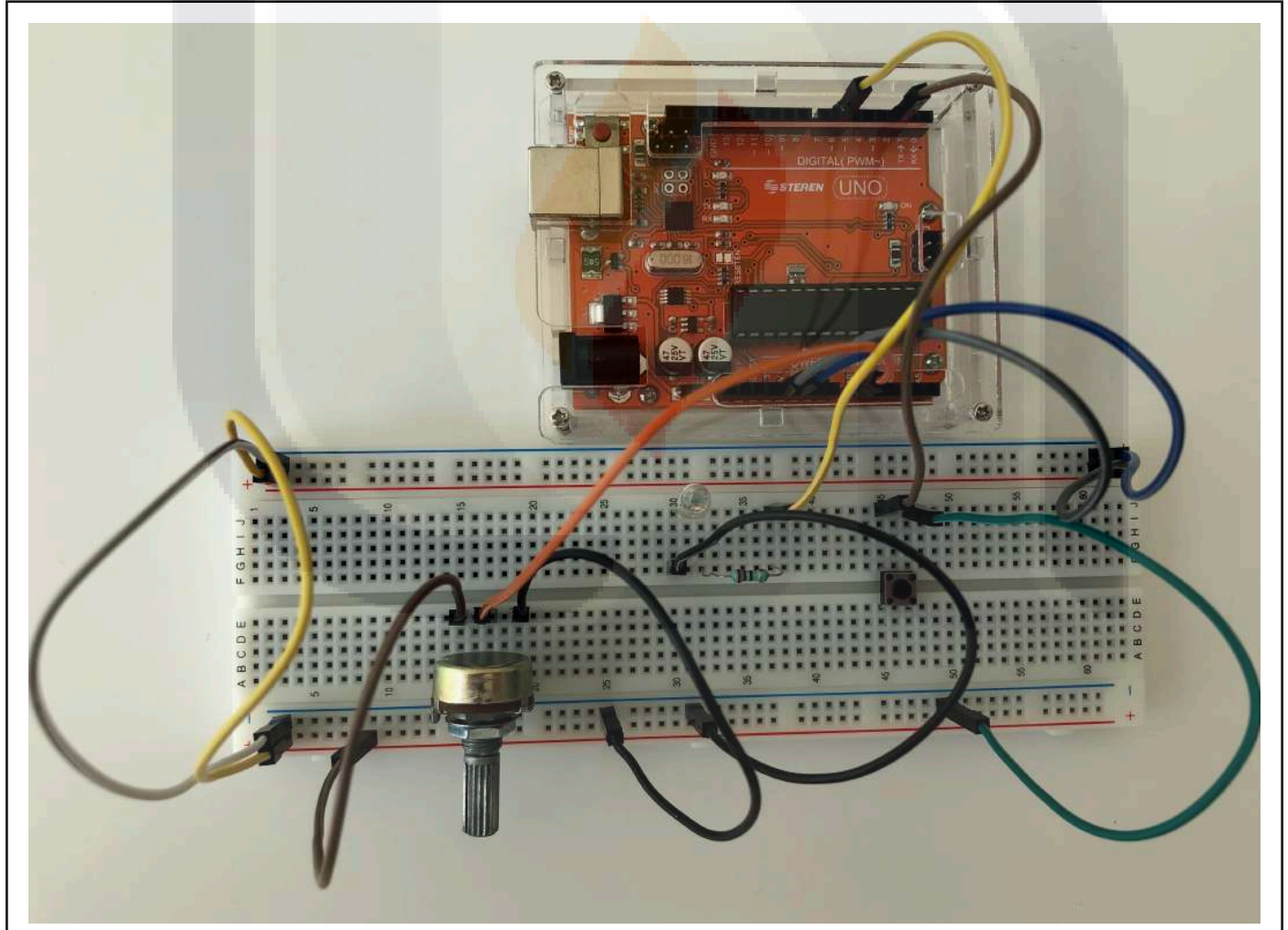




Fotografía 1 del circuito construido. Se puede observar el tablero Arduino Uno, el LED, el potenciómetro, y la resistencia, entre otros componentes



Fotografía 2 del circuito construido. Se puede observar el tablero Arduino Uno, el LED, el potenciómetro, y la resistencia, entre otros componentes



Fotografía 3 del circuito construido. Se puede observar el tablero Arduino Uno, el LED, el potenciómetro, y la resistencia, entre otros componentes

Código utilizado en Arduino:

```
int aPin = A0;
int dPinIn = 2;

int pwmPin6 = 6;

int aPinVal = 0;
int dPinInVal = 0;

boolean on = false;
int r = 0;

boolean dInReadFlag = true ;

void setup() {
  pinMode(dPinIn, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pwmPin6, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  dPinInVal = digitalRead(dPinIn);
  aPinVal = analogRead(aPin);

  if ( dPinInVal == 0 && on == false && dInReadFlag == true ) {
    on = true;
    dInReadFlag = false;
  } else if(dPinInVal == 0 && on == true && dInReadFlag == true){
    on = false;
    dInReadFlag = false;
  }

  if(on)
  {
    r = int(map(aPinVal, 0, 1023, 0, 255));
    analogWrite(pwmPin6, r);
  }

  else {
    analogWrite(pwmPin6, 0);
  };

  if (dPinInVal == 1 && dInReadFlag == false){
    dInReadFlag = true;
  }

  Serial.println(aPinVal);
  delay(50);
}
```

Registro de construcción
Sesiones de trabajo

Número de sesión:	5	Fecha:	Agosto 25, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Taller del investigador (CDMX)
Título de la sesión:	Pruebas con Tartini en SuperCollider						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider instalado, libro digital de Marinos Koutsomichalis, “Mapping and Visualization with SuperCollider”, librerías de Tartini instaladas y audifonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se decidió utilizar Tartini como el rastreador de frecuencia en los sistemas interactivos. Se descargó la librería de Tartini y se realizaron pruebas breves para conocer su funcionamiento.						
Descripción de la sesión:							
<p>A partir de las alternativas para el rastreo de frecuencia en SuperCollider proporcionadas por Marinos Koutsomichalis en su libro, <i>Mapping and Visualization with SuperCollider</i>, se eligió Tartini como la más apropiada para realizar esta tarea. De acuerdo con Koutsomichalis, Qitch requiere de archivos auxiliares, mientras que Tartini es más avanzada que opciones como Pitch.</p> <p>En esta sesión se descargó la librería de Tartini, pues no viene incluida en la versión original de SuperCollider. Se realizaron algunas pruebas para comprender lo que este UGen hace.</p> <p>Se modificó uno de los ejemplos de Tartini proporcionados por SuperCollider para realizar el rastreo de la frecuencia a partir del sonido detectado por el micrófono de la computadora y publicar los valores en la ventana de mensajes de SuperCollider con una etiqueta específica.</p>							
Problemas que se presentaron:	Aunque se logró obtener valores numéricos a partir de sonidos detectados por la computadora, aún es necesario manipular estos datos y no solamente publicarlos en la ventana de mensajes.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Durante las próximas sesiones se buscará una manera de utilizar estos datos, mapearlos a un rango entre 0 y 255 y enviarlos a Arduino.						
Evidencias							
Enlaces a videos:	https://www.youtube.com/watch?v=rut6nCA6UUQ						
Fotografías, esquemas o código:							

Código utilizado en SuperCollider:

```
(  
a= SynthDef("testtartini", {  
  var in, freq, hasFreq, out;  
  
  in=SoundIn.ar(0);  
  
  # freq, hasFreq = tartini.kr(in);  
  
  freq.poll(label:\frecuencia);  
  
  out.ar(0,[SinOsc.ar(freq,0.1),in]);  
}).play(s);  
)
```



Registro de construcción
Sesiones de trabajo

Número de sesión:	6	Fecha:	Agosto 26, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Laboratorio de audio del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CNA), CDMX
Título de la sesión:	Segunda visita al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Alan Rabchinsky (jefe del departamento de audio, CMM)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider instalado, librerías de Tartini instaladas en SuperCollider y audífonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se discutió el funcionamiento del sistema 1 (sonido y vibración). Se decidió utilizar Pitch en vez de Tartini para realizar el rastreo de frecuencia en SuperCollider. Se probó un tipo de comunicación vía SerialPort entre SuperCollider y Arduino.						

Descripción de la sesión:

Al comenzar la sesión se habló sobre la posibilidad de recibir otras asesorías en el mes de octubre. Se programó una tercera asesoría para el lunes 21 de octubre. Para que esto sea posible será necesario elaborar otra solicitud al programa de asesorías y otra carpeta en la que se muestren los avances que se tendrán para esa fecha.

Posteriormente se presentó una posibilidad para generar valores numéricos sin utilizar el rastreo de frecuencia: se sugirió utilizar un sensor ultrasónico, con lo que los sistemas interactivos responderían a la presencia de los espectadores y a su proximidad, pero no a sus voces. El investigador consideró que esta idea, a pesar de representar un planteamiento técnico más sencillo y más fácil de completar, se alejaba de su propuesta original, por lo que se decidió conservar el plan original y hacer que los sistemas respondan a la frecuencia de la voz o, en otro escenario, a su amplitud.

Se mostraron los avances alcanzados desde la primera asesoría. Estos consisten en la detección de frecuencia en [SuperCollider](#) mediante el uso de [Tartini](#) y en la publicación de estos valores en la ventana de mensajes de [SuperCollider](#). Con esta base se siguió trabajando en distintas pruebas de códigos para explorar las posibilidades, tanto de [Tartini](#) como de [Pitch](#).

Se determinó que, a pesar de que [Tartini](#) es un detector de frecuencia más avanzado que [Pitch](#), el segundo tiene la ventaja de poder establecer valores mínimos y máximos, lo cual será útil al mapear los valores que se enviarán a [Arduino](#).

Se exploraron algunas posibilidades de establecer una comunicación entre [SuperCollider](#) y [Arduino](#). Se estableció una comunicación vía [SerialPort](#) entre [SuperCollider](#) y [Arduino](#), aunque no fue posible enviar mensajes de uno a otro.

En esta ocasión el investigador llevó al laboratorio de audio un transductor táctil recién adquirido, que se pretende utilizar en el sistema 1 (voz y vibración). Se determinó que sería indispensable adquirir un amplificador con la potencia suficiente para hacer alimentar el transductor táctil. Se observaron algunos amplificadores con los que Alan Rabchinsky había realizado una pieza anteriormente. Estos son de una potencia de 900 watts y no representan un gasto muy alto, por lo que se optó por conseguir uno similar para implementar en el sistema 1.

También se concluyó que será necesario realizar pruebas con el transductor táctil, con el propósito de localizar un rango de frecuencias en donde se formen figuras en el agua o en arena.

Problemas que se presentaron:	A pesar de que se estableció un tipo de comunicación entre SuperCollider y Arduino, sigue siendo una necesidad primordial encontrar la forma de enviar mensajes (valores numéricos) de uno a otro.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Queda pendiente para futuras sesiones: <ul style="list-style-type: none"> - Conseguir un amplificador para alimentar el transductor táctil - Probar la respuesta del transductor táctil a distintas frecuencias
Evidencias	
Enlaces a videos:	N/A
Fotografías, esquemas o código:	

Código utilizado en SuperCollider:

```
//Prueba de rastreo de frecuencia con pitch y parámetros

(
SynthDef("rastreoconpitch",{out|
    var in, freq, hasFreq;
    in = SoundIn.ar(0);
    #freq, hasFreq = pitch.kr(in, initFreq: 80.0,
minFreq:80.0, maxFreq:350, ampThreshold: 0.05);
    freq.poll(label:\freq); //Publicar los valores de
frecuencia
    out.ar(0,[SinOsc.ar(freq,0.1),in]);
}).send(s);
)

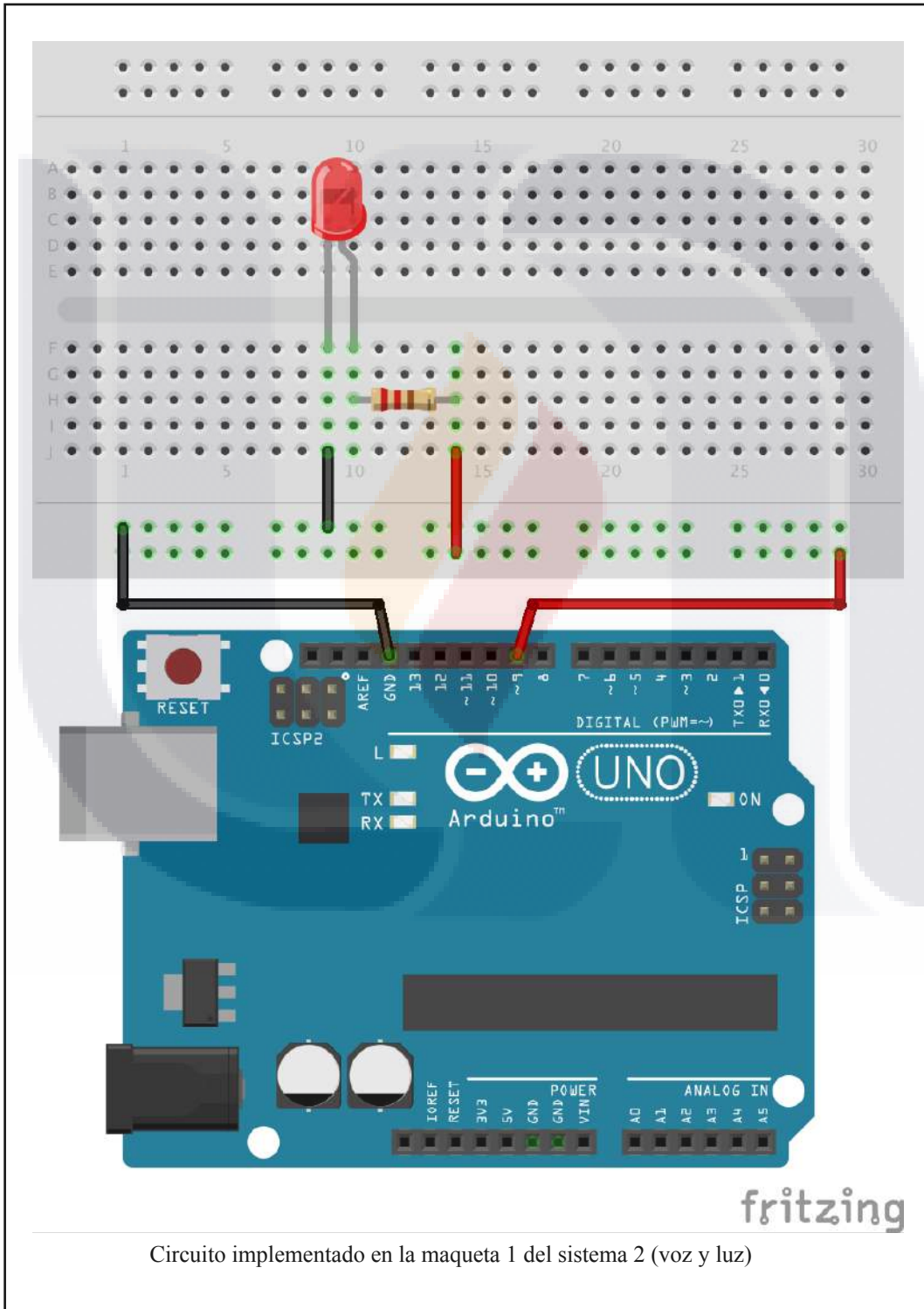
~rastreoconpitch=Synth(\rastreoconpitch)
```

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

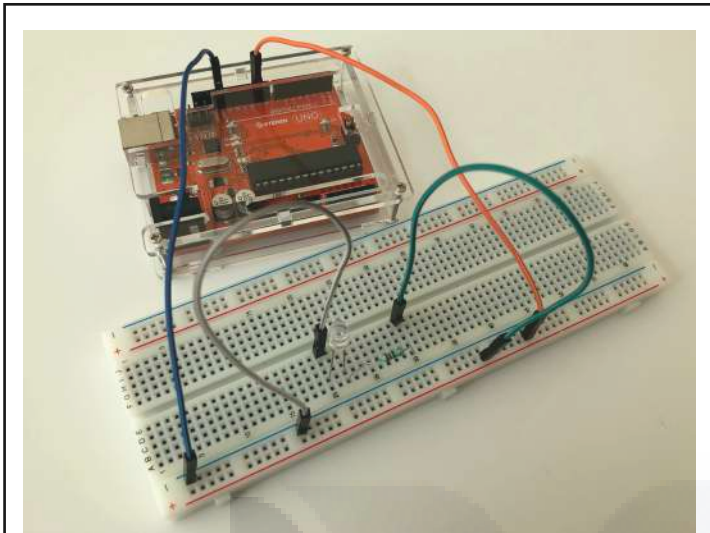
Número de sesión:	7	Fecha:	Septiembre 3, 2019	Duración:	4 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Maqueta 1 del sistema 2 (voz y luz)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) ()		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider y software de Arduino instalados, tablero Arduino Uno, protoboard, LED de 5mm, cables tipo jumper m/m, resistencia de 220 ohms y audífonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se construyó una primera maqueta del sistema 2 (voz y luz). Se estableció la comunicación entre SuperCollider y Arduino mediante el protocolo OSC. Se logró controlar la intensidad de brillo de un LED mediante el sonido de la voz.						
Descripción de la sesión:							
<p>Se localizó un texto de Ernesto Romero para el Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes, en donde se plantea una vía para enviar mensajes a Arduino desde SuperCollider. Este material se puede consultar en: http://cmm.cenart.gob.mx/tallerdeaudio/cursos/cursoarduino/cursoarduino.html</p> <p>El texto de Romero cuenta con dos códigos; uno que se implementa en SuperCollider y otro en Arduino. El investigador modificó ambos códigos con el propósito de utilizar los datos de Pitch para controlar el brillo de un LED mediante modulación por ancho de pulsos (PWM) en Arduino.</p> <p>En la sección de <i>evidencias</i> se expone el código modificado con anotaciones que ayudarán a su comprensión, aunque se puede adelantar que en él se utiliza SendTrig para realizar enviar los datos generados por Pitch.</p> <p>Después de modificar los códigos para Arduino y SuperCollider, se procedió a armar un circuito similar al utilizado en la sesión de trabajo 4.</p> <p>La maqueta funcionó como se esperaba después de cargar el sketch al tablero Arduino Uno, conectarlo al circuito, echar a andar el sketch en SuperCollider y hablar frente a la computadora. El LED reaccionó en tiempo real al sonido de la voz.</p>							
Problemas que se presentaron:	A pesar de que se logró un gran avance durante esta sesión, todavía no se ha hallado una manera de hacer que el LED se apague cuando se le deja de hablar a la computadora.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Se buscará añadir un micrófono con conexión USB en una próxima versión de la maqueta. Es necesario restablecer el valor enviado a Arduino a 0 una vez que no se interactúa con el sistema. También sería útil añadir un botón de encendido y apagado para que el circuito pueda apagarse sin tener que interrumpir la comunicación entre Arduino y SuperCollider, ni pausar el código en SuperCollider, es decir, para apagar y encender la parte tangible del circuito.						

Enlaces a videos: <https://www.youtube.com/watch?v=oov9uzriMq8&t=4s>

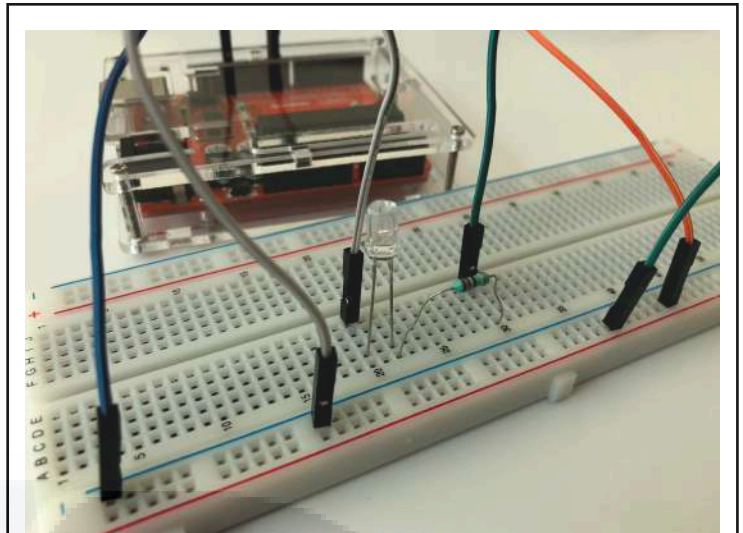
Fotografías, esquemas o código:



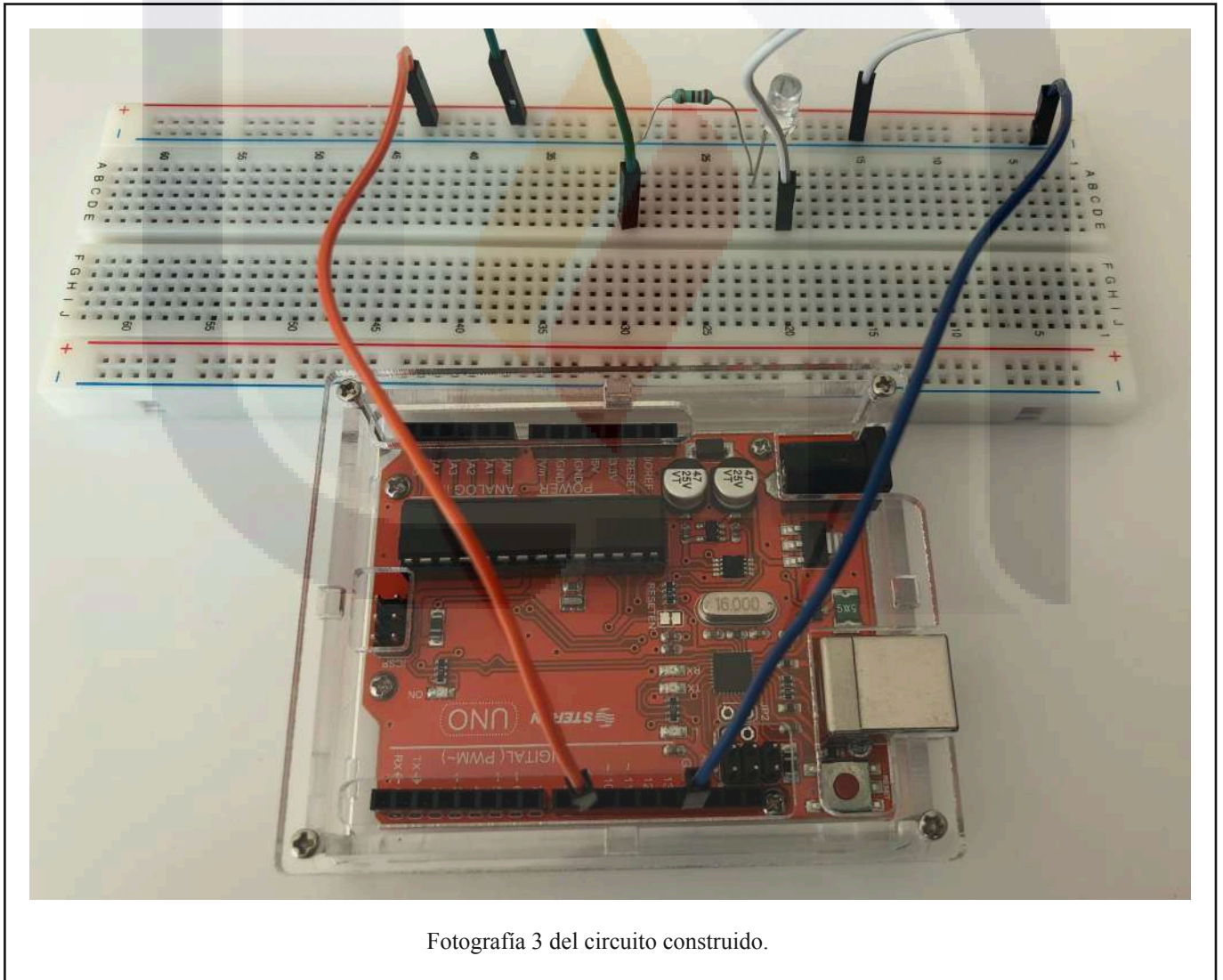
Circuito implementado en la maqueta 1 del sistema 2 (voz y luz)



Fotografía 1 del circuito construido.



Fotografía 2 del circuito construido.



Fotografía 3 del circuito construido.


```

/*
A continuación, el código para SuperCollider.

El proceso consiste en 4 etapas:

1.- Detección de la frecuencia del sonido de entrada en SuperCollider
2.- Mapeo de los valores para enviarlos a Arduino
3.- Comunicación entre SuperCollider y Arduino para enviar los valores
4.- Mandar los valores de Arduino a un pin PWM del tablero

La conexión del circuito de la maqueta es muy sencilla. El LED se conecta a un pin PWM de arduino con una resistencia de 220ohms,
y después a tierra.
*/

s.boot; // Para iniciar el servidor

/*
En éste primer bloque inserté un Synth que utiliza Pitch para rastrear frecuencia.
Escogí Pitch y no Tartini, porque Pitch permite establecer mínimos y máximos de frecuencia.
Esto es de utilidad para mapear los valores que se enviarán a Arduino.
*/

(
SynthDef("rastreadorfreq",{out|
  var in, freq, hasFreq, sig;
  in = SoundIn.ar(0);
  #freq, hasFreq = pitch.kr(in, initFreq: 80.0, minFreq:80.0, maxFreq:350, ampThreshold: 0.05);
  // Estos valores de minFreq y MaxFreq están pensados para responder a la voz humana al hablar, ya sea de hombre o de mujer.
  // initFreq --- Este valor establece la frecuencia con la que comienza a funcionar el Synth
  // ampThreshold --- Establece la amplitud necesaria para activar el rastreo de frecuencia
  // minFreq y maxFreq --- Fija el mínimo y el máximo para los valores que se desean obtener
  sig = SendTrig.kr(pitch.kr(in, initFreq: 80.0, minFreq:80.0, maxFreq:350, ampThreshold: 0.05), 8, ((freq-80)/270));
  // SendTrig es la clase encargada de enviar la señal mediante el protocolo OSC
  out.ar(0,[SinOsc.ar(freq,0.1),in]);
}).send(s);
)

//-----
~rastreadorfreq=Synth(\rastreadorfreq) // Con esta línea se echa a andar el Synth anterior
//-----

/*
Como explica Romero, esta sección recibe los datos OSC.
En su código original, la señal recibida por OSC iba de un rango de 0 a 1 y era mapeada a un rango de 0 a 254.
Respeté esta sección del código, así que modifiqué los datos enviados por SendTrig:
En vez de enviar datos entre 80 y 350 (que son los mínimos y máximos dados en este caso a Pitch),
hice una operación para mapear los datos enviados desde el Synth (línea 76).
Al valor enviado se le restan 80, para que éste sea el límite inferior, 0
y después se divide entre 270 (que queda de restarle 80 a 350)
de este modo, los valores oscilan entre 0 y 1, tal como en el código mostrado por Romero.
*/

(
~oscPitch=OSCresponder(nil, "/tr", { |...msg|
  msg[2].postln;
  ~led2=msg[2][3]*254;
}).add
)
//-----

```

El código continúa en la siguiente página

```

/*
Como explica Romero, "Con esta rutina se manda el valor de la variable global ~led2 al Arduino"
*/

(
Tdef(\alfa, {
  inf.do{
    p.put(255);
    0.005.wait;
    p.put(~led2);
    0.005.wait;
  }
}).quant_(0);
)

//-----
// Para ver los dispositivos conectados y conectarse con el tablero Arduino, se ejecuta la línea de abajo

SerialPort.devices; // En Post Window aparece la dirección del tablero conectado

/*
La siguiente sección comienza la comunicación con Arduino.
Para eso se coloca la dirección publicada por "SerialPort.devices;"
*/

(
p = SerialPort("/dev/tty.usbmodem14101",9600,crtscts: true);
// Serial Begin (9600 en este caso) debe coincidir con el número en el código de Arduino
Tdef(\alfa).play;
)
//-----

/*
Ésta última sección detiene la comunicación entre SuperCollider y Arduino
*/

(
Tdef(\alfa).stop;
p.close;
)

```

Código utilizado en Arduino:

```
int inByte;
int led = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {

if(Serial.available() >0){
  inByte=Serial.read();
  if(inByte==255) {
    led=0;
  }

  else
  {
    analogWrite((led%1)+9,inByte);
    led++;
  }
}
}
```

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	8	Fecha:	Septiembre 4, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Maqueta 2 del sistema 2 (sonido y luz)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) ()		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider y software de Arduino instalados, tablero Arduino Uno, protoboard, LED de 5mm, cables tipo jumper m/m, resistencia de 220 ohms, botón y audífonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se añadió un botón de encendido y apagado a la maqueta del sistema 2 (voz y luz).						

Descripción de la sesión:

En esta sesión se propuso incorporar un botón de encendido y apagado en el circuito construido para la primera maqueta del sistema 2 (voz y luz). Para esto se tomó como base el circuito original, así como los códigos de [SuperCollider](#) y [Arduino](#) utilizados en la sesión de trabajo 7. Es necesario mencionar que el código de [SuperCollider](#) de aquella sesión no se modificó, sino que el control del botón se programó únicamente desde [Arduino](#).

Esta modificación se realizó a partir de un ejercicio mostrado en el curso en línea titulado Aplicaciones musicales con Arduino, impartido por el Mtro. Cristian Bañuelos y por el Mtro. Mauro Herrera.

Para lograr esto se identificaron las partes del código de Bañuelos y Herrera que serían útiles para controlar el botón en esta segunda versión del circuito. Posteriormente se adaptaron al sketch de [Arduino](#) con el que se trabajó en la sesión 7. Fue necesario realizar otras modificaciones en las condiciones que implementaba el código original de la sesión 7.

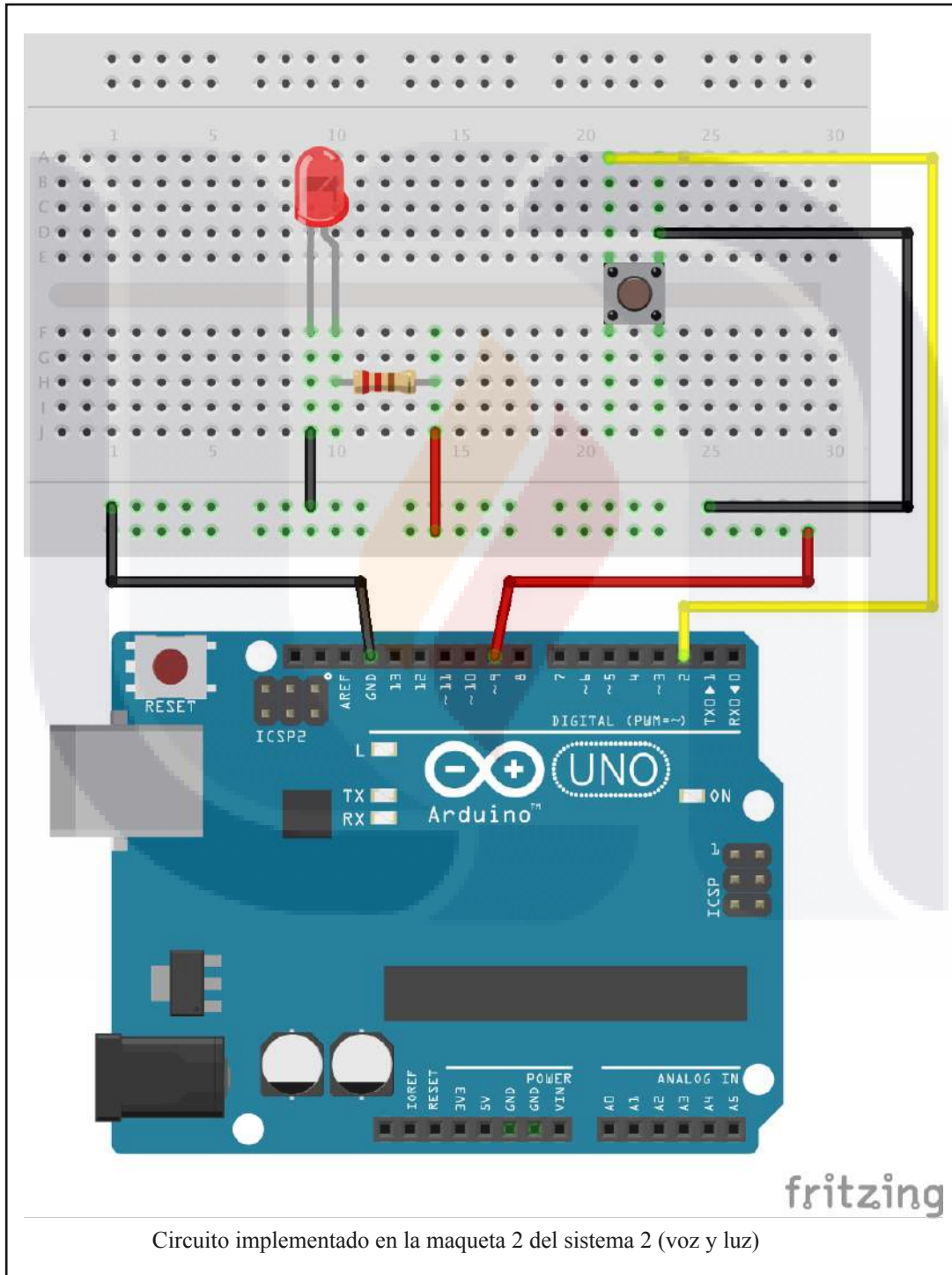
El circuito se probó en repetidas ocasiones hasta que su funcionamiento fue satisfactorio.

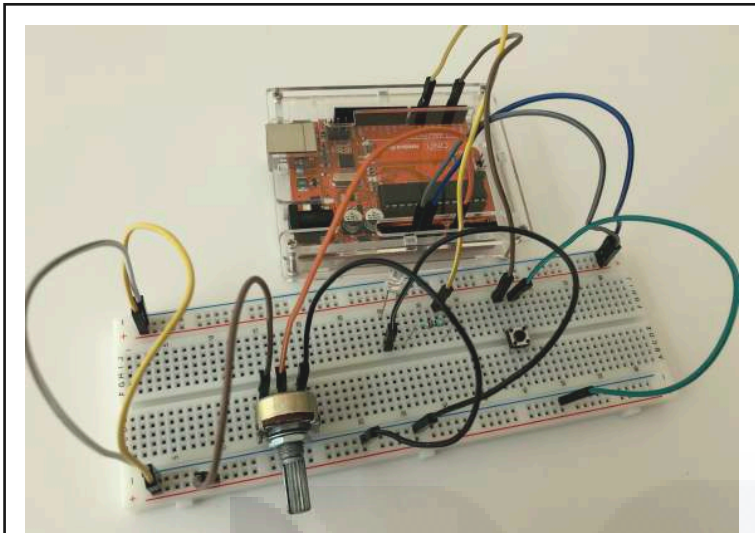
Problemas que se presentaron:	Durante esta sesión se presentaron obstáculos pequeños mientras se realizaban pruebas para comprobar el funcionamiento del botón. Después de probar y modificar el código en distintas ocasiones, se alcanzó el objetivo que se buscaba.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Es de gran utilidad contar con un botón que le permita al circuito y al LED descansar cuando no se desea interactuar con el sistema, sin tener que interrumpir el funcionamiento del sintetizador ni la comunicación entre SuperCollider y Arduino desde la computadora, pero en futuras pruebas se buscará que sea la presencia del espectador frente al sistema lo que lo encienda o apague. Esto se podría realizar de una forma similar a la implementación de este botón, pero mediante el uso de un sensor ultrasónico.

Enlaces a videos:

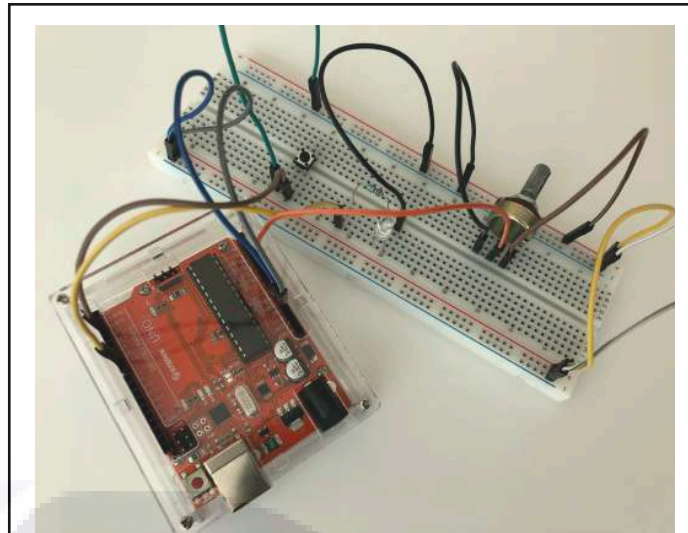
<https://www.youtube.com/watch?v=zXfXcKaiC3M&t=1s>

Fotografías, esquemas o código:

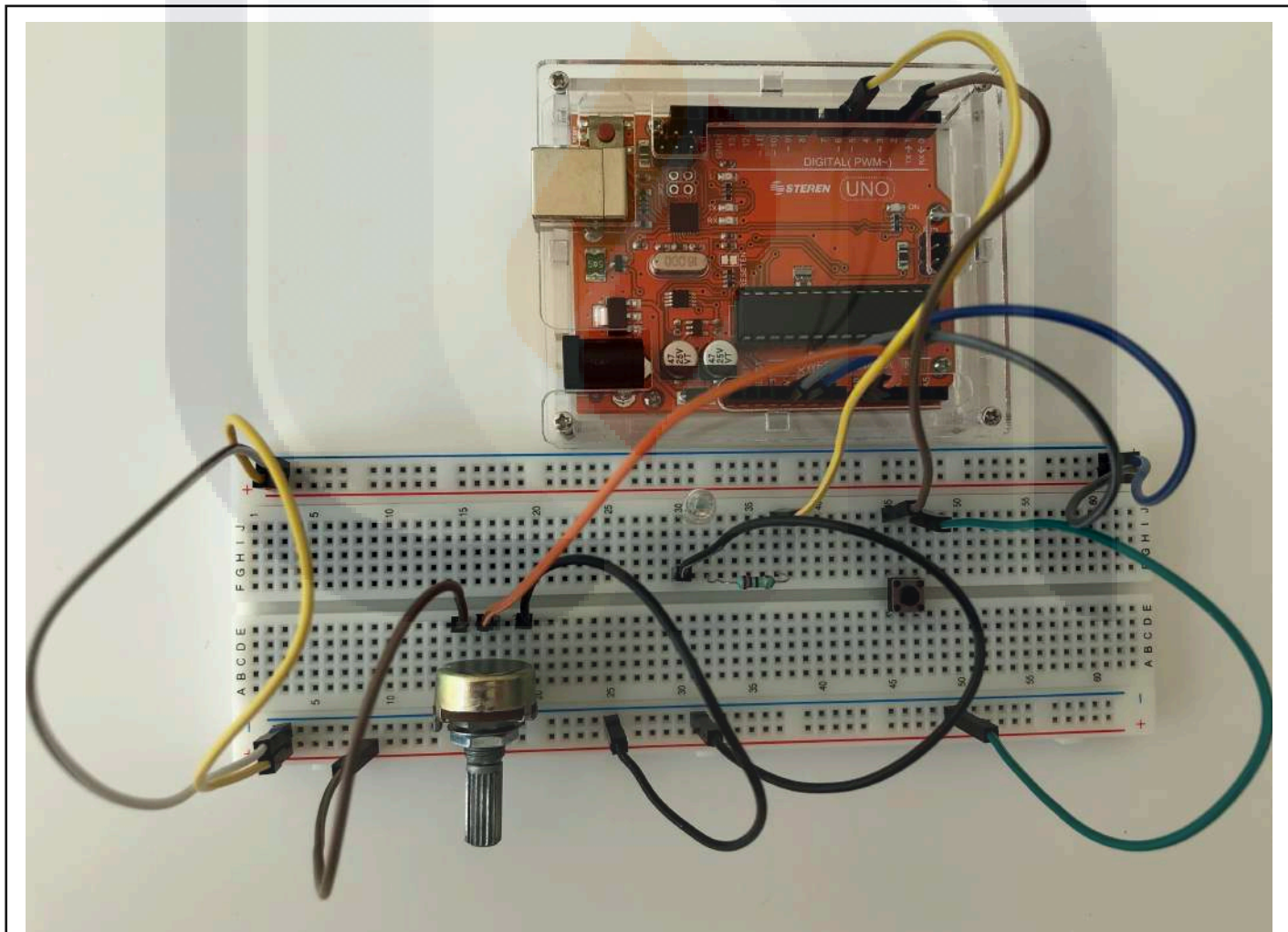




Fotografía 1 del circuito construido.



Fotografía 2 del circuito construido.



Fotografía 3 del circuito construido.

Código utilizado en Arduino:

```
int inByte;
int led = 0;

int dPinIn = 2;
int pwmPin9 = 9;
int dPinInVal = 0;
boolean on = false;
int r = 0;
boolean dInReadFlag = true ;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(dPinIn, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pwmPin9, OUTPUT);
}

void loop() {
  dPinInVal = digitalRead(dPinIn);
  if( dPinInVal == 0 && on == false && dInReadFlag == true ) { on = true;
  dInReadFlag = false;
  } else if(dPinInVal == 0 && on == true && dInReadFlag == true){ on = false;
  dInReadFlag = false;
  }
  // ---True
  if(on){
  if(Serial.available() >0) { inByte=Serial.read();
  if(inByte==255) {
    led=0;
  }
  else
  {
    analogWrite((led%1)+9,inByte);
    led++;
  }
  }
  }
  // ---False
  else { analogWrite(pwmPin9,0);
  led++;
  }
  if(dPinInVal == 1 && dInReadFlag == false){
  dInReadFlag = true; }
}
```

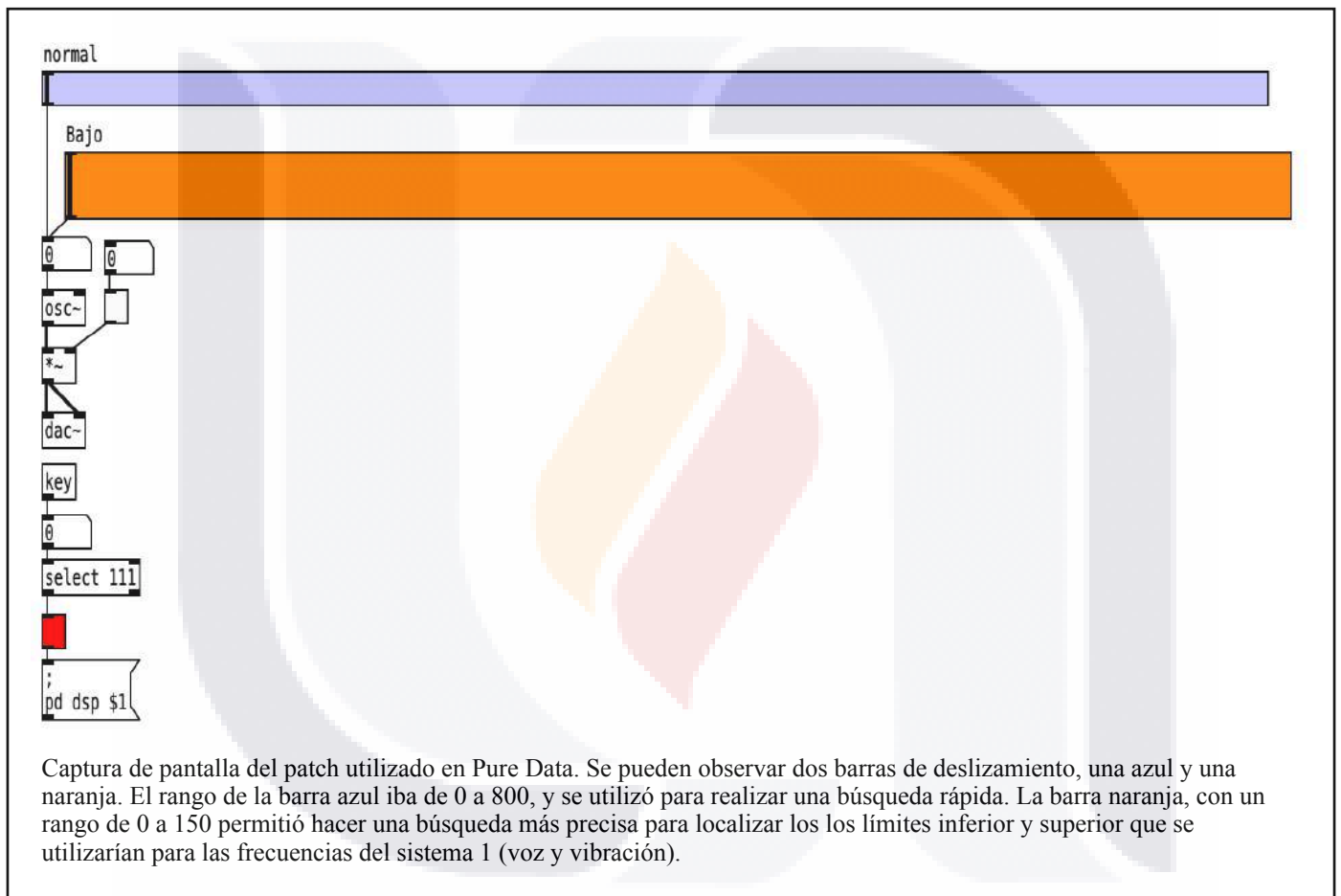
Registro de construcción
Sesiones de trabajo

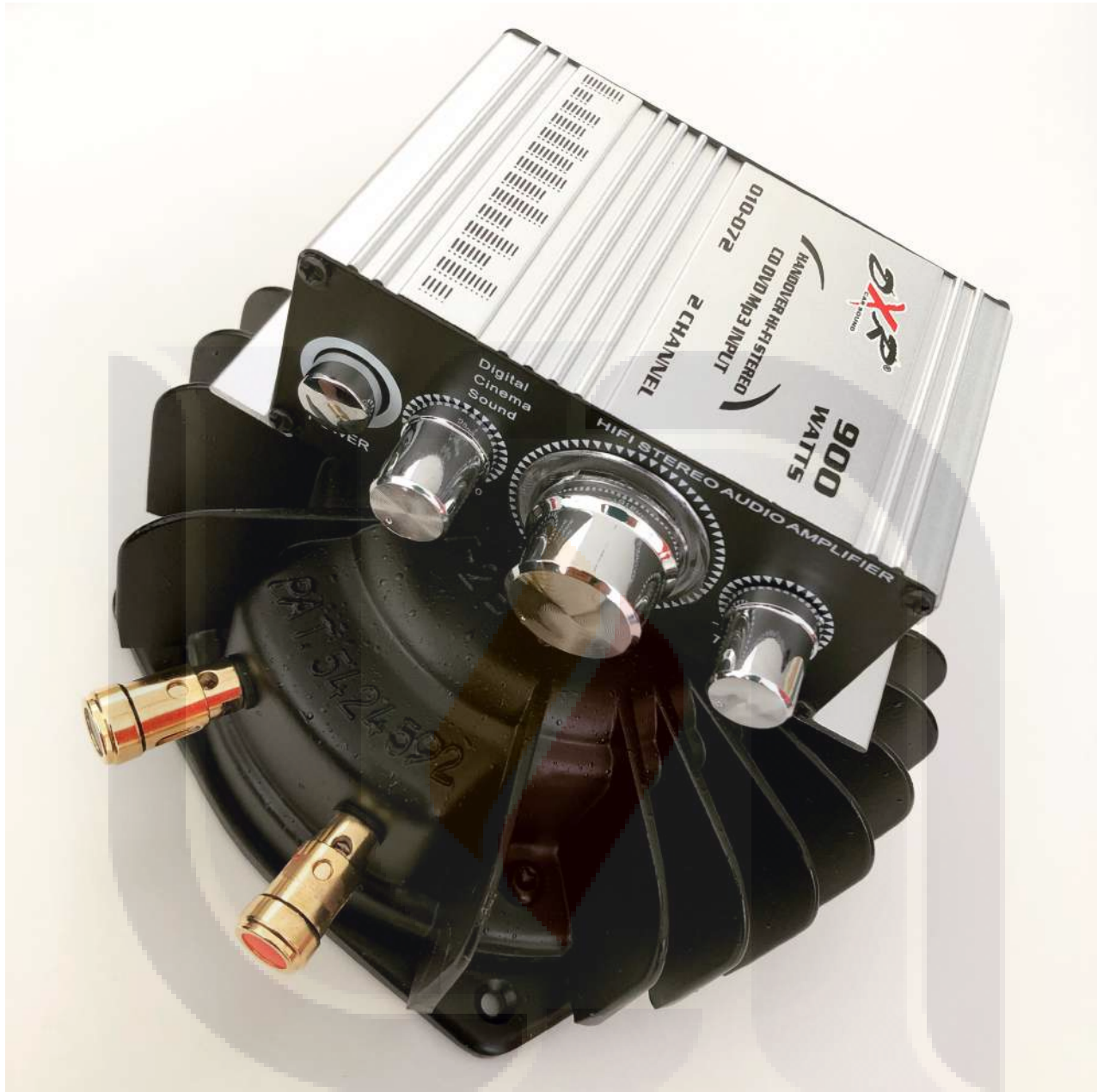
Número de sesión:	9	Fecha:	Septiembre 6, 2019	Duración:	2 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Pruebas de cimática - Frecuencias para el sistema 1 (sonido y vibración)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) ()		Sistema 3 (voz y viento) ()		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Pure Data instalado, transductor táctil de 50 watts, amplificador de 900 watts, cable auxiliar a RCA, cable de bocina, recipiente, sal y agua.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se identificó un rango de frecuencias dentro del cual el transductor táctil del sistema interactivo 1 (voz y vibración) puede generar figuras de cimática. Este se ubicó entre 30 Hz y 130 Hz.						
Descripción de la sesión:							
<p>Durante esta sesión se realizaron pruebas de cimática para definir el rango de frecuencias al cual se escalarán los valores generados por el detector de frecuencia en SuperCollider. En esta ocasión no se utilizó Arduino y, a pesar de en el planteamiento técnico para la construcción de este sistema contempla el uso de SuperCollider, para estas pruebas solamente se creó un oscilador en un patch de Pure Data.</p> <p>Previamente se había probado el transductor táctil en conjunto con el amplificador para verificar que ambos aparatos funcionaran correctamente. Se recuerda que se utiliza un transductor táctil en vez de un altavoz porque el sonido que este produce no es tan intenso como el que se obtendría con un altavoz. Se busca que estos sistemas no sean demasiado ruidosos, sin embargo, se aclara que el transductor sí produce sonido al vibrar. De hecho, se podría escuchar una canción si se utiliza el transductor táctil como salida de audio. No obstante, la función principal del transductor táctil, como su nombre lo indica, se dirige a la vibración y no a la producción de sonido.</p> <p>Se había considerado crear un oscilador sencillo en SuperCollider para enviar determinadas frecuencias al transductor y, así, buscar un rango útil para este sistema, aunque después se optó por utilizar el mismo principio en Pure Data, ya que este programa permite crear barras de deslizamiento, con lo que es más sencillo buscar un rango sin números específicos de una manera más flexible mediante el cursor de la computadora.</p> <p>Se construyó el oscilador y se colocó una caja de “número” a las barras de deslizamiento, para poder identificar la frecuencia que Pure Data estaba enviando al transductor táctil.</p> <p>De este modo se ubicó un rango útil entre los 30 Hz y los 130 Hz.</p>							
Problemas que se presentaron:	Durante esta sesión no se presentaron problemas.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	El siguiente paso, después de localizar este rango de frecuencias será elaborar el sketch en SuperCollider que permita escalar los datos de Pitch a este rango y enviar estas frecuencias al transductor táctil.						

Enlaces a videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=s3aBuk-9tAQ&t=17s>

Fotografías, esquemas o código:





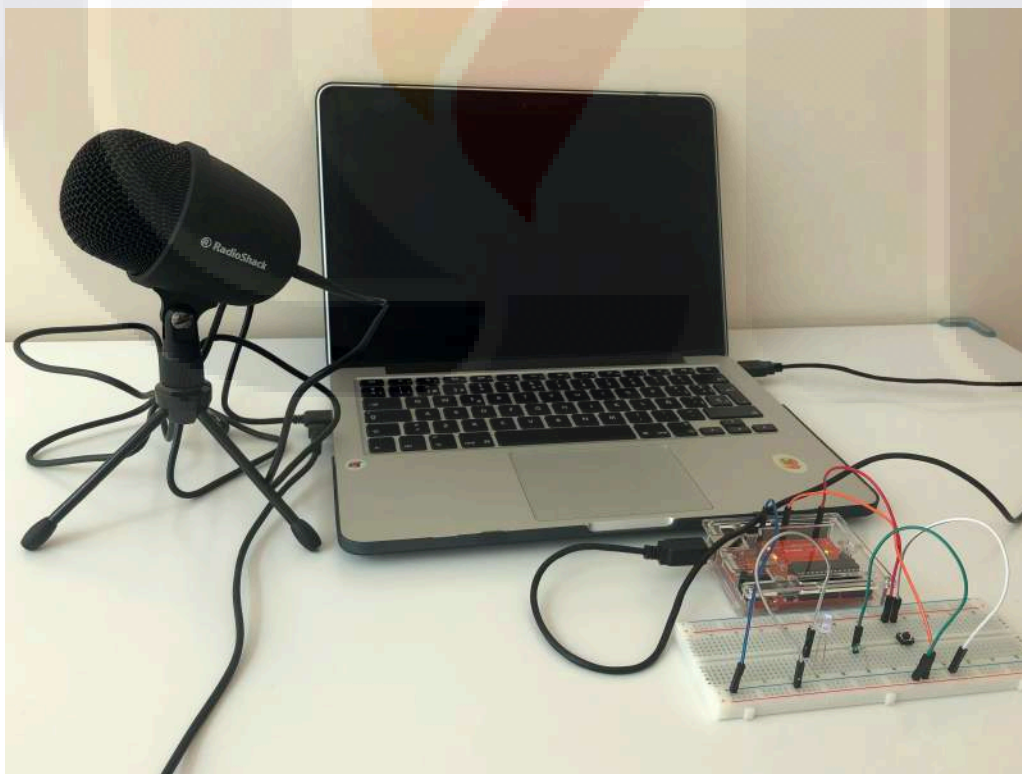
Fotografía del material utilizado. Abajo (figura negra) se encuentra el transductor táctil de 50 watts. Arriba (figura gris) se observa el amplificador de 900 watts.

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	10	Fecha:	Septiembre 7, 2019	Duración:	2 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Configuración de micrófono unidireccional						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, SuperCollider instalado, micrófono unidireccional con cable USB y audífonos.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se configuró un micrófono unidireccional con conexión USB como dispositivo de entrada desde SuperCollider.						
Descripción de la sesión:							
<p>En esta sesión se añadió a los 3 sistemas un micrófono unidireccional como dispositivo de entrada. Esto permitirá que el espectador hable al micrófono y no a la computadora. Además de aproximarse más a los diseños presentados en el planteamiento original, el micrófono unidireccional permite captar sonidos de una dirección, al contrario de lo que sucede con los micrófonos de la computadora, que permiten la entrada de una mayor contaminación.</p> <p>Añadir este elemento sólo involucró realizar modificaciones en el código de SuperCollider. El código en Arduino y los circuitos de las maquetas permanecieron iguales.</p>							
Problemas que se presentaron:	Las modificaciones realizadas durante esta sesión no involucraron ningún reto o problema.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Ahora será necesario buscar formas de controlar dispositivos de salida de mayor voltaje, como un foco o un LED de mayor potencia, así como un ventilador de computadora. También será necesario trabajar en el código del sistema 1 (voz y vibración) que, hasta ahora, ha sido el menos atendido.						
Evidencias							
Enlaces a videos:	https://www.youtube.com/watch?v=7FDc8bTXZl8						
Fotografías, esquemas o código:							



Fotografía 1 de la maqueta construida.



Fotografía 2 de la maqueta construida.

Código utilizado en SuperCollider:

```
/*  
La sección a continuación se añadió al inicio del código  
que se tenía en SuperCollider.  
Fue el único cambio, con el que se logró  
utilizar el micrófono unidireccional.  
Esto sirve para los tres sistemas que se construyen.  
*/  
  
// La línea de abajo permite iniciar el servidor  
  
s.boot;  
  
/*  
Después de ejecutar la siguiente línea, SuperCollider  
SuperCollider publicará en la ventana de mensajes  
una lista de los dispositivos conectados  
entre ellos debe aparecer el micrófono con conexión USB.  
*/  
  
ServerOptions.devices;  
  
/*  
Finalmente, se copia la línea publicada por SuperCollider  
dentro del siguiente bloque, con lo que se selecciona  
el micrófono como dispositivo de entrada y, además,  
se reinicia el servidor.  
*/  
  
(  
s.options.inDevice = "USB Microphone";  
s.reboot;  
)
```

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	11	Fecha:	Octubre 1, 2019	Duración:	2 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Segunda solicitud de asesoría al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, libreta y pluma.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se identificaron tres modificaciones necesarias para un mejor funcionamiento de dos sistemas interactivos (los de luz y viento). Asimismo, se realizó una segunda solicitud para recibir apoyo del Plan de Asesorías Abiertas del Centro Multimedia (CMM).						
Descripción de la sesión:							
<p>Durante esta sesión se elaboró de nuevo una solicitud para recibir apoyo del Centro Multimedia con su Plan de Asesorías Abiertas. Se realizó una carpeta para explicar de manera clara y breve las necesidades que se esperan satisfacer y se informó sobre el estado actual del proyecto. Fue notorio el avance del proyecto, pues los requerimientos se identificaron con mayor facilidad, incluso se plantearon formas de resolverlos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Para utilizar dispositivos de mayor voltaje se propuso el uso de transistores - Para apagar los sistemas cuando el espectador no se aproximara a ellos se planteó el uso de sensores ultrasónicos - Para apagar el LED al interrumpir el sonido no se contempló una solución, aunque se sospechó que esto se podría arreglar con el código en Arduino o en SuperCollider. También se contempló la posibilidad de utilizar dos micrófonos <p>Debido a que el procedimiento de solicitud ya era conocido, el proceso fue ágil. Se procuró brindar la mayor información posible de la manera más sencilla.</p>							
Problemas que se presentaron:	No se presentaron problemas durante esta sesión.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En caso de ser aceptado nuevamente dentro del Plan de Asesorías Abiertas, se intentará satisfacer todas las necesidades planteadas en un lapso de dos semanas. Habrá que conseguir materiales para trabajar en las nuevas alternativas y también será necesario buscar un buen acoplamiento, en caso de que las propuestas de soluciones se alejen de los intereses originales para los sistemas interactivos.						
Evidencias							
Enlaces a videos:	N/A						
Fotografías, esquemas o código:							

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	12	Fecha:	Octubre 22, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 3 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, libreta, pluma.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se recibió apoyo de nueva cuenta por parte del Centro Multimedia (CMM) en el Plan de Asesorías Abiertas. Se realizó una lista de materiales para realizar una nueva maqueta para dos sistemas interactivos (el de luz y el de viento) y se comenzó a trabajar en el código de Arduino para este nuevo planteamiento. También se descartó momentáneamente el uso de SuperCollider en los sistemas 2 y 3.						

Descripción de la sesión:

Al inicio de la sesión se presentó verbalmente el proyecto ante el ingeniero Juan Galindo, jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia, y ante Abraham Sánchez, quien también trabaja en el laboratorio y a quien se podría solicitar apoyo en caso de que Juan Galindo no se encontrara. Cabe destacar que en esta ocasión se decidió apoyar al proyecto desde el laboratorio de interfaces electrónicas y no desde el laboratorio de audio, como había sucedido anteriormente.

Juan Galindo sugirió construir un circuito en el que se implementaran transistores BC547 y transistores MOSFET. También se discutió el planteamiento original, en el que el sistema respondía a la frecuencia de la voz del usuario, sin embargo, se decidió que en este caso se implementaría un micrófono de condensador electret en vez del micrófono unidireccional. Del mismo modo, [SuperCollider](#) no se utilizaría en este planteamiento. Se consideró que si se quisiera volver a utilizar [SuperCollider](#) para el rastreo de frecuencia se podría hacer una vez que el sistema ahora planteado funcionara.

Se decidió utilizar corriente directa (DC) con un alimentador de 12v para los sistemas 2 y 3. También se habló sobre las dificultades de utilizar un sensor ultrasónico para detectar la presencia del espectador, puesto que pueden ser imprecisos en sus lecturas. Se presentaron alternativas como usar sensores ópticos o una base que el usuario pisaría al momento de interactuar con los sistemas. No obstante, se optó por probar la respuesta con los sensores ultrasónicos

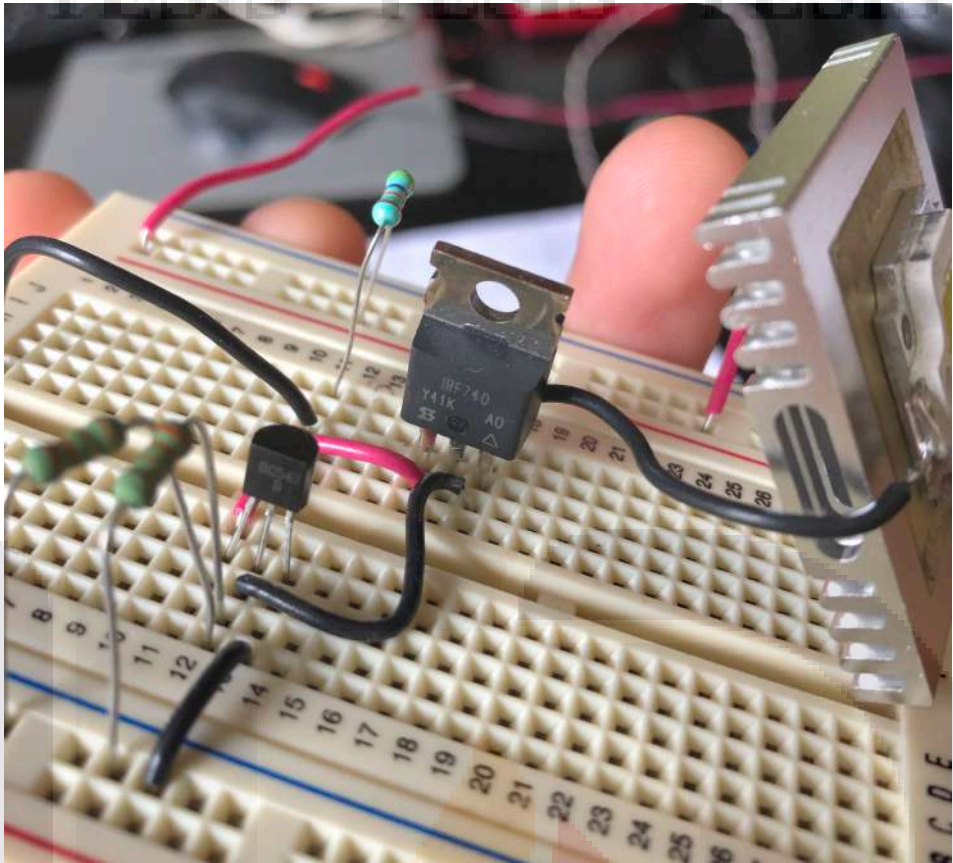
También se comentó que intervenir un ventilador para el sistema 3 sería complicado, aunque una alternativa podría ser utilizar un motor y una hélice impresa en 3D. Se concluyó que se optaría por esta alternativa.

Se comenzó a trabajar en la estructura básica de la programación que se utilizaría en [Arduino](#), aunque no se presenta en esta sección de evidencias, puesto que no se concluyó al término de esta sesión.

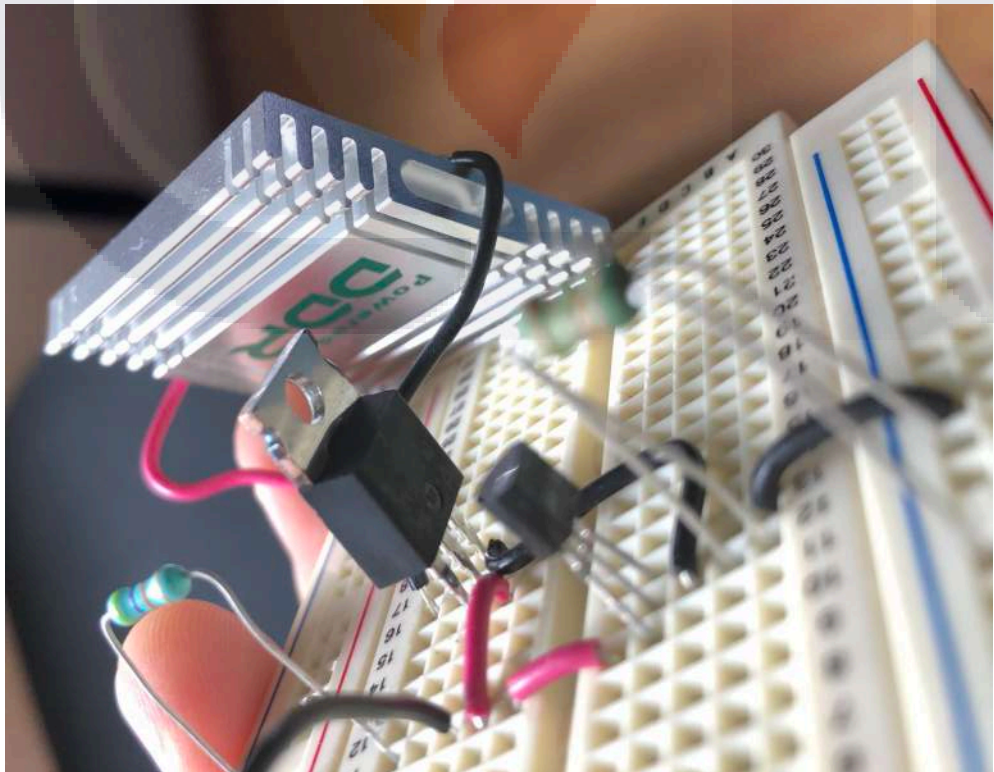
Finalmente, se hizo una lista de materiales con los que se tendría que contar en la próxima sesión para continuar trabajando. Los materiales son los siguientes:

- 1 sensor ultrasónico
- filamento de 3mm para impresión 3D (1kg)
- 1 motor de grabadora o tipo Braun
- 2 circuitos controladores L293D
- 2 bases de 16 pines dil
- headers hembra y macho para conectar la nueva placa a Arduino
- 4 LEDs de 10 watts
- 5 resistencias de 47k ohms a 1/2 watt
- 10 resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt
- 5 transistores BC547
- 5 transistores MOSFET IRLZ44
- 1 placa fenólica de 10 cm x 10 cm de una cara
- 1 micrófono condensador electret
- cable para conectar los dispositivos
- cautín y soldadura

Problemas que se presentaron:	El único problema que se presentó al concluir la sesión fue la disponibilidad de algunos de los materiales solicitados para la construcción de las nuevas maquetas. Tampoco fue posible generar resultados materiales significativos.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Al concluir la sesión fue necesario conseguir algunos materiales en tiendas de electrónica y comprar otros más por internet.
Evidencias	
Enlaces a videos:	N/A
Fotografías, esquemas o código:	



Fotografía 1 de una parte del circuito propuesto. Contempla únicamente el control y la alimentación del LED de 10 watts.



Fotografía 2 de una parte del circuito propuesto. Contempla únicamente el control y la alimentación del LED de 10 watts.

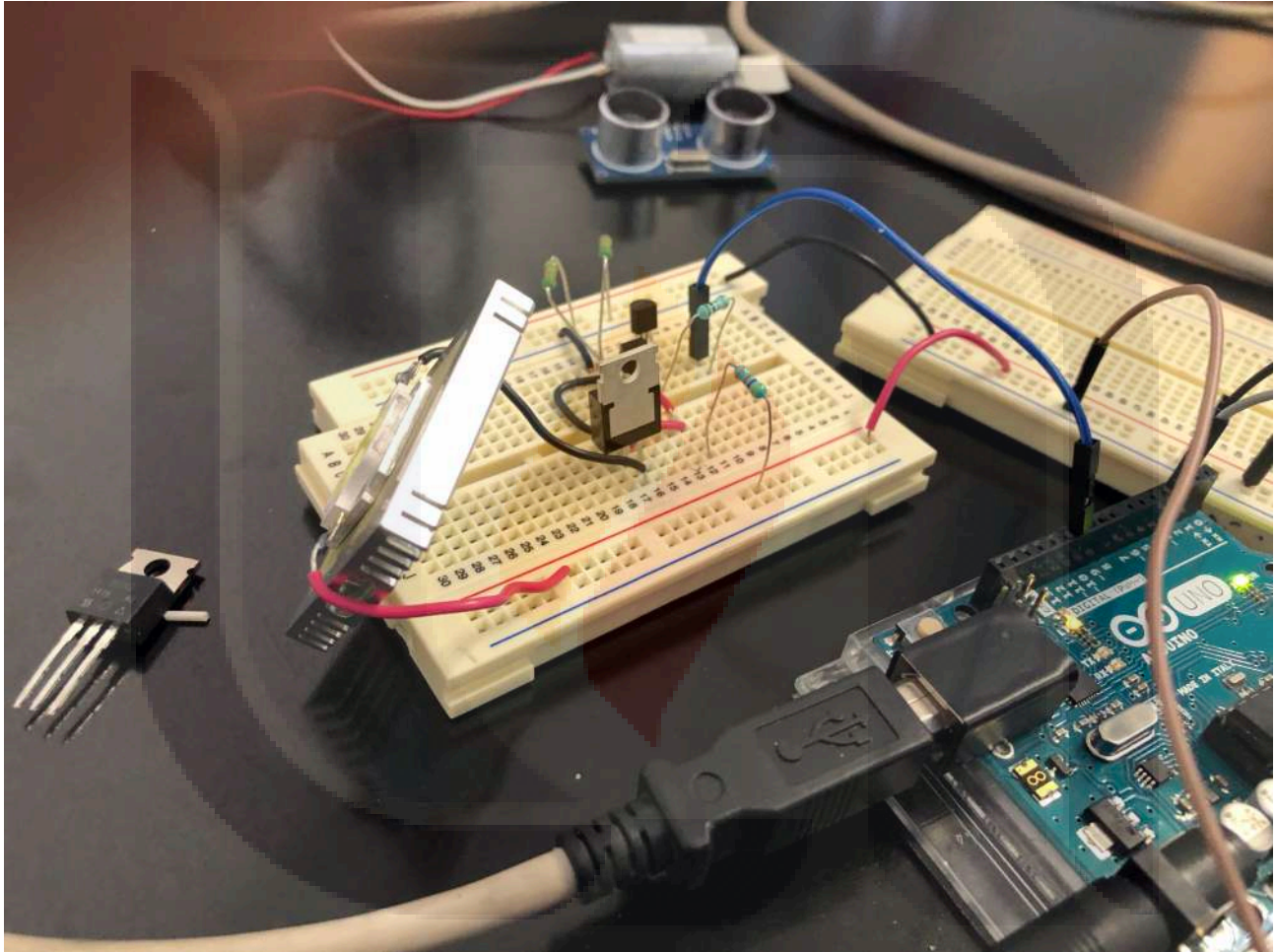
**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	13	Fecha:	Octubre 25, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 4 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, sensor ultrasónico, motor de grabadora, cables tipo jumper m/m, conectores tipo caimán, LED de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, protoboard y micrófono condensador electret						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se armó un circuito como el que se planea construir durante las próximas sesiones. Se logró alimentar y controlar un LED de 10 watts. Se descartó el uso de los circuitos controladores L293D.						
Descripción de la sesión:							
<p>Durante la sesión se trabajó en la construcción del circuito de prueba con los componentes y la protoboard. Se probó el sketch de Arduino en el tablero y con los componentes.</p> <p>Se probaron distintos parámetros en el sketch para escoger los valores que funcionaban mejor.</p>							
Problemas que se presentaron:	No se logró un funcionamiento satisfactorio en el LED; éste parpadeaba y no representaba adecuadamente la intensidad con la que se le hablaba al micrófono.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Después de esta sesión quedarán pendientes dos actividades: la primera consistirá en elaborar un circuito como el que se construyó, pero en la placa fenólica, con los componentes fijos. También será necesario probar más parámetros para el funcionamiento de los LEDs, de manera que no parpadeen y que se aprecien mejor las distintas intensidades de luminosidad.						

Evidencias

Enlaces a videos: N/A

Fotografías, esquemas o código:



Fotografía de los componentes en la protoboard.

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	14	Fecha:	Octubre 29, 2019	Duración:	4 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 5 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, software Ultiboard instalado, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, sensor ultrasónico, motor tipo Braun, cables, conectores tipo caimán, LEDs de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, placa fenólica, headers y micrófono condensador electret						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se establecieron parámetros para tener un mejor funcionamiento de los LEDs. Se diseñó el circuito que se imprimirá en la placa fenólica, en donde los componentes se fijarán con soldadura. Se cumplió con un proceso de concretización en el sistema interactivo, obedeciendo al procedimiento planteado con base en la <i>mentalidad técnica</i> de Gilbert Simondon.						

Descripción de la sesión:

Al inicio de la sesión se probaron los motores conseguidos. Estos funcionaban adecuadamente con una potencia continua, pero con los impulsos enviados desde [Arduino](#) mediante el circuito no se movían. También consumían más corriente que los motores con los que contaba el laboratorio de interfaces electrónicas.

Posteriormente se puso a prueba el circuito con cuatro LEDs en lugar de uno. Se conectaron en línea.

También se modificaron los parámetros en el sketch de [Arduino](#) para hacer que los LEDs respondieran de manera más precisa a los estímulos detectados por el micrófono electret.

Se determinó que también sería necesario conseguir disipadores de calor para los transistores MOSFET, así como pasta disipadora.

Al final de la sesión se realizó el diseño del circuito que se imprimirá en la placa fenólica con el software [Ultiboard](#). Además, es importante destacar en este punto que se obedeció otro de los fundamentos de la *mentalidad técnica* de Gilbert Simondon, puesto que el circuito diseñado servirá para hacer funcionar el sistema 2 o el sistema 3, por separado o de manera simultánea. Bastará con conectar o desconectar los cables conectados a los LEDs o al motor.

Problemas que se presentaron:	Los motores que se consiguieron no son la mejor alternativa para utilizar en el sistema, por lo que será necesario buscar otros motores que requieran menor energía para iniciar su movimiento y, además, que tengan un eje más largo para montar la hélice.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Una vez probado el circuito con distintos parámetros y componentes, sólo resta comenzar a trabajar en la
Evidencias	
Enlaces a videos:	https://youtu.be/L1n7ESvu01s
Fotografías, esquemas o código:	



**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	15	Fecha:	Octubre 31, 2019	Duración:	4 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 6 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, filamento de impresión de 3mm, impresora 3D, sensor ultrasónico, motor tipo Braun, cables, conectores tipo caimán, LEDs de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, placa fenólica, ácido férrico, plancha de ropa, headers y micrófono condensador electret						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se imprimió el circuito en la placa fenólica.						

Descripción de la sesión:

Esta sesión comenzó con la impresión del circuito diseñado anteriormente en [Ultiboard](#). Posteriormente se utilizó una plancha común de ropa para pasar la tinta del papel a la placa fenólica. Previamente fue necesario cortar placa al tamaño necesario y lijar los bordes. También se lavó para facilitar la adhesión de la tinta.

Una vez planchada, la placa se sumergió en agua para despegar el papel. De nuevo se lavó para quitar los residuos de papel.

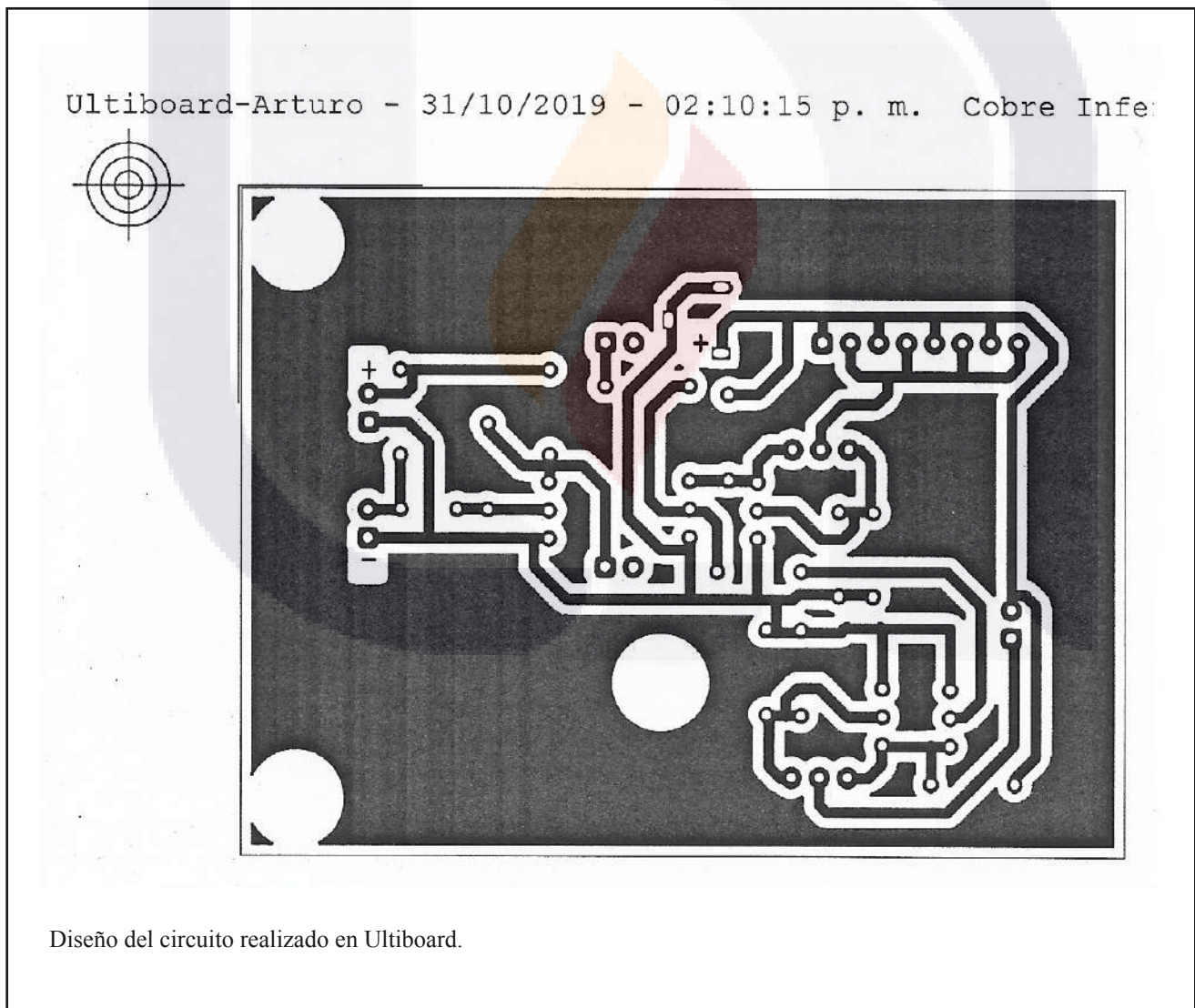
Después de remover el papel y los residuos, la placa se sumergió en ácido férrico. Se utilizó una base diseñada por Juan Galindo para mover el recipiente y facilitar la corrosión uniforme del cobre en la placa.

El procedimiento se realizó dos veces, debido a que en la primera ocasión el cobre de otras secciones de la placa fue dañado por el ácido. A pesar de esto, la placa habría funcionado correctamente, pero se decidió realizar una segunda versión con más cuidado.

En la segunda ocasión se recubrió el cobre con tinta indeleble después de remover los residuos de papel, para brindar una protección adicional al cobre que no debía ser atacado.

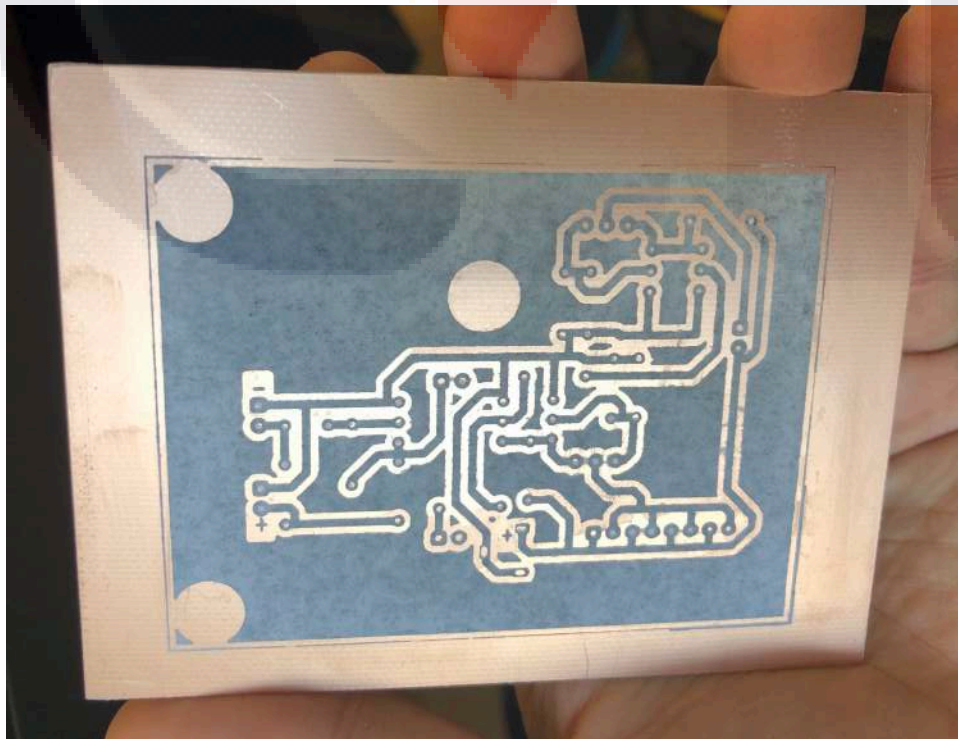
Al final de la sesión se comenzó con la impresión de la hélice. Se explicó el procedimiento, aunque por la naturaleza de los materiales y del proceso, Juan Galindo se encargó de calibrar la impresora 3D y cargar el programa de la impresión. Se concluyó la impresión, pero las secciones de la hélice no se lijaron durante esta sesión.

Problemas que se presentaron:	La primera placa en la que se trabajó no tenía una presentación ideal, por lo que fue necesario imprimir y correr otra. En la segunda ocasión los resultados fueron satisfactorios. No se presentaron más problemas durante el resto de la sesión.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En la próxima sesión será necesario taladrar la placa y montar los componentes electrónicos. También habrá que soldar los cables a los LEDs y al motor, así como al micrófono electret. Finalmente, se tendrán que lijar las partes de la hélice que se imprimió en esta sesión
Evidencias	
Enlaces a videos:	https://youtu.be/zJJoWT3NzSI
Fotografías, esquemas o código:	

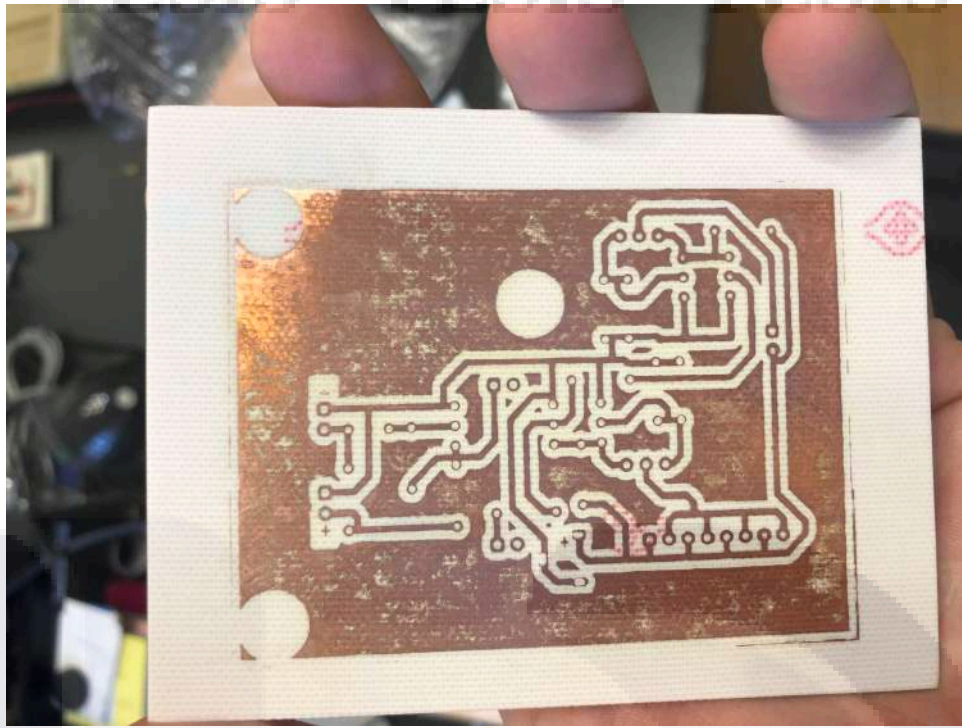




Placa fenólica después del planchado, sumergida en agua para remover el papel.



Placa fenólica después de desprender el papel y remover parte de los residuos de papel.



Placa fenólica después de ser sumergida en ácido férrico.



Muestra de una sección sin lijar de la hélice impresa en 3D.

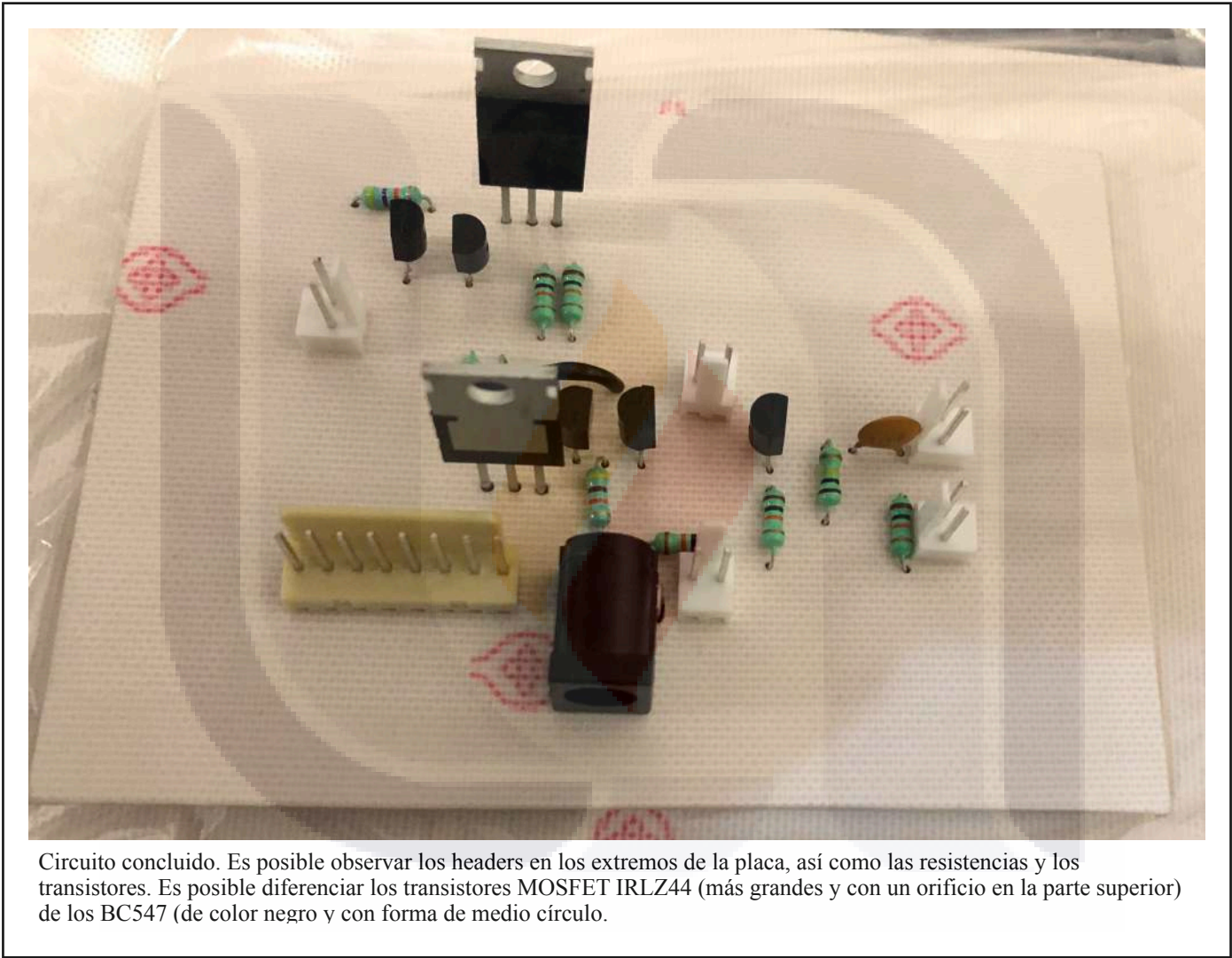
**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	16	Fecha:	Noviembre 4, 2019	Duración:	6 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 7 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, filamento de impresión de 3mm, impresora 3D, sensor ultrasónico, motor tipo Braun, cables, LEDs de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, placa fenólica, headers, taladro, broca de 1/32, broca de 3/64, caudín, soldadura de estaño, capacitor de 0.1uF y micrófono condensador electret.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se fijaron los componentes electrónicos en la placa fenólica y se soldaron las terminales de los cables de los LEDs y del motor.						
Descripción de la sesión:							
<p>Esta sesión se montaron los componentes (resistencias, headers, transistores, capacitores y terminales). Se tomó otra impresión de Ultiboard como referencia para montar adecuadamente los componentes, principalmente para utilizar las resistencias con los valores correctos.</p> <p>Antes de comenzar a soldar se perforó la placa con un taladro de banco. Primero se utilizó la broca más delgada y después se abocardaron algunas perforaciones con la broca de mayor tamaño.</p> <p>Se puso especial atención en colocar los componentes en la orientación y en la posición correcta. También se consideró el espacio necesario para colocar los disipadores de calor en los transistores IRLZ44.</p> <p>Se lijaron las partes de la hélice, tanto las aspas como la sección central.</p>							
Problemas que se presentaron:	No se presentó ningún problema durante la sesión, pero tampoco fue posible soldar los cables y otros componentes del sistema.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En la próxima sesión será necesario terminar de soldar los cables a las terminales, a los LEDs y al motor, así como probar el funcionamiento del circuito concluido.						

Enlaces a videos:

N/A

Fotografías, esquemas o código:



**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	17	Fecha:	Noviembre 5, 2019	Duración:	6 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 8 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, filamento de impresión de 3mm, impresora 3D, sensor ultrasónico, motor tipo Braun, cables, LEDs de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, placa fenólica, headers, taladro, broca de 1/32, broca de 3/64, cautín, soldadura de estaño, capacitor de 0.1uF, cables tipo jumper m/m, disipadores de calor y micrófono condensador electret.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se concluyó la construcción del circuito.						

Descripción de la sesión:

Se prosiguió con la construcción del circuito. Esta sesión se dedicó a soldar los componentes restantes, como el motor, los LEDs, el micrófono electret y el sensor ultrasónico.

Se soldaron los cables para poder utilizar terminales de cables tipo jumper y, así, conectarlos fácilmente al tablero [Arduino Uno](#). También se soldaron los cables de los LEDs y del motor a los headers. Esto también permitirá que conectar y desconectar los componentes sea una tarea sencilla.

Fue posible concluir el armado del circuito y de todos sus componentes. La última parte consistió en soldar el micrófono electret a los cables y estos, a su vez, a los headers correspondientes. Se hizo lo mismo con el sensor ultrasónico, y el cable positivo de este se soldó al cable de alimentación de 5V del circuito.

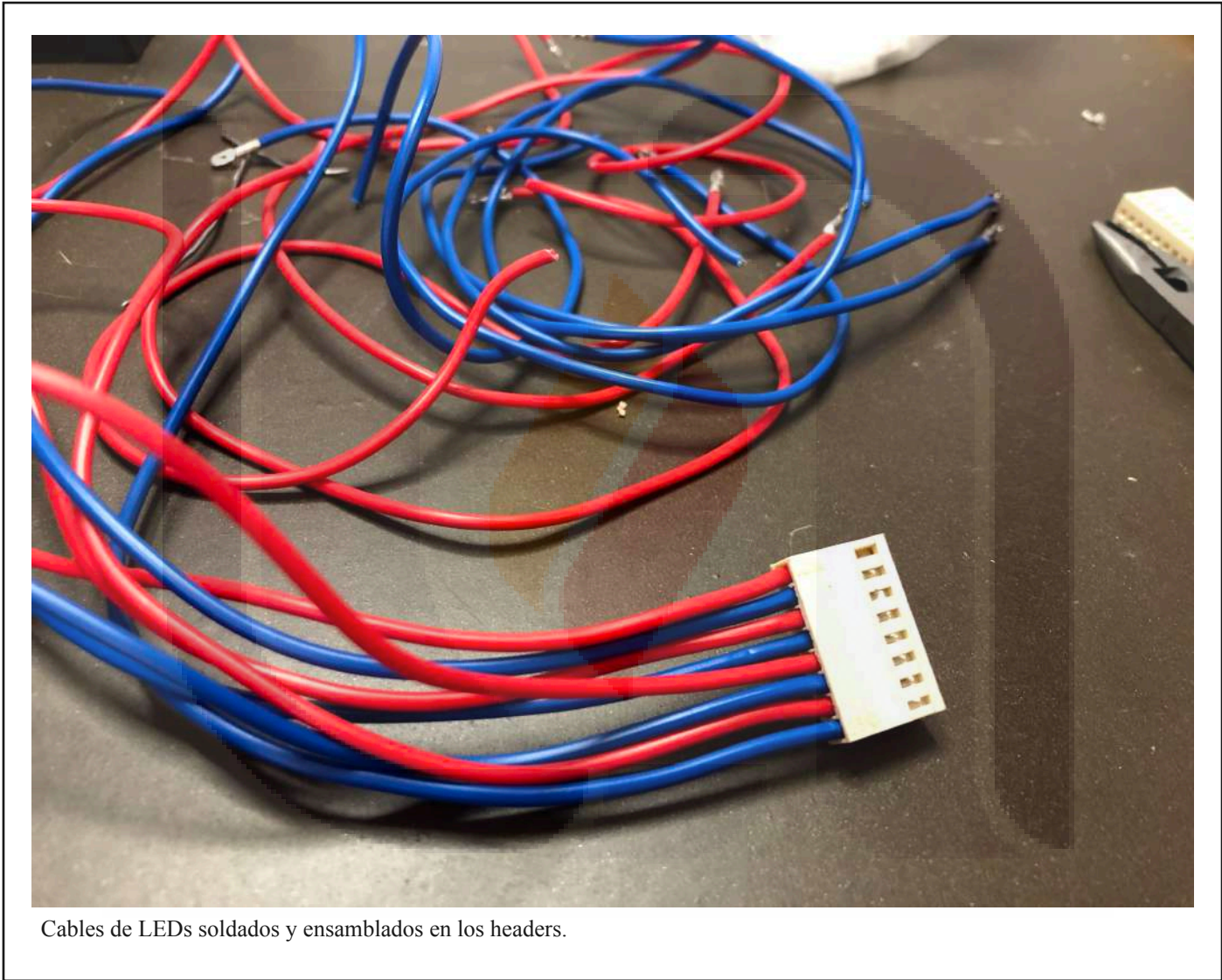
Por último, se realizó una prueba para comprobar el funcionamiento del circuito. Desafortunadamente no funcionó; los LEDs mostraban una actividad casi imperceptible, mientras que el motor no se movía. Ningún componente se quemó ni se calentó, por lo que pensamos que el error se podría encontrar en los valores utilizados en las resistencias del circuito, sin embargo, el tiempo disponible para la sesión había finalizado.

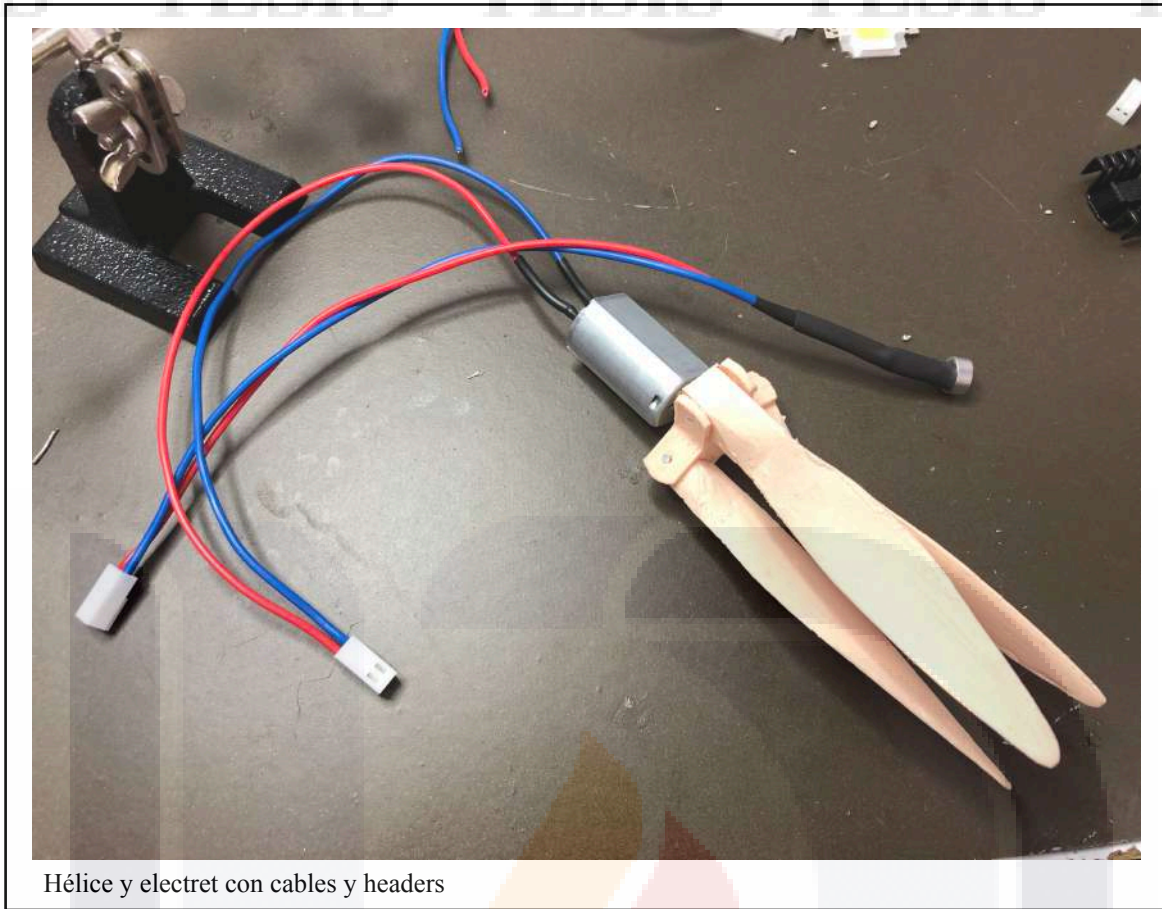
Problemas que se presentaron:	El circuito no funcionó como se esperaba, aunque se concluyó la construcción del circuito y de todos sus componentes.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En la próxima sesión únicamente habrá que hallar y solucionar los problemas experimentados en esta sesión.

Enlaces a videos:

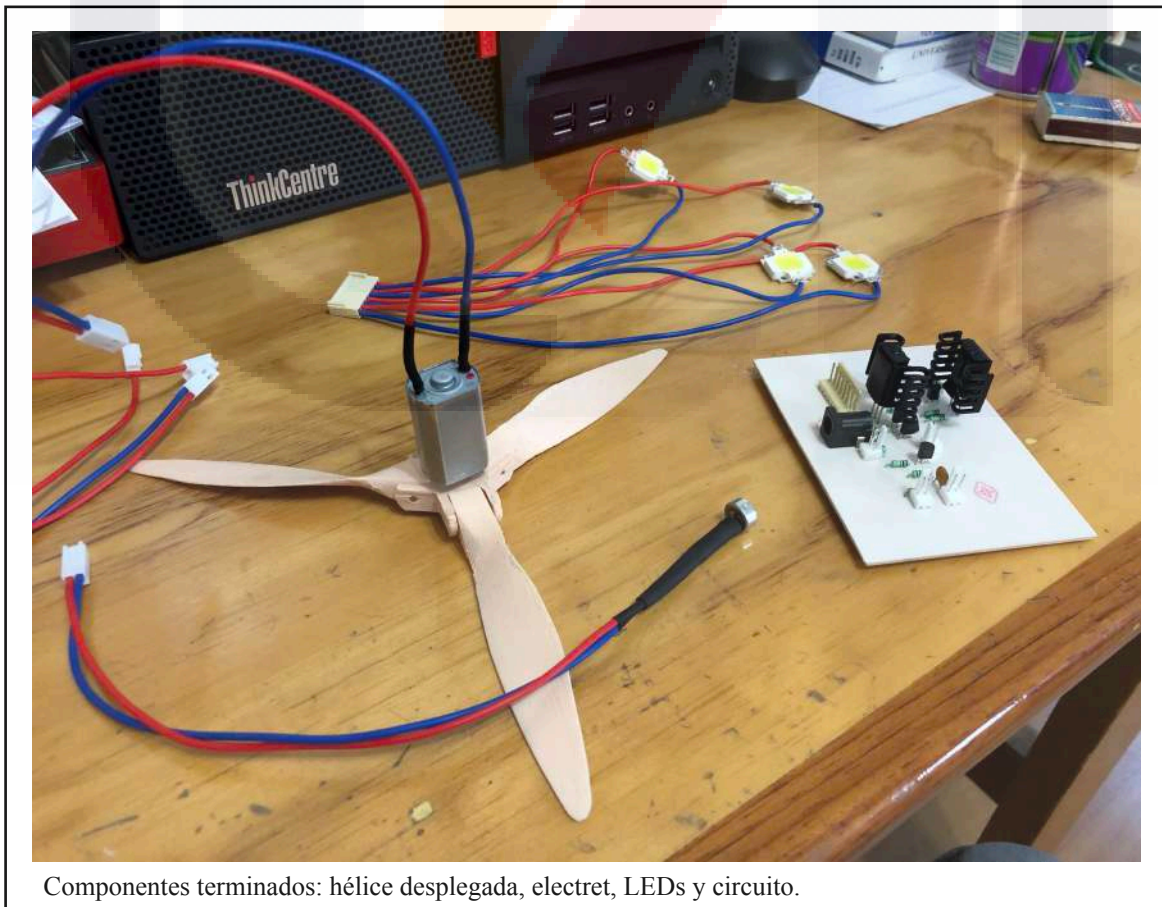
N/A

Fotografías, esquemas o código:





Hélice y electret con cables y headers



Componentes terminados: hélice desplegada, electret, LEDs y circuito.

**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	18	Fecha:	Noviembre 6, 2019	Duración:	3 horas	Lugar:	Laboratorio de interfaces electrónicas y robótica del Centro Multimedia (CMM) en el Centro Nacional de las Artes (CENART), CDMX
Título de la sesión:	Visita 9 al Centro Multimedia (CMM)						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador) Juan Galindo (jefe del laboratorio de interfaces electrónicas y robótica, CMM) Abraham Sánchez						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Arduino instalado, tablero Arduino Uno, filamento de impresión de 3mm, impresora 3D, sensor ultrasónico, motor tipo Braun, cables, LEDs de 10 watts, resistencias de 47k ohms a 1/2 watt, resistencias de 3.3 ohms a 1/2 watt, transistores BC547, transistores MOSFET IRLZ44, placa fenólica, headers, taladro, broca de 1/32, broca de 3/64, cautín, soldadura de estaño, capacitor de 0.1uF, cables tipo jumper m/m, disipadores de calor y micrófono condensador electret.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se corrigieron errores en las resistencias utilizadas en el circuito y se concluyó la construcción del mismo. Con esto se concluyó el planteamiento técnico de 2 de los 3 sistemas interactivos.						

Descripción de la sesión:

Ésta fue la última sesión en el laboratorio de interfaces electrónicas. Las actividades en esta ocasión consistieron en buscar y corregir los errores que se presentaban en el circuito. Se utilizaron resistencias con valores incorrectos. En consecuencia, al sustituirlas por resistencias con valores adecuados el circuito funcionó sin problema: los LEDs respondieron adecuadamente, al igual de el motor con la hélice.

Se colocaron papeles debajo de la hélice y al hacerla funcionar, pudo moverlos, que es lo que se buscaba.

Es oportuno mencionar que los 3 objetivos planteados fueron satisfechos, es decir, fue posible controlar dispositivos de mayor voltaje, como 4 LEDs de 10 watts y un motor de 12 watts. Al dejar de hablar o soplar al micrófono electret, la actividad de los LEDs y del motor se interrumpe. Finalmente, si el espectador se aleja del rango de detección elegido para el sensor ultrasónico (80m), los sistemas se apagan.

También es necesario destacar que lo que se trabajó es una base para continuar con pruebas y modificaciones para optimizar el funcionamiento de los sistemas.

En la sección de “Evidencias” de este formato de registro de sesión se incluye el código utilizado en [Arduino](#), así como una imagen del circuito que puede imprimirse si se desea replicarlo. También se presenta una imagen de referencia, con los componentes (y sus valores) que se utilizaron, en la posición adecuada, para replicarse si se desea. Para que el sensor ultrasónico funcione con el sistema y con el sketch de [Arduino](#) presentado, la salida **Vcc** debe conectarse a la alimentación de 5V, **Trig** deberá conectarse al **Pin 3** de [Arduino](#), **Echo** al **Pin 2** y **Gnd** a **Gnd** en el tablero [Arduino](#).

Problemas que se presentaron:	Todos los problemas que se presentaron anteriormente fueron solucionados.
-------------------------------	---

Actividades para trabajar en las próximas sesiones:

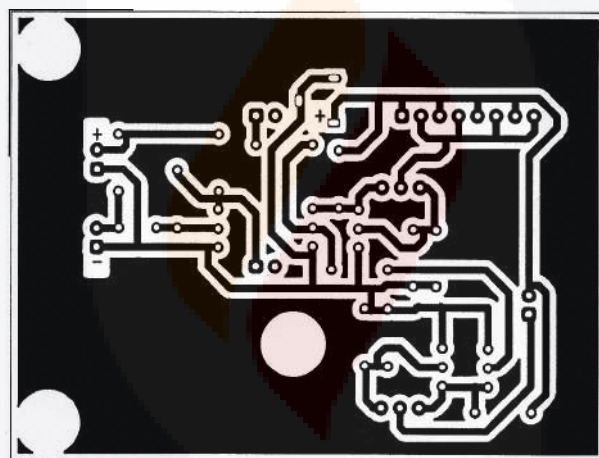
Lo único que queda por hacer es trabajar en el sistema 1 y experimentar con otros parámetros en los sistemas 2 y 3. Ahora el investigador puede replicar y modificar por sí mismo los circuitos realizados durante estas sesiones en el Centro Multimedia del CENART.

Evidencias

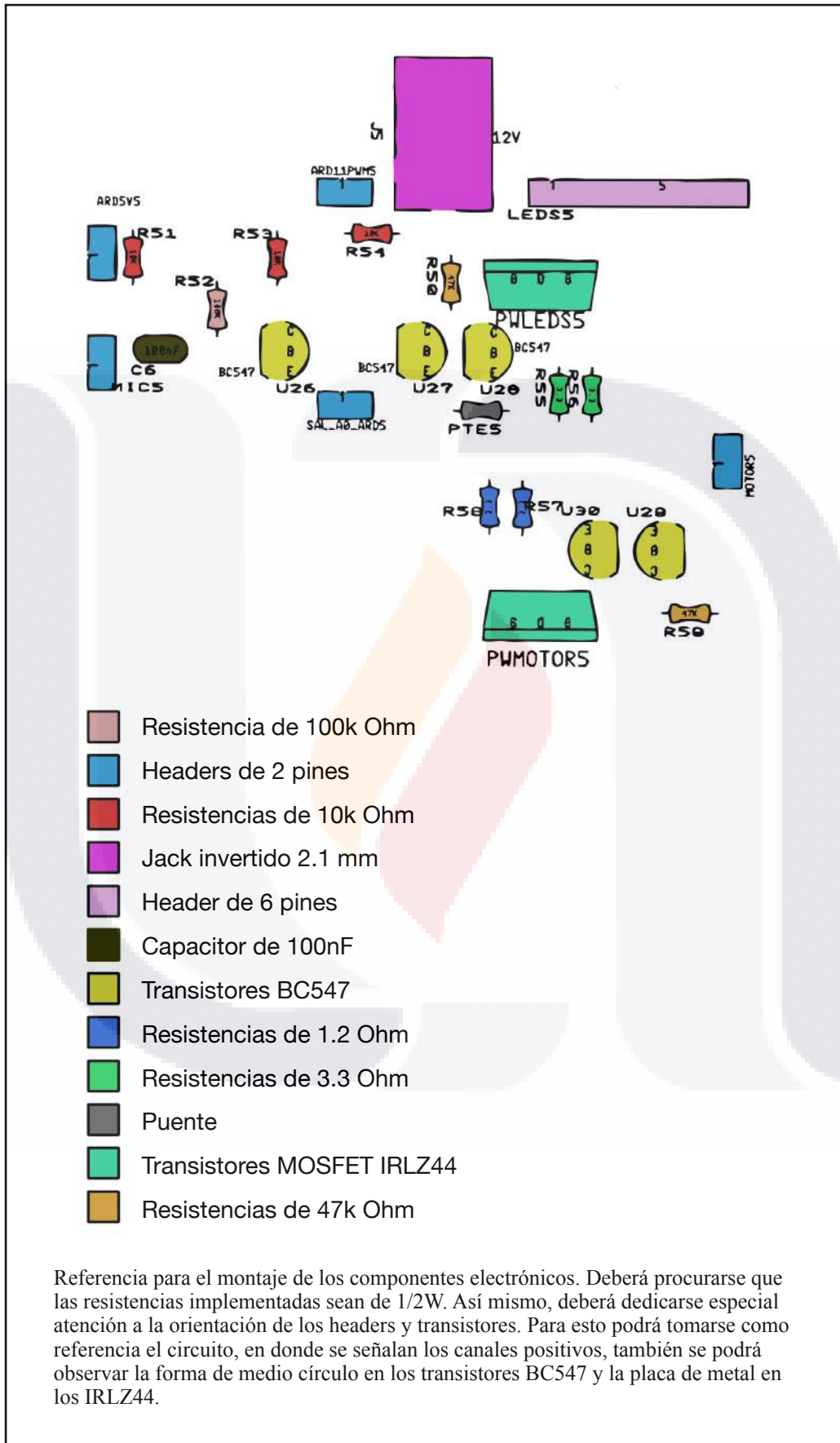
Enlaces a videos:

<https://youtu.be/tnMtmxLYqBo>

Fotografías, esquemas o código:



Circuito diseñado en Ultiboard. Si se desea construir el mismo circuito será posible imprimir ésta misma página en este formato. Si existen dudas con respecto al tamaño de la impresión, el ancho de esta imagen debe ser de 8cm y su altura de 6cm.



Código utilizado en Arduino:

```

int control = 11;
int mic = A0;
int val;
int trigPin1 = 3; // Elegimos el pin para Trig
int echoPin1 = 2; // Elegimos el pin para Echo
long duracion1, cm1; // Variables que utilizaremos
int Limite = 80;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT); //Definimos inputs y outputs
  pinMode(echoPin1, INPUT);
  pinMode(control, OUTPUT);
  pinMode(mic, INPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  // La duración es el tiempo, en microsegundos que tarda la señal
  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  // Convertimos el tiempo en distancia
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  Serial.print("Distancia=");
  Serial.println(cm1);

  if (cm1 <= Limite)
  {
    val = analogRead(mic);
    Serial.print("          sonido=");
    Serial.println(val);
    val = map(val, 0, 1000, 0, 255);
  }
}

```

(continúa en la siguiente página)

(continuación del código)

```
if (val < 45)
{
  analogWrite(control, 255);
}
if (val >= 45 && val < 140)
{
  analogWrite(control, 150);
}
if (val >= 141 && val < 180)
{
  analogWrite(control, 125);
}
if (val >= 181 && val < 240)
{
  analogWrite(control, 100);
}
if (val >= 241 && val < 280)
{
  analogWrite(control, 75);
}
if (val >= 281 && val < 320)
{
  analogWrite(control, 50);
}
if (val >= 321 && val < 360)
{
  analogWrite(control, 40);
}
if (val >= 361 && val < 400)
{
  analogWrite(control, 30);
}
if (val >= 401 && val < 440)
{
  analogWrite(control, 20);
}
if (val >= 441 && val < 480)
{
  analogWrite(control, 10);
}
if (val >= 481 && val < 520)
{
  analogWrite(control, 10);
}
if (val >= 521 && val < 560)
{
  analogWrite(control, 0);
}
}
else
{
  analogWrite(control, 255);
}
}
```


**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	19	Fecha:	Noviembre 28, 2019	Duración:	4 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Carcasa provisional para montaje de los sistemas 2 y 3						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Cartulina batería, lápiz, pluma, cutter de precisión, regla de 50 cm, juego de escuadras, hojas de papel, pegamento blanco, silicon transparente, sistemas 2 y 3 (con los componentes expuestos en la sesión 18).						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se construyó una carcasa provisional para mostrar el funcionamiento y realizar pruebas de manera más fácil con los sistemas 2 y 3.						

Descripción de la sesión:

Se determinó que era necesario construir una carcasa provisional para presentar los sistemas 2 y 3, así como para realizar pruebas sin necesidad de mover demasiado los cables del motor y de los LEDs y, así, evitar su deterioro.

Para llevar a cabo esta sesión primero se consiguió el material fundamental para realizar la carcasa. Se escogió la cartulina batería por su rigidez y por la facilidad de manejo que ofrece. Posteriormente se elaboró un diseño para concebir la forma de la carcasa y aprovechar al máximo el material. Después de realizar el diseño preliminar se midieron las aspas de la hélice, la interfaz electrónica y la placa de [Arduino Uno](#) para crear los espacios que contendrían estos elementos. También se tomó en consideración la longitud los cables, con lo que se determinó la altura de la carcasa.

Una vez que se fijaron las medidas y las formas primordiales se trazaron en papel, éstas se trasladaron a la cartulina. Se añadieron a las medidas algunas pestañas para armar la carcasa y añadirle rigidez.

Después de cortar las piezas, junto con los agujeros necesarios para montar el motor, los LEDs, el micrófono y el sensor ultrasónico, se ensamblaron las piezas de cartulina. Después de montar los sistemas en la carcasa y comprobar que las medidas eran correctas, las piezas se fijaron entre sí con resistol blanco. En algunas secciones se utilizó también silicon transparente.

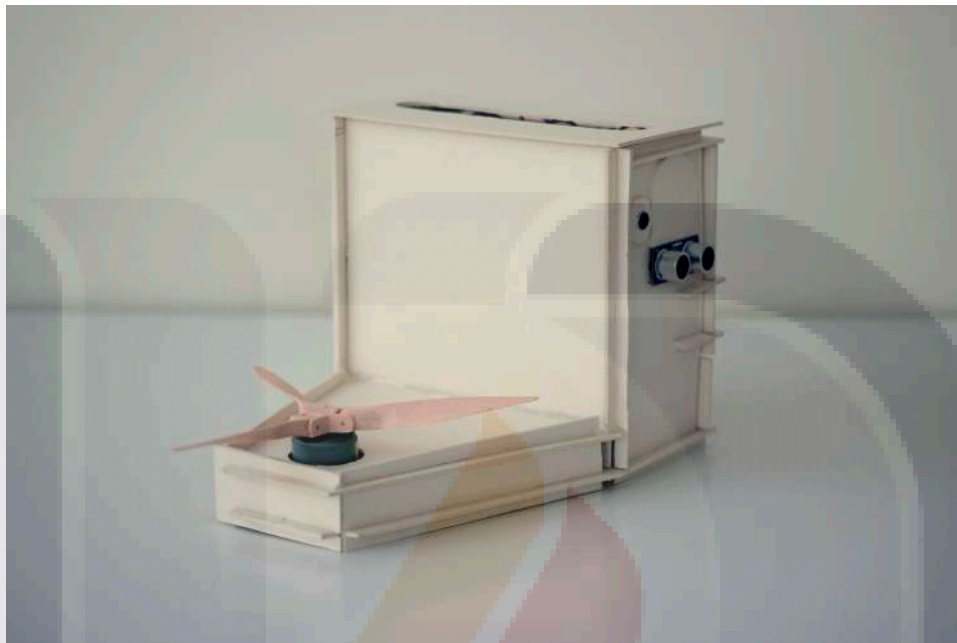
Finalmente, se montaron los elementos de los sistemas 2 y 3. El micrófono se fijó con silicon transparente, mientras que otros elementos como el sensor ultrasónico o los LEDs se sujetaron con alambre delgado.

Problemas que se presentaron:	No se presentó ningún problema durante esta sesión.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	La carcasa realizada es una solución provisional ante el posible deterioro de las piezas que conforman los sistemas 2 y 3, pero no representa la forma final de estos sistemas. Crear la forma final que tendrán estos sistemas será tarea para futuras sesiones.

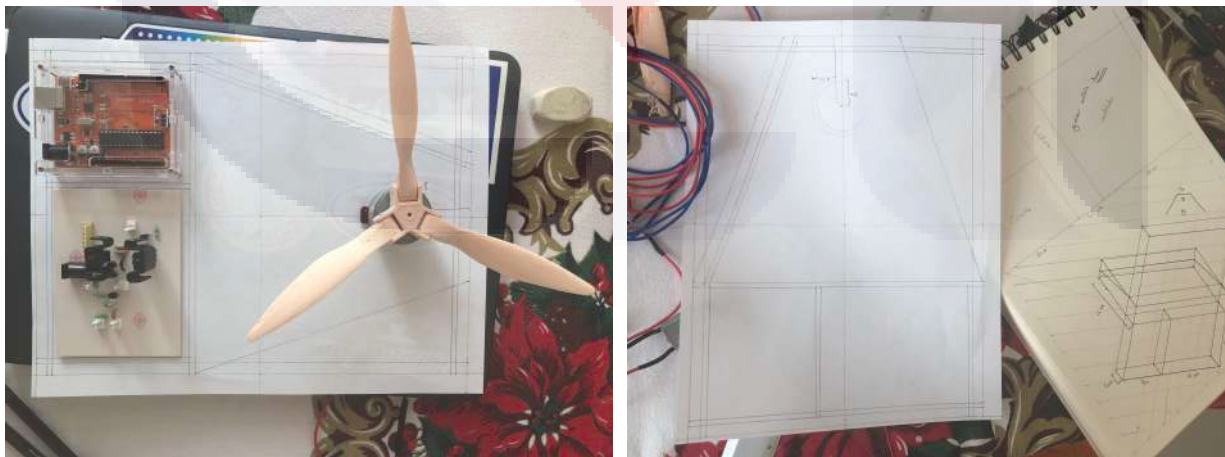
Enlaces a videos:

<https://www.youtube.com/watch?v=BJpZf6NieE4>

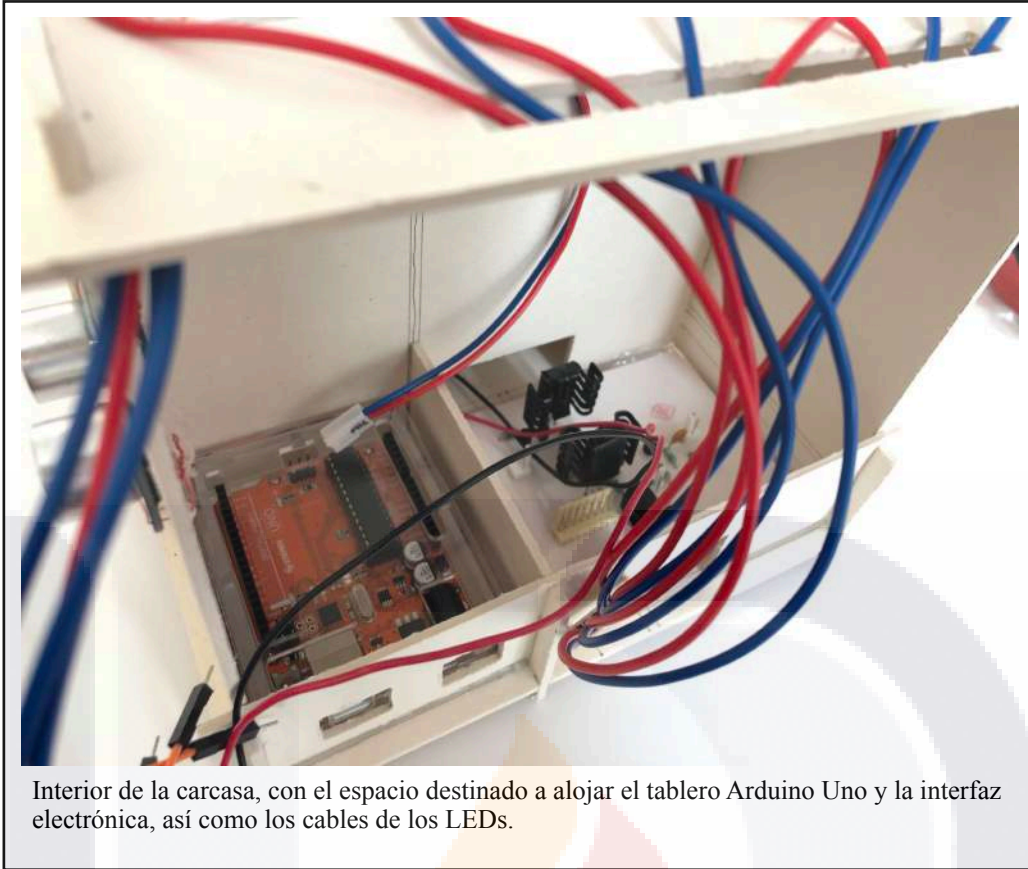
Fotografías, esquemas o código:



Carcasa provisional para el montaje de los sistemas 2 y 3.



Elaboración de diseño y molde para la carcasa. A la izquierda: molde para la tapa de la carcasa, que alojaría el tablero Arduino Uno, la interfaz electrónica y el motor con la hélice. A la derecha: Diseño preliminar y molde en papel para la tapa.



**Registro de construcción
Sesiones de trabajo**

Número de sesión:	20	Fecha:	Marzo 14, 2020	Duración:	4 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Detección de frecuencia con Pure Data y el objeto Sigmund						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) (X)		Sistema 2 (voz y luz) ()		Sistema 3 (voz y viento) ()		
Materiales utilizados:	Computadora portátil con Pure Data instalado, micrófono USB unidireccional, amplificador de 900 watts, transductor táctil de 50 watts, cable auxiliar a RCA, cable de bocina, recipiente, sal y agua.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se logró realizar la detección de frecuencia y amplitud a través de Pure Data. Fue posible escalar los valores de frecuencia detectados.						
Descripción de la sesión:							
<p>Durante esta sesión se probó el objeto Sigmund en Pure Data para realizar la detección de frecuencia, de manera similar a los que se intentó desde SuperCollider con el objeto Pitch. Se intentó esto con el propósito de realizar algunas operaciones con los datos detectados y, así, poder escalarlos, que es algo que no se logró con SuperCollider.</p> <p>Al inicio se construyó un patch sencillo que permitía convertir a frecuencia los datos midi arrojados por Sigmund y convertir estos datos de nuevo en sonido, para comprobar que los sonidos que detectaba el micrófono correspondieran con lo que interpretaba el objeto Sigmund.</p> <p>Posteriormente se limitaron estos valores a un rango entre los 80 Hz y 350 Hz, adecuado para detectar las frecuencias de una persona adulta, hombre o mujer, al hablar. El patch envía un valor de 0 cuando la frecuencia es menor a 80Hz o mayor a 350 Hz. Después se escalaron estos datos a un rango entre los 30 Hz y 130 Hz, en concordancia con las conclusiones de la Sesión de trabajo 9.</p> <p>También se agregó una opción en la que la amplitud de los sonidos de salida puede corresponder a la amplitud del sonido de entrada, o tener un valor fijo de 1. Con la primera opción los cambios serían más dinámicos, pues atenderían a la frecuencia y al volumen de la voz del espectador.</p> <p>Finalmente, la computadora se conectó al amplificador, y éste al transductor táctil, sobre el cual se colocó un recipiente con agua y después uno con sal. No obstante, los efectos de cimática solamente son visibles en un rango muy pequeño de frecuencias, por lo que será necesario realizar más pruebas y resolver este problema.</p>							
Problemas que se presentaron:	Los efectos de cimática sólo se pudieron apreciar en momentos y situaciones particulares, no durante toda la interacción con el sistema.						
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	Para las próximas sesiones será necesario probar otros rangos de frecuencia para trabajar, así como construir una base sólida que sostenga el transductor táctil y transfiera las vibraciones de éste al recipiente. También será de gran utilidad intentar enviar los datos desde Pure Data a Arduino, con el objetivo de que los sistemas 2 y 3 puedan funcionar con este mismo principio de detección de frecuencia.						

Enlaces a videos: <https://www.youtube.com/watch?v=5HOI6N8IMak&t=73s>

Fotografías, esquemas o código:

Realicé este patch para construir uno de mis sistemas interactivos. Para rastrear la frecuencia utilicé el objeto sigmund-. Me sirvió mucho el video de "Kenneth Harte": <https://www.youtube.com/watch?v=BRtoBR12Yoc> En cuanto a la lógica condicional, me apoyé en el video de "cheetoskeeto": <https://www.youtube.com/watch?v=0TTZyD4x1E>

Arturo Barrios Mendoza Sábado 14 de marzo, 2020

Encender DSP Tecla o
key
0
select 111
pd dsp \$1

Con este slider comprobamos que no pasan valores menores de 80 ni mayores de 350

Aquí limitamos los valores sólo mayores de 80

Aquí limitamos los valores sólo menores de 350

Con este toggle podemos poner en zeros la frecuencia

Aquí podemos usar la amplitud de entrada o amplitud de 1

Annotations in the patch diagram:
- 'sigmund-' permite rastrear la frecuencia
- 'Se activa con la letra a'
- 'Se activa con la letra s'
- 'Suavizado'
- 'pack 0 10'
- 'line-'
- 'osc-'
- 'dac-'

Captura de pantalla del patch de Pure Data utilizado durante la sesión de trabajo.

Registro de construcción Sesiones de trabajo

Número de sesión:	21	Fecha:	Abril 2, 2020	Duración:	8 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Envío de datos de Pure Data a Arduino con el objeto Comport						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (voz y vibración) ()		Sistema 2 (voz y luz) (X)		Sistema 3 (voz y viento) (X)		
Materiales utilizados:	Computadora portátil, Pure Data instalado, software de Arduino instalado, librería de Comport instalada, Arduino Nano, Arduino Mega 2560, protoboard, resistencia de 220 ohms, LED, cables tipo jumper m/m, sensor ultrasónico hc-sr04, cables USB para Arduino Nano y Arduino Mega 2560, micrófono USB unidireccional.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se logró establecer una comunicación entre Pure Data y Arduino vía Puerto Serial. Se logró controlar un LED con la frecuencia y amplitud del sonido de la voz. Además, el LED se apaga cuando el micrófono no detecta sonido. El sistema se desactiva si el espectador no se coloca frente al sensor ultrasónico.						

Descripción de la sesión:

En esta sesión se realizaron variaciones en el patch de [Pure Data](#) de la Sesión de trabajo 20, con el objetivo de enviar los datos de frecuencia arrojados por el objeto [Sigmund](#) a [Arduino](#). Para esto fue necesario descargar un elemento adicional en [Pure Data](#) a través del menú [Ayuda - Buscar externos](#). Se buscó y se descargó la librería [Comport](#), que permite establecer comunicaciones via [Puerto Serial](#).

Los datos se escalaron a un rango de entre 0 y 255, de modo que pudieran ser interpretados por [Arduino](#) mediante modulación por ancho de pulsos (PWM). En [Pure Data](#) se utilizó una caja de mensaje con el texto [devices](#) para ver los puertos y los dispositivos conectados en cada puerto. Se localizó el tablero [Arduino](#) en el puerto 2, por lo que se utilizó el objeto [open 2](#) para conectarse a él. Después, la caja numérica con los valores escalados de 0 a 255 se conectó al objeto [comport 2 9600](#).

En [Arduino](#) se elaboró el sketch correspondiente, con una tasa de baudios, o [Boud Rate](#), de [9600](#), en concordancia con la que se estableció en [Pure Data](#). También se construyó una primera maqueta con la que [Arduino](#) recibiría los datos de [Pure Data](#) y encendería un LED de acuerdo con estos valores. En esta maqueta se utilizó el tablero [Arduino Nano](#). La maqueta funcionó adecuadamente; el LED se apagaba cuando no se le hablaba al micrófono y la velocidad de respuesta era correcta, sin embargo, todavía era necesario complementar esta maqueta con el sensor ultrasónico, para que únicamente respondiera con la presencia del espectador, así que se realizó otra maqueta con el tablero [Arduino Mega 2560](#) y con el sensor ultrasónico. Para esto fue necesario modificar el sketch de [Arduino](#).

Esta versión también funcionó como se esperaba; el sistema sólo se activaba cuando el sensor ultrasónico detectaba un objeto dentro del límite establecido en el sketch de [Arduino](#). Después, el tablero de [Arduino](#) realizaba la lectura de los valores enviados por el [Puerto Serial](#) desde [Pure Data](#) y el LED se encendía en concordancia con estos valores.

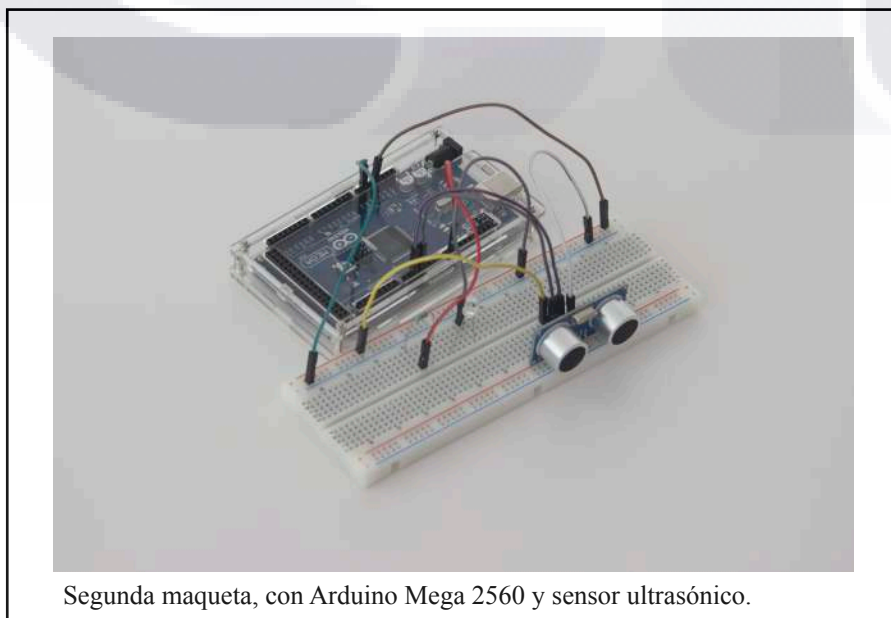
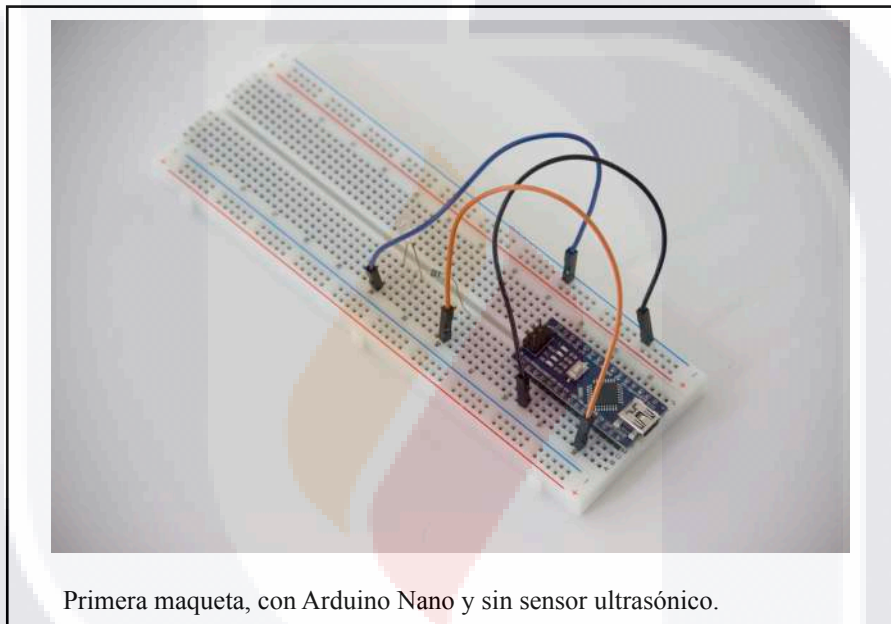
En las próximas sesiones se probará este funcionamiento con los LEDs de alta potencia, aunque para esto será necesario elaborar otro circuito como el que se construyó en las sesiones del Centro Multimedia, pero sin el micrófono electret, su capacitor y sus resistencias, ni la salida al [pin A0](#) del tablero [Arduino](#).

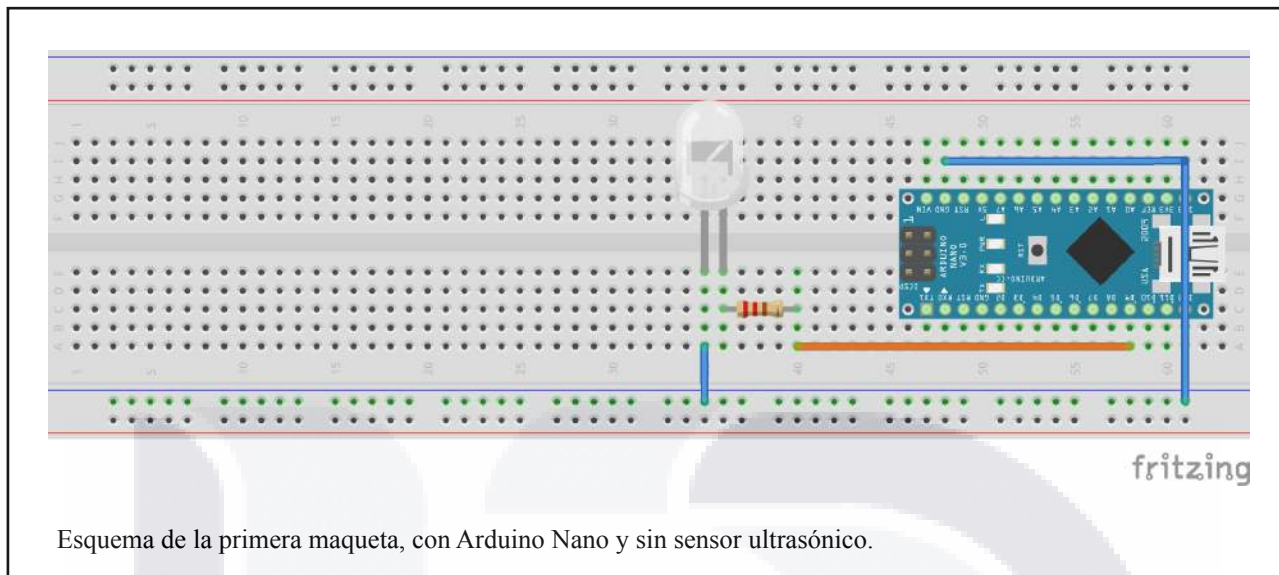
Problemas que se presentaron:	Al inicio se presentaron problemas con la segunda maqueta, la del tablero Arduino Mega 2560 y el sensor ultrasónico, pero estos problemas se resolvieron con cambios en el sketch de Arduino.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	En las próximas sesiones se probará este funcionamiento con los LEDs de alta potencia y con el motor y la hélice, aunque será necesario construir otro circuito y conseguir más materiales para realizar esta prueba.

Evidencias

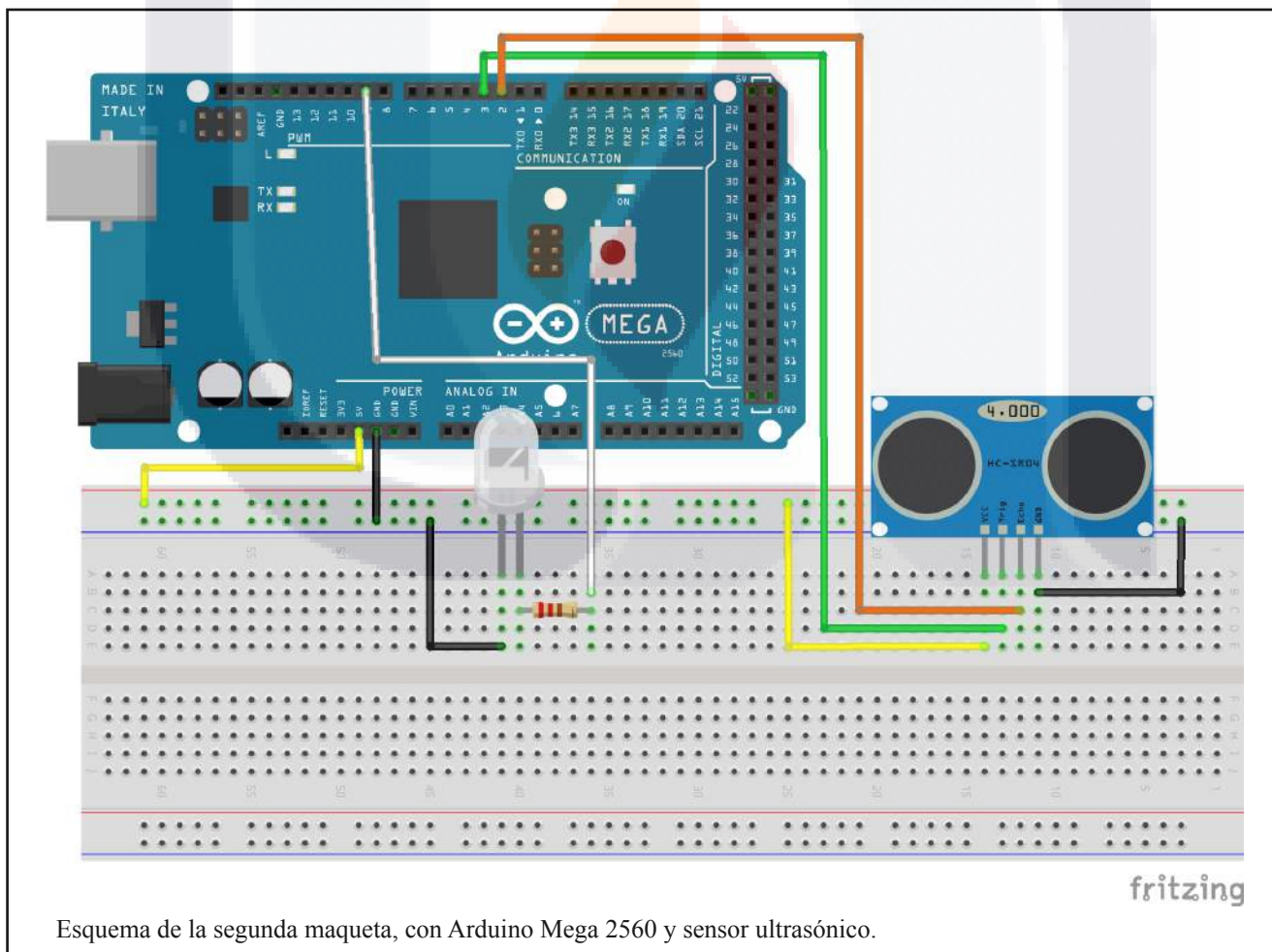
Enlaces a videos:	https://www.youtube.com/watch?v=ZUVnojxp5jk
-------------------	---

Fotografías, esquemas o código:





Esquema de la primera maqueta, con Arduino Nano y sin sensor ultrasónico.



Esquema de la segunda maqueta, con Arduino Mega 2560 y sensor ultrasónico.

**Código utilizado en Arduino en la maqueta 2
(con sensor ultrasónico):**

```

int trigPin1 = 3; // Elegimos el pin para Trig
int echoPin1 = 2; // Elegimos el pin para Echo
long duracion1, cm1; // Variables que utilizaremos

int Limit = 30;

int inByte;
int led = 9;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);

  pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop(){

  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  if (cm1 <= Limit)
  {
    if(Serial.available() >0){
      inByte=Serial.read();

      if(inByte==255) {
        led=0;
      }

      else
      {
        analogWrite((led%1)+9,inByte);
        led++;
      }
    }
  }

  else
  {
    analogWrite((led%1)+9, 0);
    led++;
  }
}

```

Registro de construcción Sesiones de trabajo

Número de sesión:	22	Fecha:	Mayo 6, 2020	Duración:	5 horas	Lugar:	Taller del investigador (Aguascalientes)
Título de la sesión:	Configuración y uso de Raspberry Pi en el sistema 1						
Participantes:	Arturo Barrios Mendoza (investigador)						
Sistemas en los que se trabajó:	Sistema 1 (sonido y vibración) (X)		Sistema 2 (sonido y luz) ()		Sistema 3 (sonido y viento) ()		
Materiales utilizados:	Raspberry Pi 4 Model B, memoria micro SD de 32GB y adaptador SD, eliminador de 5V a 3A, Cable HDMI a micro HDMI, televisión con puerto HDMI, teclado y ratón USB, Arduino Nano, protoboard, cables tipo jumper m/m, sensor ultrasónico hc-sr04, cable USB para Arduino Nano, micrófono USB unidireccional con cable, transductor táctil de 50 watts, amplificador de 900 watts, cable auxiliar a RCA y cable de bocina.						
Modificaciones realizadas o logros alcanzados:	Se redujeron las dimensiones del sistema 1 al utilizar la Raspberry Pi 4 Model B para correr el patch de Pure Data en vez de la computadora portátil.						

Descripción de la sesión:

El sistema 1 había logrado funcionar con el patch de [Pure Data](#) utilizado en las dos sesiones anteriores. Con el objeto [Comport](#) también fue posible recibir la lectura del sensor ultrasónico desde [Arduino](#). En esta sesión no fue necesario realizar ningún cambio significativo en el patch de [Pure Data](#) ni en el sketch de [Arduino](#). Las únicas modificaciones en el patch fueron estéticas, pero la construcción fue la misma. Esto se debe a que lo único que se hizo fue replicar en la [Raspberry Pi 4 Model B](#) el funcionamiento que se había probado en la computadora portátil. El deseo de utilizar este dispositivo, la [Raspberry Pi 4 Model B](#), se debe a que de esta manera se reducirían las dimensiones del sistema 1, además de que esta alternativa sería más cómoda si el sistema tuviera que presentarse en una exhibición, pues es más fácil exponer la [Raspberry](#) en vez un aparato cuya pérdida o reparaciones pueden tener un costo más alto.

El primer paso fue configurar la [Raspberry Pi 4 Model B](#), lo que implicó descargar el sistema operativo, [Raspbian](#), en la memoria micro SD. Sobre esto existen distintos tutoriales en internet que explican el proceso de una forma excelente, por lo que no se tratará aquí.

Posteriormente se instaló [Pure Data](#) y [Arduino](#) en la [Raspberry](#); para descargar el primero solamente fue necesario ingresar la siguiente línea en la terminal: `sudo apt-get install pd`. El segundo se también puede instalar con una línea en la terminal, aunque se optó por descargar el archivo de instalación de: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> Se descargó la versión listada como [Linux ARM 32 bits](#). Otro elemento que se tuvo que descargar fue el externo [Comport](#) para [Pure Data](#). Para esto se introdujo la siguiente línea en la terminal: `sudo apt-get install pd-comport`.

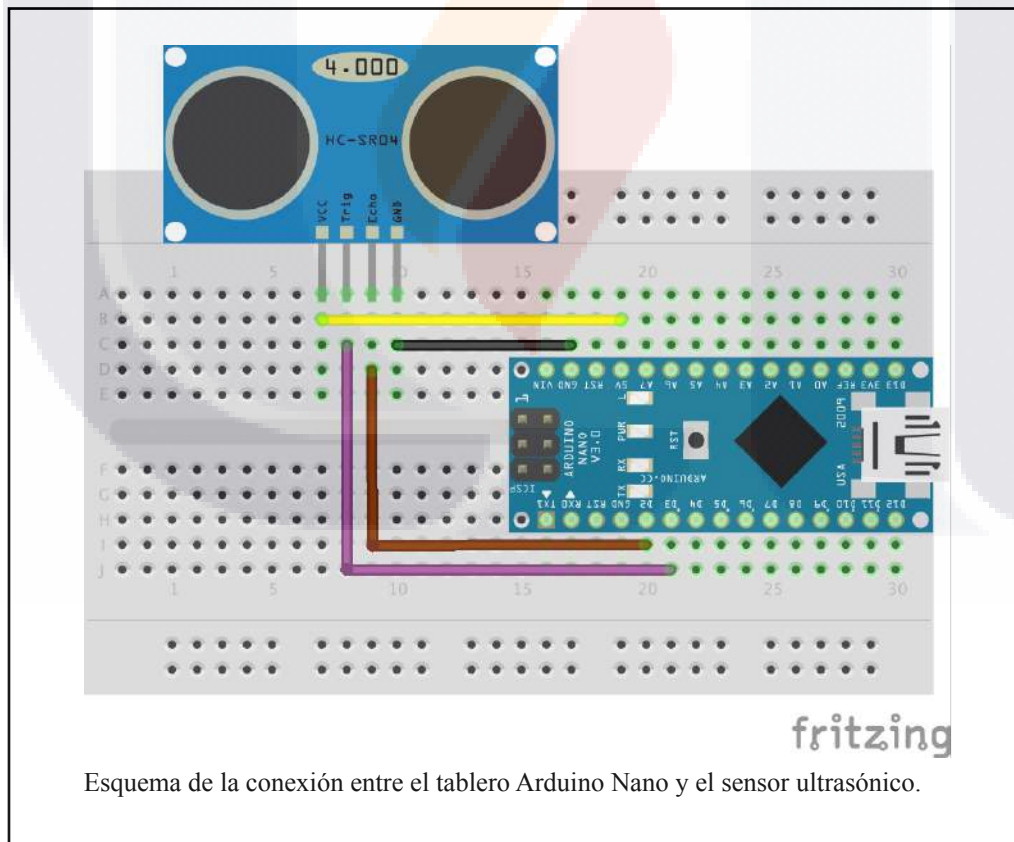
Una vez que se instalaron los programas y externos necesarios, se replicó el patch de [Pure Data](#) y el sketch de [Arduino](#) en la [Raspberry](#). Después se conectó el [Arduino Nano](#) al sensor ultrasónico y se le cargó el sketch correspondiente. También se conectó el micrófono USB a uno de los puertos de la [Raspberry](#), mientras que el amplificador de 900 watts se conectó a la salida de audio. Es necesario, cada vez que se abre el patch, seleccionar el micrófono USB como el dispositivo de entrada, y el plug de 3.5 mm como la salida de audio.

Primero se realizó una prueba con el monitor, el teclado y el ratón USB conectados a la [Raspberry](#); el sistema funcionó justo como había funcionado cuando se utilizó la computadora portátil. Para la segunda prueba se desconectó el monitor, el ratón y el teclado, con el propósito de mostrar las dimensiones reducidas del sistema, que no necesita de ellos para realizar la función de patch; de nuevo, el sistema funcionó correctamente.

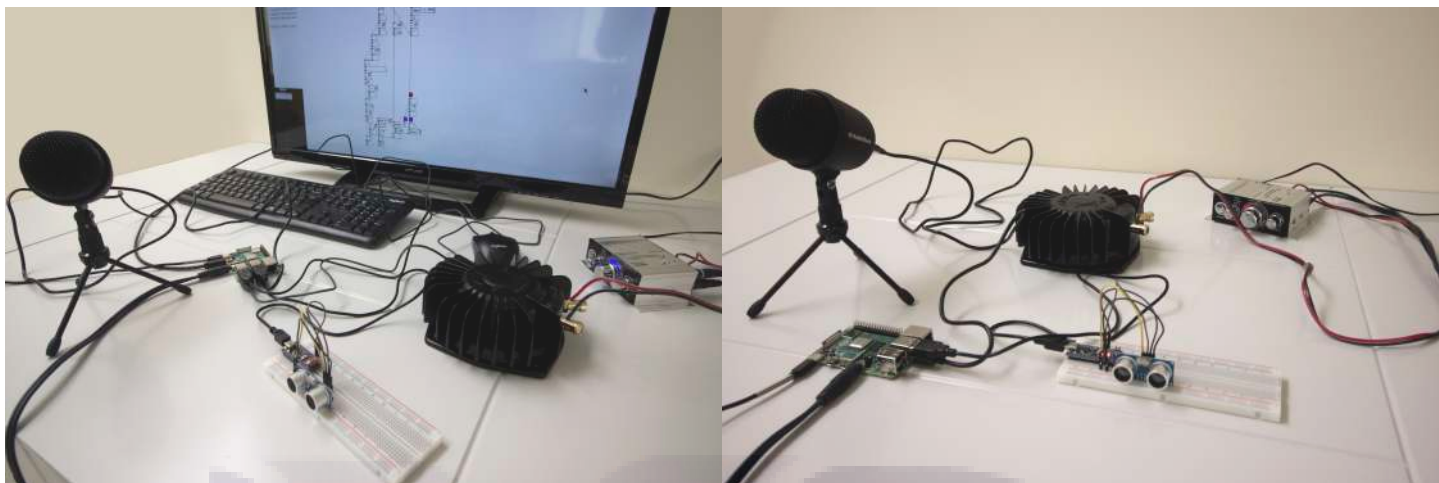
Problemas que se presentaron:	Durante esta sesión no se presentó ningún problema.
Actividades para trabajar en las próximas sesiones:	<p>Al momento de encender la Raspberry se requiere de un monitor y al menos de un ratón para abrir el patch de Pure Data, configurar las entradas y salidas de audio, y ejecutarlo. Este proceso sería más sencillo si se utilizara un display táctil, con lo que solamente se tendría que conectar y desconectar un dispositivo, en lugar de 3.</p> <p>Otro aspecto importante a considerar es que, aunque por motivos de fuerza mayor aquí se utilizó la Raspberry sin ninguna vía de enfriamiento, es importante incluir alguna carcasa o dispositivo que mantenga esta pequeña computadora fría para optimizar su desempeño y extender su tiempo de vida. Una de las mejores alternativas de enfriamiento activo para la Raspberry es la Ice Tower.</p>

Evidencias

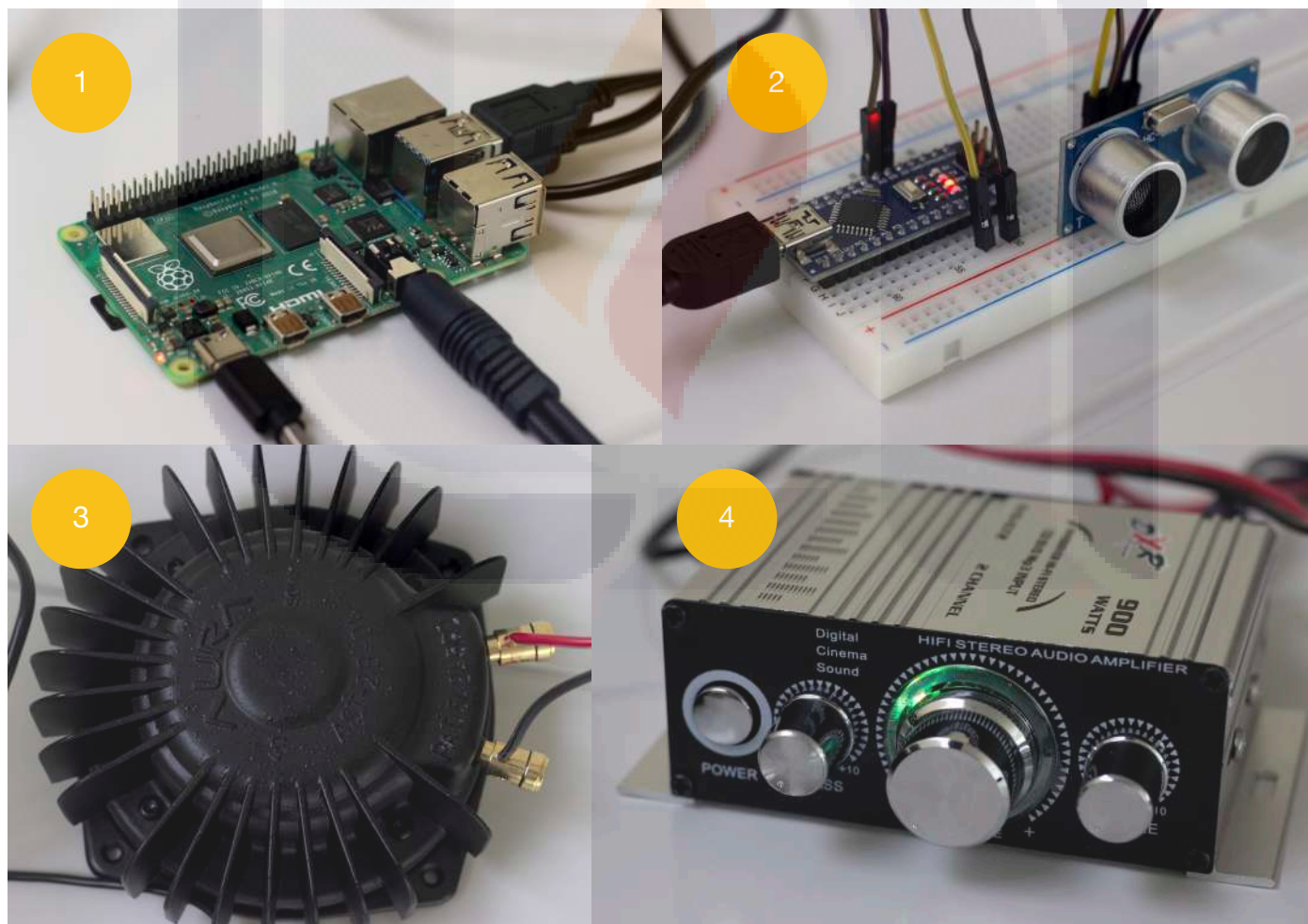
Enlaces a videos:	https://www.youtube.com/watch?v=ZUVnojxp5jk
	Fotografías, esquemas o código:



Esquema de la conexión entre el tablero Arduino Nano y el sensor ultrasónico.



A la izquierda: primera prueba, con el monitor, el teclado y el ratón USB conectados. A la derecha: segunda prueba, únicamente con el micrófono, el tablero Arduino Nano y el amplificador conectados a la Raspberry.



Algunos de los elementos del sistema 1: 1.- Raspberry Pi 4 Model B. 2.- Arduino Nano y sensor ultrasónico. 3.- Transductor táctil. 4.- Amplificador de 900 watts.



Plano cenital de los elementos que conforman el sistema 2.

Código utilizado en Arduino:

```
int trigPin1 = 3;
int echoPin1 = 2;
long duracion1, cm1;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  Serial.write(cm1);

  delay(250);
}
```

Usa Arduino y Pure Data para

Encender un LED con el sonido de tu voz

Con este proyecto podrás:

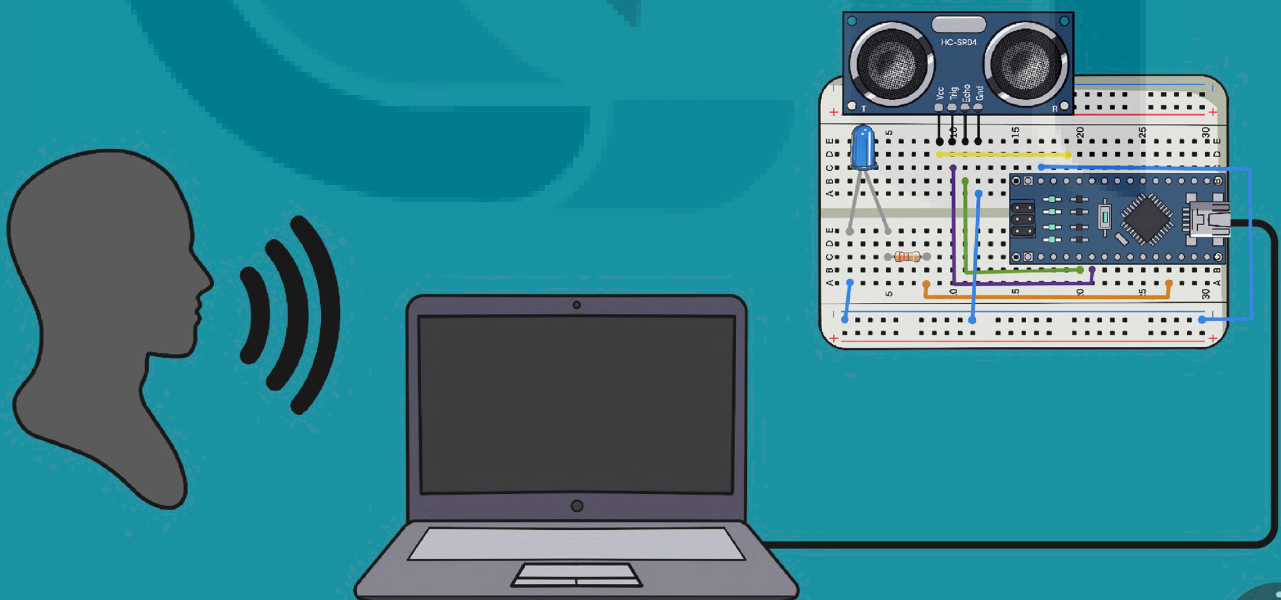
- Rastrear la frecuencia de un sonido en Pure Data con el objeto sigmund~
- Establecer una comunicación entre PD y Arduino a través del objeto comport

Este materiales es un producto de la investigación de maestría de Arturo Barrios Mendoza en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, con el apoyo del Plan de asesorías a proyectos artísticos y de investigación en Arte y Tecnología a través del Laboratorio de audio. Agradezco al Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes el apoyo otorgado.

Para realizar este proyecto necesitarás:

- 1 computadora con Pure Data instalado
- 1 tablero Arduino con su cable USB (puede ser Arduino Uno o Arduino Nano)
- 1 placa de pruebas (protoboard)
- 1 LED de 5mm (del color que prefieras)
- 1 resistencia de 220 Ohm
- 7 cables tipo jumper macho/macho
- 1 sensor ultrasónico HC-SR04
- 1 micrófono USB (opcional)

A continuación se muestra un esquema general del sistema. En él, el usuario podrá hablarle a la computadora, o si prefiere podrá utilizar un micrófono con conexión USB. En un patch de Pure Data se hará el rastreo de frecuencia de la voz para generar datos a partir de este sonido. Mientras tanto, con un sensor ultrasónico conectado a Arduino se detectará la presencia del usuario, con el propósito de que el sistema responda únicamente si alguien se coloca frente a él. Finalmente, los datos generados por Pure Data serán recibidos por Arduino para encender el LED.



El código en Arduino

Necesitamos que Arduino sea capaz de recibir la información del sensor ultrasónico y que a partir de un límite de proximidad lea los datos del puerto serial, mismos que usará para encender el LED.

Para empezar, seleccionamos los pines que usaremos para el sensor ultrasónico y establecemos el límite en centímetros para la respuesta del sistema, en este caso escogimos un límite de 30 cm.

Obtenemos la distancia a partir del tiempo, en microsegundos, que tarda la señal en regresar al sensor ultrasónico.

Si la distancia registrada es menor que el límite establecido, es decir, un objeto se encuentra a menos de 30 cm del sensor ultrasónico, se lee la información disponible en el puerto serial y con base en estos valores se envía una señal al LED. Por otro lado, si no hay ningún objeto a menos de 30 cm del sensor ultrasónico, el LED permanecerá apagado.

También puedes modificar el valor del límite para reducir o aumentar el rango de respuesta para el sistema.

```
int trigPin1 = 3;
int echoPin1 = 2;
long duracion1, cm1;

int Limit = 30;

int inByte;
int led = 9;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
}

void loop(){

  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  if (cm1 <= Limit)
  {
    if(Serial.available() >0){
      inByte=Serial.read();

      if(inByte==255) {
        led=0;
      }

      else
      {
        analogWrite((led%1)+9,inByte);
        led++;
      }
    }
  }

  else
  {
    analogWrite((led%1)+9, 0);
    led++;
  }
}
```

Ahora veamos el patch de Pure Data

También puedes utilizar operadores de comparación para limitar el rango de detección de frecuencia, que en este caso se fijó entre 80 Hz y 350 Hz.

También realizamos un remapeo para que los valores oscilen entre 0 y 255.

El producto de la multiplicación de la frecuencia y la amplitud lo enviamos al objeto comport, que lo escribirá en el puerto serial para que pueda ser leído por Arduino.

También será necesario poner una caja de mensajes con el texto "devices". Al conectarla al objeto comport y darle clic mostrará una lista de los dispositivos conectados. Tendremos que escribir el número de puerto al cual está conectado nuestro tablero Arduino, en este caso es el puerto 2. También tendremos que escribir la misma tasa de baudios que aparece en el sketch de Arduino, que en este caso es de 9600.



Primero colocamos el objeto `adc~` para poder introducir audio al patch. Si tienes un micrófono USB podrás seleccionarlo como dispositivo de entrada a través del menú **Medios > Configuración de audio > Dispositivos de entrada**.

Después colocamos el objeto `sigmund~`, que podrá realizar el rastreo de frecuencia y de amplitud. Si colocamos una caja numérica en la salida izquierda obtendremos los números MIDI de la frecuencia, por lo que será necesario colocar el objeto `mtof` si deseamos obtener estos números en hercios.

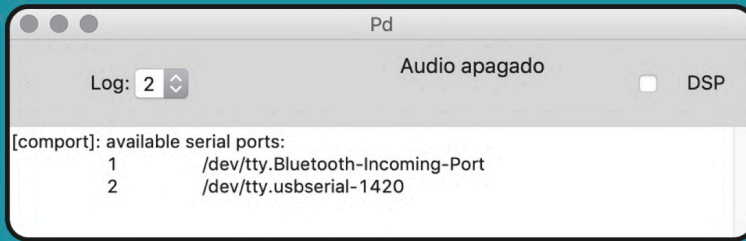
Si colocamos una caja numérica en la salida derecha de `sigmund~` podremos rastrear la amplitud.

Si multiplicamos los valores de la frecuencia por los de la amplitud obtendremos una respuesta más dinámica, pues el brillo del LED responderá a la altura y al volumen de nuestra voz.

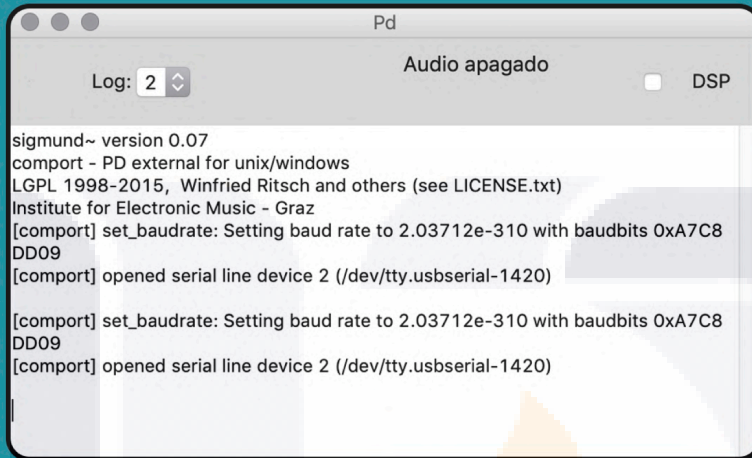
El objeto `comport` debe descargarse como externo a través del menú **Ayuda > Buscar externos**.

Aparecerá una ventana en donde escribiremos "comport" y daremos clic en **Buscar**.

También puedes encontrar más información en: <https://puredata.info/downloads/comport>



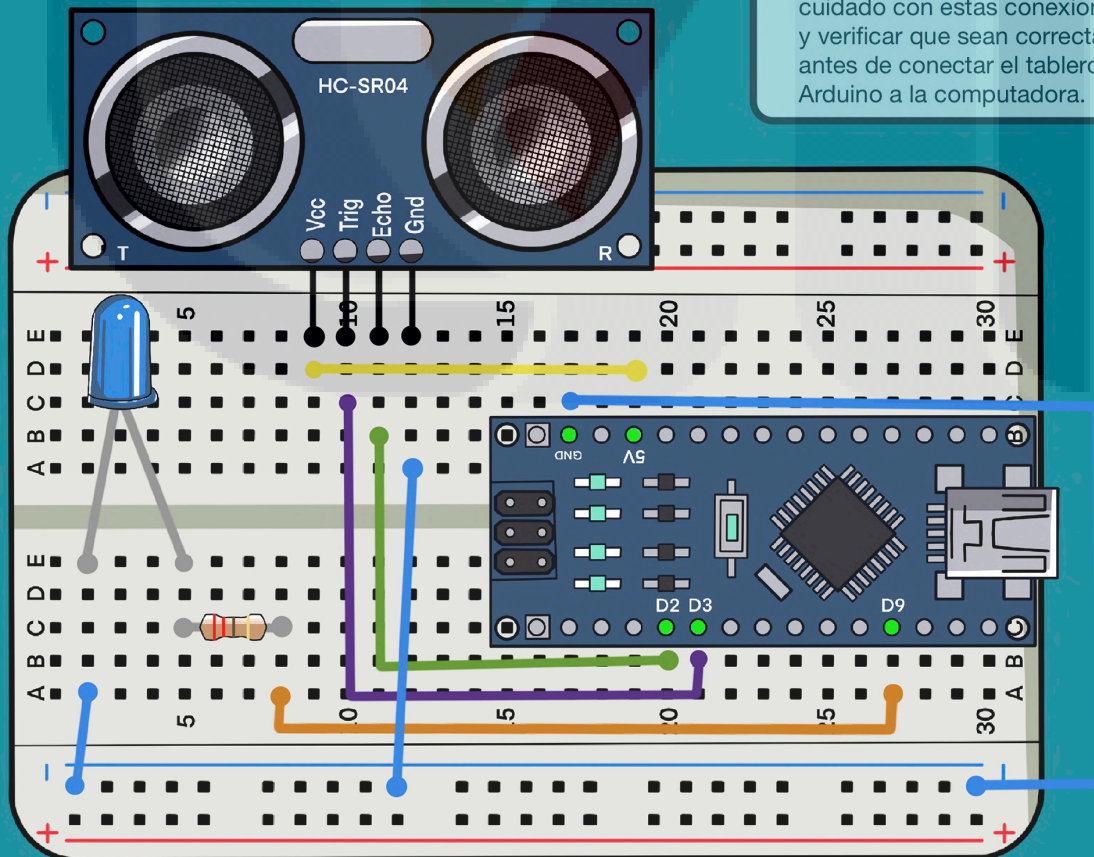
La consola de Pure Data mostrará un mensaje como éste cuando se dé clic en la caja de mensaje con el texto “devices”.



Si la conexión con el puerto es exitosa, aparecerá un mensaje como éste.

La conexión del sistema

A continuación se muestra una forma de conectar este sistema. Es importante tener cuidado con estas conexiones y verificar que sean correctas antes de conectar el tablero Arduino a la computadora.



Usa Arduino y una interfaz electrónica para

Controlar LEDs de alta potencia y hacer girar un motor con el sonido de tu voz

Con este proyecto podrás construir una interfaz electrónica que te permitirá:

- Amplificar y enviar una señal de audio a Arduino
- Amplificar la señal de salida de Arduino para controlar dispositivos de 12V

Este materiales es un producto de la investigación de maestría de Arturo Barrios Mendoza en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, con el apoyo del Plan de asesorías a proyectos artísticos y de investigación en Arte y Tecnología a través del Laboratorio de robótica e interfaces electrónicas. Agradezco al Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes el apoyo otorgado.

Para realizar este proyecto necesitarás:

- 1 tablero Arduino (Arduino Uno funcionará bien)
- 4 LEDs de 10W
- 1 motor de 12V de corriente continua (como los motores de grabadora)
- 1 hélice que se pueda colocar en el eje del motor
- 1 adaptador de AC a CC con salida de 12V
- 1 cable de alimentación de 1 a 4
- 1 sensor ultrasónico HC-SR04
- 1 micrófono condensador electret
- 1 placa fenólica
- 1 resistencia de 100k Ohm (a 1/2W)
- 3 resistencias de 10k Ohm (a 1/2W)
- 2 resistencias de 1.2 Ohm (a 1/2W)
- 2 resistencias de 3.3 Ohm (a 1/2W)
- 2 resistencias de 47k Ohm (a 1/2W)
- 5 headers de 2 pines (hembra y macho)
- 1 header de 8 pines (hembra y macho)
- 1 jack invertido de 2.1 mm
- 1 capacitor de 100nF
- 5 transistores BC547
- 2 transistores MOSFET IRLZ44 (de preferencia con disipadores de calor)
- Cables de 2 colores distintos
- 4 cables tipo jumper macho/hembra
- 2 cables tipo jumper macho/macho

ADVERTENCIA

Este manual no cubre el proceso de soldar los componentes ni la impresión del circuito en la placa fenólica con ayuda del cloruro férrico. Si nunca has realizado estas tareas, probablemente será mejor que consultes otros proyectos antes de probar con éste.

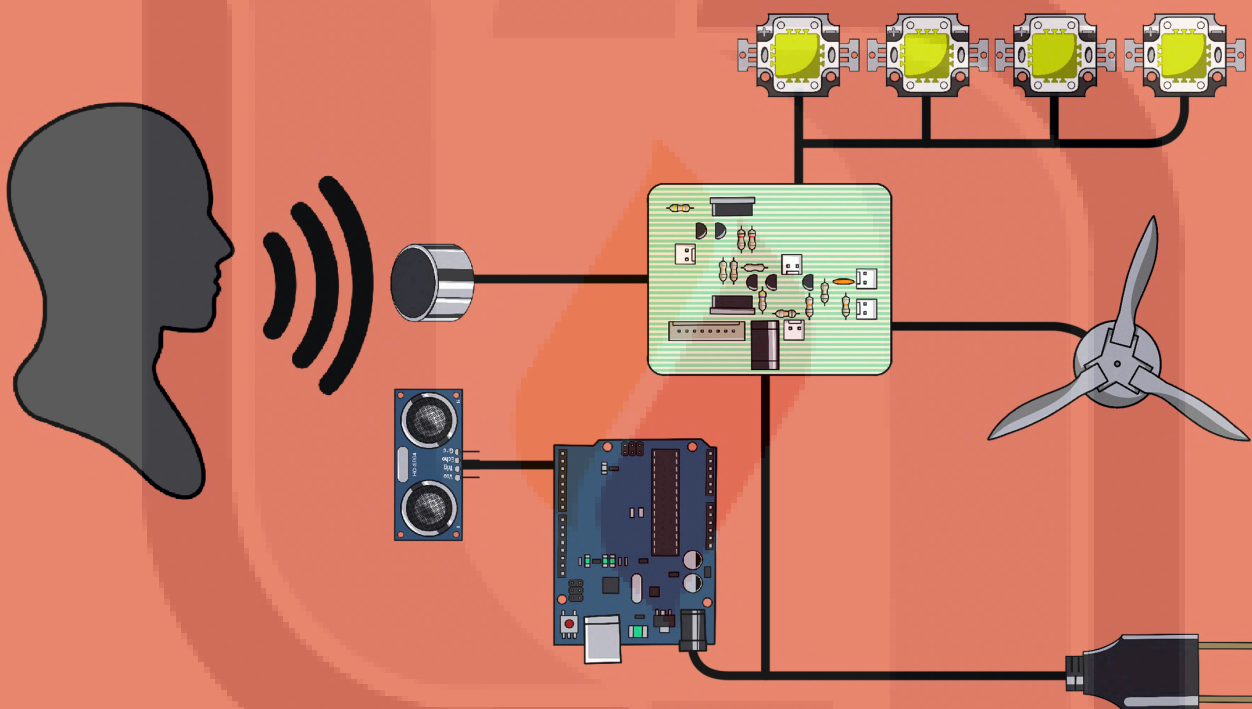
El uso del cloruro férrico, del cautín y del adaptador de AC a CC no debe tomarse a la ligera.

Es recomendable que cuentes con conocimientos básicos de electrónica y que siempre tengas precaución.

Considera que para construir el circuito también necesitarás un cautín y soldadura de estaño, cloruro férrico, un recipiente para sumergir la placa fenólica en el cloruro férrico, un taladro y una broca delgada para perforar la placa fenólica, además de pinzas de corte diagonal, pinzas de punta, pinzas para cable, un soporte o atril para circuitos impresos y, de preferencia, también un multímetro.

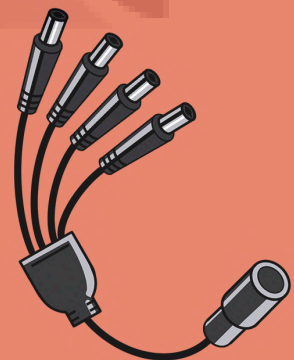
Este sistema integra una interfaz electrónica, la cual puede recibir una señal de audio y enviarla a Arduino, que responderá con una señal de control únicamente si detecta un objeto dentro de un rango establecido a través de un sensor ultrasónico. La interfaz también permite amplificar la señal de salida de 5V de Arduino para controlar dispositivos de mayor voltaje, como 4 LEDs de 10W o un motor de 12V de corriente continua. Además, la interfaz permite utilizar los LEDs y el motor individual o simultáneamente.

A continuación se muestra un esquema general del sistema.

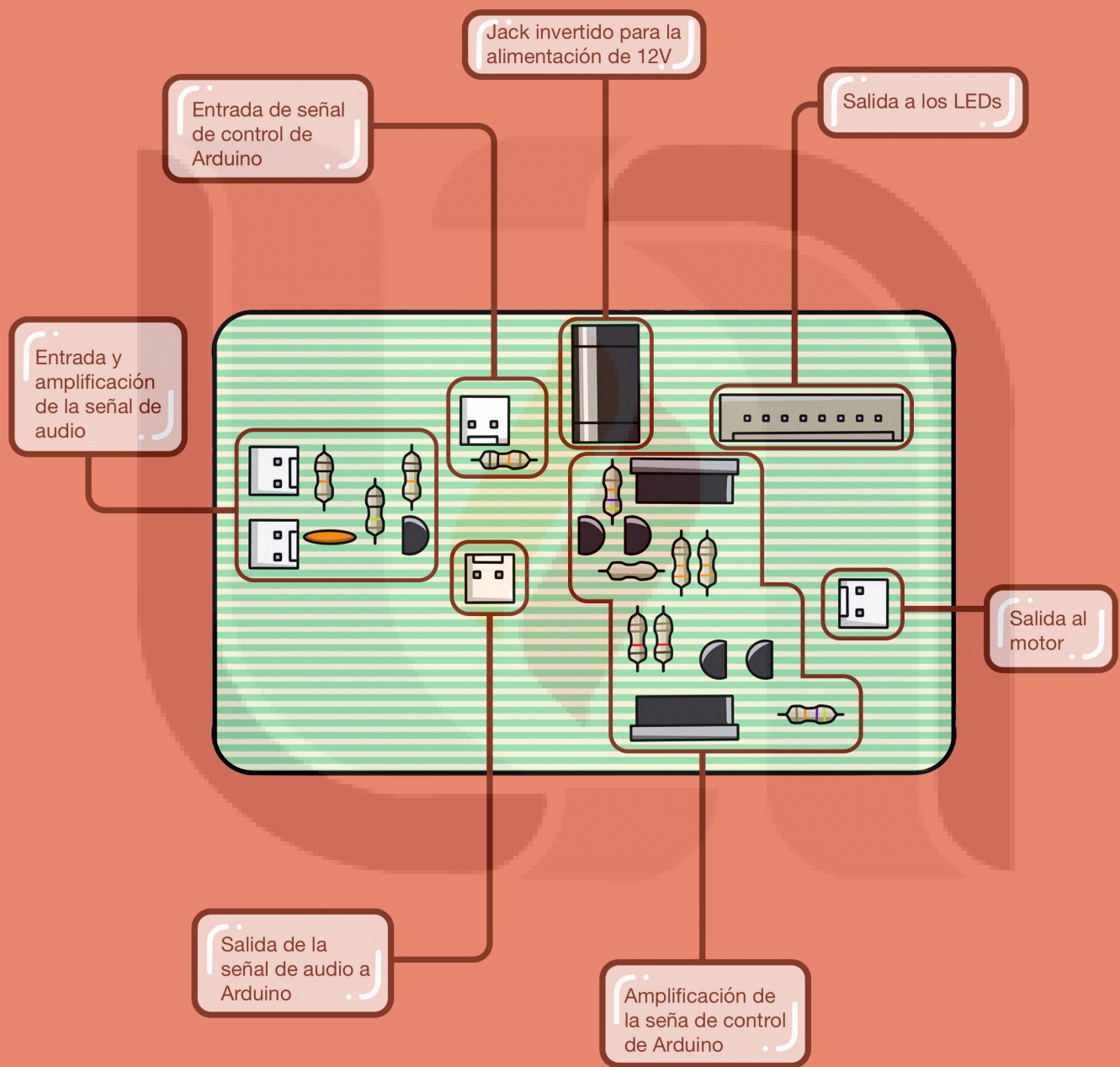


En esta interfaz, el micrófono electret envía una señal de audio que es amplificada antes de ser enviada a Arduino. La señal que Arduino envía de vuelta será amplificada con los transistores y con los 12V de alimentación de la interfaz.

Es importante mencionar que tanto Arduino como la interfaz deben ser alimentados por la misma fuente, por este motivo resulta conveniente utilizar un cable de alimentación de 1 a 4.

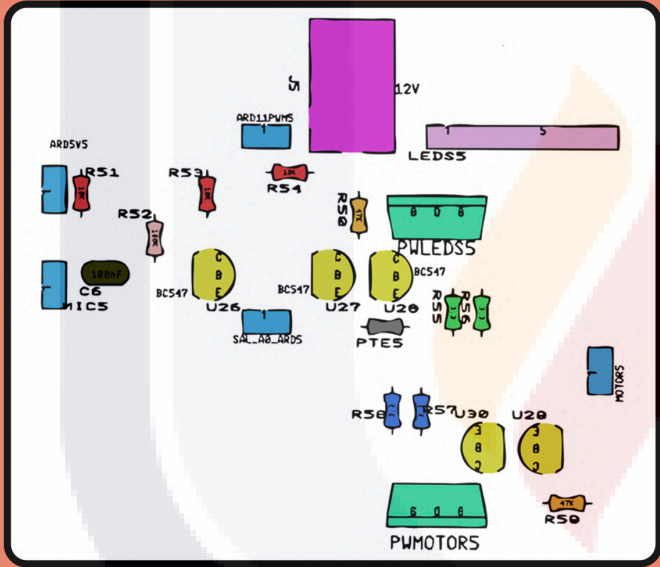
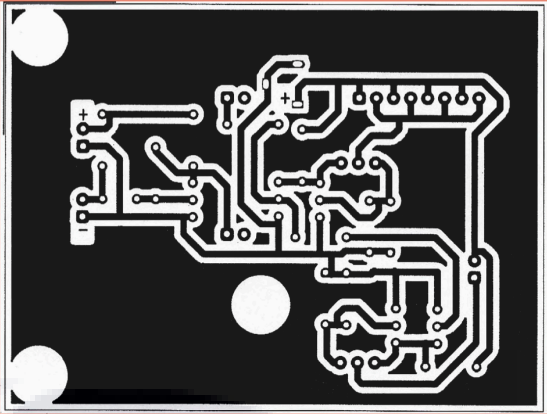


Ahora veamos las secciones que conforman la interfaz



A la derecha se muestra el circuito que se debe imprimir en la placa fenólica para construir la interfaz.

Para que los componentes se ajusten a la placa, la imagen de la derecha debe imprimirse con un ancho de 8 cm.



A la izquierda se muestra la manera en la que deben montarse los componentes en la placa, después de imprimir el circuito en ella, atacarla con el cloruro férrico y perforarla.

Es importante prestar atención a la orientación de los transistores BC547 y de los MOSFET.

Una vez que hayas colocado todos los componentes verifica que la orientación sea correcta antes de soldarlos.

Vuelve a verificar antes de poner la interfaz en funcionamiento.

- Resistencia de 100k Ohm
- Headers de 2 pines
- Resistencias de 10k Ohm
- Jack invertido de 2.1 mm
- Header de 8 pines
- Capacitor de 100nF
- Transistores BC547
- Resistencias de 1.2 Ohm
- Resistencias de 3.3 Ohm
- Puente
- Transistores MOSFET IRLZ44
- Resistencias de 47k Ohm

En este esquema también se señala la presencia de un "puente". Para éste puente puedes usar un pequeño trozo de alambre para protoboard.

El código en Arduino

Definimos los pines que servirán como entradas y aquellos que funcionarán como salidas.

En bucle de funcionamiento de Arduino inicia con la señal enviada por el sensor ultrasónico.

Si se detecta un objeto en un rango menor al límite establecido, en este caso 80 cm, los datos de la señal de audio se publican con la etiqueta "sonido=".

Estos datos son mapeados para obtener valores entre 0 y 255.

Finalmente, si no se detecta ningún objeto, se envía un valor de 255 a la interfaz y los dispositivos permanecen apagados.

```
int control = 11;
int mic = A0;
int val;
int trigPin1 = 3;
int echoPin1 = 2;
long duracion1, cm1;
int Limite = 80;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);
  pinMode(control, OUTPUT);
  pinMode(mic, INPUT);
}

void loop()
{
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);

  duracion1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  cm1 = ((duracion1 * 0.0344) / 2);

  Serial.print("Distancia=");
  Serial.println(cm1);

  if (cm1 <= Limite)
  {
    val = analogRead(mic);
    Serial.print("    sonido=");
    Serial.println(val);
    val = map(val, 0, 1000, 0, 255);

    if (val < 45)
    {analogWrite(control, 255);}
    if (val >= 45 && val < 140)
    {analogWrite(control, 150);}
    if (val >= 141 && val < 180)
    {analogWrite(control, 125);}
    if (val >= 181 && val < 240)
    {analogWrite(control, 100);}
    if (val >= 241 && val < 280)
    {analogWrite(control, 75);}
    if (val >= 281 && val < 320)
    {analogWrite(control, 50);}
    if (val >= 321 && val < 360)
    {analogWrite(control, 40);}
    if (val >= 361 && val < 400)
    {analogWrite(control, 30);}
    if (val >= 401 && val < 440)
    {analogWrite(control, 20);}
    if (val >= 441 && val < 480)
    {analogWrite(control, 10);}
    if (val >= 481 && val < 520)
    {analogWrite(control, 10);}
    if (val >= 521 && val < 560)
    {analogWrite(control, 0);}
  }
  else
  {analogWrite(control, 255);}
}
```

Primero declaramos las variables y determinamos que la señal de control de Arduino saldrá desde el pin 11, mientras que la señal de audio llegará al pin A0. Escogemos los pines que usaremos para el sensor ultrasónico y determinamos el límite para la respuesta del sistema (en centímetros).

Obtenemos la distancia a partir del tiempo, en microsegundos, que tarda la señal en regresar al sensor ultrasónico.

Le asignamos un valor a la señal de control de Arduino de acuerdo con la señal percibida por el micrófono.

Es importante observar que en este caso el valor de 255 corresponde a un estado de apagado en los LEDs y en el motor, mientras que un valor más bajo los pondría en funcionamiento.

Ahora veamos la conexión entre Arduino, los dispositivos y la interfaz

Para el sensor ultrasónico, VCC va conectado a los 5V de Arduino, Trig al pin 3, Echo al pin 2, y GND a GND de Arduino.



La misma fuente de alimentación de 12V debe conectarse al jack invertido de la interfaz y de Arduino. Puedes lograr esto con un conector de 1 a 4.

Aquí se conecta el arnés de los 4 LEDs, con sus respectivos cables positivos y negativos. Es importante prestar atención a la polaridad de los LEDs.

Esta terminal debe conectarse a los 5V de Arduino, al igual que VCC del sensor ultrasónico. Puedes unir este cable al cable que sale a VCC del sensor.

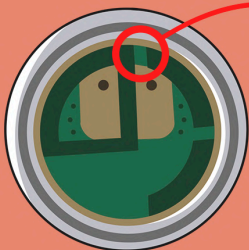
Por aquí entra la señal de control de Arduino, desde el pin 11.

En cambio, el cable negativo únicamente debe conectarse a GND de Arduino.

Esta salida se conecta a positivo y negativo en el motor.

Esta terminal se conecta al positivo y negativo del micrófono condensador electret.

Y por aquí sale la señal de audio, que debe conectarse al pin A0 de Arduino.



Al soldar el micrófono electret podrás identificar la salida negativa porque ésta hace contacto con la carcasa, o el aro exterior.