



Escuela
Politécnica
Superior

Estudio e Implementación de Sonificación



Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen
en Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Alexandre Bou Ruiz

Tutor/es:

José Manuel Iñesta Quereda

Diciembre 2015



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

A mi hermano, por cuidar de la abuela, gracias.

"Para hacer una tarta de manzana primero tienes que crear un universo"

Carl Sagan (1934 -1996)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecerle a José Manuel Iñesta el haberme dado la oportunidad de elaborar este proyecto con libertad y por su paciencia, especialmente durante los primeros meses, en los que uno no tiene perfilados los límites a la hora de empezar a investigar y se siente desbordado ante tanta información y posibilidades. A Juan Manuel Sáez, que aunque al final no se desarrollase un proyecto en conjunto como complemento de una aplicación suya, siempre me ha recibido de muy buen modo y me ha orientado todos estos años.

A mi madre y mi padre, por apoyarme anímica y económicamente todos estos años de carrera y en especial a mi hermano, futuro ingeniero de Telecomunicaciones en Cartagena, del que más he aprendido durante estos años, el cual ha sido mi principal motivación para aguantar en los malos momentos. A Alexandra, mi novia, por su paciencia durante estos años de carrera y por cuidarme cuando estuve malo y a nuestros gatos, Gary y Mantis, que han sido los que más me ha acompañado durante la elaboración de este proyecto.

A mis compañeros de estudios, incluyendo a todos los compañeros que se dejaron los estudios en la transición al nuevo plan de estudios, a María por enseñarme el valor del trabajo diario, a Víctor por enseñarme a tomarme las cosas con calma y en especial a mi amigo alemán Raúl, por liarme con esto de la ingeniería pero también saber hacerme desconectar cuando lo necesitaba.

Muchas gracias a todos.

PRÓLOGO:

Actualmente vivimos saturados de información. Debido al aumento del conjunto de datos en tamaño y complejidad se ponen al límite las técnicas actuales de visualización, pudiendo estos datos ser interpretados más cómodamente mediante representación sonora. Un ejemplo sencillo sería en el estudio de los datos sísmicos, datos que pueden tener un tamaño de Terabytes, sin embargo, representados de forma sonora, los datos correspondientes a un día completo podrían ser analizados en sólo unos minutos. También se están desarrollando métodos de Sonificación para detectar células cancerosas o para correlación de datos desde estadísticos a tomas en el CERN.

El físico Richard Packard, profesor de la UC Berkeley en 1997, descubrió el que se denominó oscilador cuántico o silbido cuántico, una predicción de la teoría cuántica que indicaba unas oscilaciones que debían producirse a muy pequeño nivel. Estuvieron meses analizando datos con osciloscopios en los que se suponía que debería aparecer esa oscilación sin obtener resultados hasta que decidieron escuchar los mismos datos haciéndolos sonar y pudieron percibir un débil silbido evidenciando la zona en la que esas oscilaciones se producían, esto demuestra la capacidad auditiva que tiene el sistema auditivo humano para extraer información de estructuras complejas.

En una entrevista al científico de la NASA, Robert Alexander, el cual analizaba multitud de datos obtenidos del espacio (se obtienen enormes cantidades de información del espacio a través de los satélites, por ejemplo en campos de tormentas solares) comentaba como era muy común utilizar procesos de sonificación para poder analizar ese gran número de datos, centrando la búsqueda en los cambios.

Desde pequeños nos enseñan a memorizar los días de la semana, meses, alfabeto o las tablas de multiplicar con ritmo y música. Esto no es casualidad, la música tiene un nivel de interpretación que afecta a un nivel universal que no tienen los idiomas, las técnicas de sonificación ayudan facilitar el aprendizaje de conceptos matemáticos, geométricos o distribuciones.

Dentro de la metodología podemos jugar con la percepción del sonido y por lo tanto con la percepción de la información que se quiere representar, podemos alterar muchos parámetros o características del sonido mientras mantengamos un criterio.

Por ejemplo, en el supuesto caso de una disminución o aumento de algún dato de la información podríamos expresarla mediante un correspondiente aumento o disminución de la amplitud, duración o, entrando en otro tipo de método, la afinación del sonido. Un valor en Bolsa, por ejemplo, puede ser representado por un cambio de la afinación mientras el valor sube más alto y una disminución de la afinación si el valor baja. Podemos por ejemplo emplear diferentes instrumentos o timbres si realizamos el análisis con diferentes valores o posiciones en el espacio mediante un paneo estéreo.

Por todas estas razones, saber utilizar esta herramienta y orientarla dentro de un campo concreto de investigación, utilizando la metodología adecuada, le correspondería de manera directa a un ingeniero en telecomunicaciones especializado en Imagen y Sonido.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. RESUMEN	1
1.2. MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES EN EL MUNDO ANIMAL.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.3. ESTRUCTURA.....	7
1.4. LIMITACIONES.....	9
2. SONIFICACIÓN	10
2.1. SONIFICACIÓN	10
2.2. SISTEMAS DE SONIFICACIÓN	11
2.3. APLICACIONES	12
2.4. PERCEPCIÓN DEL SONIDO.....	16
3. HERRAMIENTAS PARA LA SIMULACIÓN	19
3.1. MATLAB	19
3.2. AUDACITY.....	22
3.3. SUPERCOLLIDER	23
3.4. PURE DATA	24
3.5. MAX/MSP.....	24
4. SIMULACIÓN ESPACIAL-SONORA DEL EXPERIMENTO DE GALILEO GALILEI “THE LAW OF FALLING BODIES”	25
4.1. SONIFICACIÓN ESPACIAL.....	25
4.2. EXPERIMENTO DE GALILEO GALILEI “THE LAW OF FALLING BODIES”	29
5. SONIFICACIÓN MAPPING	33
5.1. CARACTERÍSTICAS.....	34
5.2. PROCESO.....	35
5.2.1. TRATAMIENTO DE IMAGEN.....	35
5.2.2. SONIDO (OSCILADORES)	64
5.3. DIAGRAMAS DE FLUJO	77
5.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN	80
5.4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS)	82
5.4.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE UMBRALIZACIÓN).....	91
5.4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE SEGMENTACIÓN DE COLOR)	93

5.4.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE ESCALA DE GRISES)	95
5.5. CAMPO ACTUAL DE INVESTIGACIÓN	97
6. SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVO PARA PERSONAS CON PARÁLISIS CEREBRAL	115
6.1. CARACTERÍSTICAS.....	119
6.1.1. PERCEPCIÓN MUSICAL	120
6.1.2. LA PROGRESIÓN MUSICAL COMO ESTÍMULO.....	121
6.2. PROCESO	122
6.2.1. COMPOSICIÓN ALGORÍTMICA	126
6.2.2. PROGRAMA MIDI.....	128
6.2.3. RYTHM	129
6.2.4. PITCH.....	135
6.2.5 MEZCLA.....	137
6.3. RESULTADOS.....	139
7. CONCLUSIONES	148
8. LISTADO DE AUDIOS EN SERVIDOR	150
9. LISTADO DE FIGURAS	153
10. LISTADO DE TABLAS.....	158
11. ARTÍCULOS DE PRENSA RELACIONADOS CON LOS DISEÑOS.....	159
12. BIBLIOGRAFÍA	160
13. ANEXO	166

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RESUMEN

Este proyecto muestra las bases del proceso de Sonificación, un campo actual de investigación para el análisis e interpretación de información, proponiendo tres diseños en diferentes campos en función de los niveles de abstracción de la sonificación.

La sonificación es una técnica mediante la cual se obtienen sonidos a partir de datos (información), extraídos gracias a relaciones acústicas, escalas psicofísicas, modelos de percepción auditivos o psicológicos, para establecer una interpretación intuitiva dentro de ese campo en el que se esté trabajando. Partiendo de esta premisa, se deduce que ésta es una técnica interdisciplinar, ya que para un resultado óptimo entran en juego factores psicológicos, musicales, informáticos, físicos, perceptivos, etc. por lo que establecer las pautas de trabajo en este campo, desde el punto de vista de un ingeniero de imagen y sonido, es importante.

La sonificación es un método de investigación creciente y en desarrollo actual, muy utilizada en la investigación masiva de información, estudios de estructuras como por ejemplo secuencias de ADN y proteínas (generalmente interpretadas mediante algoritmos musicales por la utilización de la composición como progresión de estructuras), interfaces inmersivas en ambientes virtuales, diagnosticación de problemas de salud con el uso de sistemas de detección mediante sonificación en análisis ECG (electrocardiogramas), teleoperación, visualización de datos sísmicos (datos que pueden tener un tamaño de Terabytes y representándolos de forma sonora, los datos correspondientes a un día se reducen a sólo unos minutos), sistemas de correlación de información geográfica, instrumentación de medida como el medidor Geiger para radioactividad, sistemas de análisis telemétricos que forman parte obligatoria por ejemplo del motor en helicópteros... realmente hasta el sonido que emite el microondas al terminar de calentar la comida podría considerarse sonificación (sonido a partir de información).

Existen organismos como la NASA que implementan sus propios modelos de sonificación a partir de la información obtenida a través de los satélites midiendo cambios de intensidad, temperatura, velocidad y campo magnético del Sol.

Se proponen tres diseños funcionales para las técnicas en desarrollo más actuales, un primer diseño introductor en los sistemas de espacialización sonora para mostrar las bases, un diseño de mapeo de imágenes para control de maquinaria y orientación de discapacitados visuales en un ambiente virtual y un último diseño, de mayor abstracción, que tendrá en cuenta la progresión del sonido en el ámbito musical para la complementación de un sistema en desarrollo actual de comunicación alternativa para que personas con parálisis cerebral puedan comunicarse y transmitir sus emociones mediante señales cerebrales.

1.2. MOTIVACIÓN Y ANTECEDENTES EN EL MUNDO ANIMAL

Partiendo del hecho de que procedo de la ingeniería en Telecomunicaciones y he podido desarrollar conocimientos de tratamiento de imagen y sonido:

Siempre he sentido curiosidad por la utilización del sonido no hablado como herramienta de comunicación o interpretación y es algo que a lo largo de mis estudios universitarios he visto que no tomaba la misma presencia que sí tomaba esta técnica en la imagen, posiblemente porque un resultado en imagen es menos cuestionable o se requiera una mayor especialización para discernir esta técnica en audio. Existen aspectos como la perspectiva sonora en los que no he podido profundizar tanto como me habría gustado en esta carrera.

El objeto del tratamiento de imagen siempre se ha realizado con el interés de resaltar o indagar en la información presente en imágenes, sin embargo, en tratamiento de sonido no hablado, ha sido fuertemente enfocado como complemento o con visión artística, no de la misma manera que la imagen, que sí que hablaba por sí sola. Hablo de tratar el sonido como medio de información, utilizando el propio sonido como canal. Siempre he usado el tratamiento de la información en el sonido desde el punto de vista de la palabra, usado herramientas para ayudar a la inteligibilidad, resaltar frecuencias o diseñado

espacios con fines acústicos, con fines artísticos o de refuerzo pero nunca usar el propio sonido como un único canal de información, de manera pura, cosa que con imágenes, puede que por ser más visual, sí que se hace de manera más genérica.

El tratamiento de imagen resulta más visual y por lo tanto más intuitivo, un resultado se ve y se analiza al mismo tiempo y eso facilita el aprendizaje por lo que muchas veces incluso hemos recurrido añadiendo una dimensión al sonido para poder ejemplificar tratamientos en sonido, puede que la imagen se pueda tratar de manera más genérica y el sonido requiera una cierta especialización pero, llegados a este punto, uno se pregunta: ¿estamos aprovechando el sonido no hablado al 100% como herramienta para obtener información? ¿Es el sonido simplemente un complemento a la hora de aportar información?

Resulta inevitable no acordarse, ya que hablamos de motivación, aquella secuencia que vi de niño en de la película de ciencia ficción “Close Encounters of the Third Kind” de Steven Spielberg, en la que trataban de comunicarse con los extraterrestres mediante un sistema de comunicación que denominaban universal, la música.



Fig. 1. Imágenes del sistema de comunicación utilizado con los extraterrestres en la película Close Encounters of the Third Kind, de 1977, mediante tonos musicales, colores y mediante el lenguaje de signos alterado.

Paradójicamente en la actualidad, por ejemplo, guiamos a los peces en piscifactorías mediante altavoces preparados para emitir sonidos bajo el agua mediante vibraciones o cambios de presión, los cuales, si son muy bruscos afectan estresando a los peces y repercuten en la calidad del pescado porque el sabor es distinto, aunque aquí estemos hablando de un proceso a nivel vibratorio, el cual más que interpretativo entre individuos sería orientativo.

Como suele suceder en muchas técnicas, los antecedentes más antiguos los tenemos en el mundo animal, la mayoría de sistemas en la ciencia se han basado en el estudio de aves, sistemas de camuflaje de diferentes especies o interacción de estos animales con el medio, por lo que resulta interesante empezar por aquí.

Existen muchos sistemas en el mundo animal basados en la ecolocalización, utilizando el sonido como una herramienta de orientación, es el caso de los delfines, por ejemplo, o en otro medio, los murciélagos, en ambos casos se posicionan emitiendo sonidos de orientación de alta frecuencia y recibiendo los ecos, como los sistemas de sónar que hemos adaptado para el uso en submarinos por ejemplo.

Los delfines tienen un orificio respiratorio (espiráculo), el cual les permite silbar y lanzar ráfagas de sonidos llamadas "clicks", que les permiten comunicarse entre ellos (por ejemplo, entre otros factores, la frecuencia de "clicks" difiere de unas especies a otras, cosa que resultará muy relevante conforme veamos los sistemas de sonificación). Este órgano especial situado en la cabeza que recibe el nombre de "melón" es el que actúa como un radar, permitiendo detectar esas variaciones en los ecos permitiéndoles ubicarse en el espacio, esto corresponde al sentido mencionado anteriormente de "ecolocalización".

En la siguiente figura podemos ver el funcionamiento de este sistema en la parte superior y en la parte inferior un breve dibujo orientativo resultado de un experimento en el que se vio como los murciélagos son capaces de ubicarse y volar fácilmente a través de aberturas en las paredes, incluso en la más completa oscuridad (no es cierto el rumor de que sean ciegos, aparte de usar este sistema pueden ver, lo que pasa es que, comparando estos sistemas, han desarrollado mejor el sistema de ecolocalización que el visual).

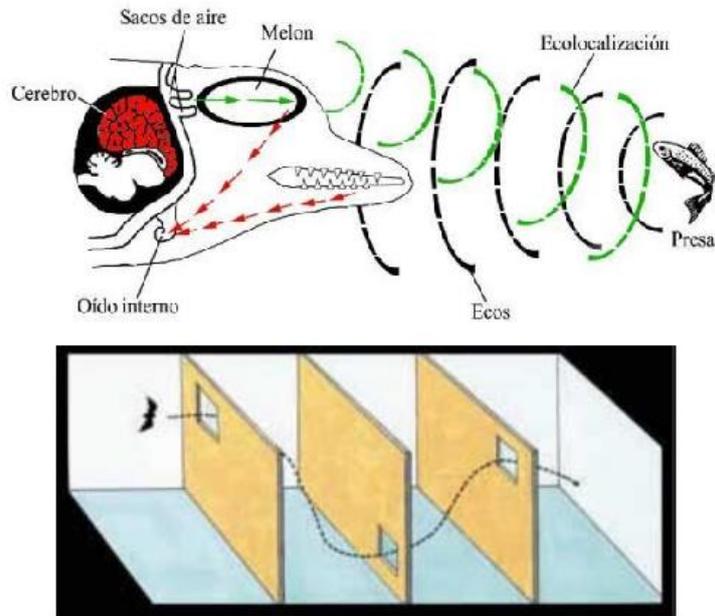


Fig. 2. Imagen ilustrativa del sistema de ecolocalización de un delfín y dibujo del experimento de ubicación de un murciélago a través de aberturas en paredes. Imágenes obtenidas de la Universidad de Valladolid, del LPI (laboratorio de procesado de imagen), trabajo sobre la percepción del sonido en animales.

Pero, por ejemplo, volviendo al tema de los peces en las piscifactorías, a la hora de la comida la mar puede ser muy ruidosa, este sonido atrae a otros individuos de la especie que acuden allí detectando que podrán encontrar alimento. Otro de los motivos más importantes para la emisión de sonidos es la actividad sexual, principalmente a la hora del cortejo.

Pero no sólo tenemos técnicas de estereolocalización, sino el uso del sonido como herramienta comunicativa entre individuos de una misma especie, muchos depredadores son capaces de reproducir sonidos realizados por las especies que forman su presa, para engañarles y atraerlos, sobre todo ejemplares jóvenes para que se dirijan hacia ellos. Otras técnicas interesantes son, por ejemplo, los sonidos que producen los gatos para hipnotizar a las moscas, dejándolas en una especie de trance, antes de atacarlas.

1.3. OBJETIVOS

La intención es aportar al lector diferentes métodos de sonificación en el campo de la investigación, centrandó su atención en el estado actual de desarrollo de esta técnica, la detección de cambios en bases de datos, ya sea la obtención de información redundante en una imagen o el análisis para el estudio de la composición de estructuras.

¿Esto supone que, puesto que el objeto de este proyecto es profundizar en los métodos de sonificación, como indica el título, no se profundizará en la técnica en sí de sonificación? En absoluto, pero ésta es una técnica multidisciplinar y la coordinación que requiere de todas las ramas para obtener un buen resultado es casi tan importante como el procesamiento en sí mismo, ya que como se indica numerosas veces no todos los datos aportan información y esto a la hora de sonificar es decisivo, es una técnica en un contexto concreto.

Diseños como el tercero, un sistema de comunicación alternativa para que personas con parálisis cerebral puedan comunicarse y transmitir sus emociones mediante señales cerebrales, va subiendo niveles de abstracción respecto a los anteriores pero se ha considerado, durante la elaboración del proyecto, que el estudio de este tercer diseño no se podía entender tan bien por separado, sin una contextualización de esta técnica, que requería un trasfondo en el que se estableciera una correlación entre los otros métodos que están marcando la tendencia actual de esta técnica, para poder así apreciar claramente como la metodología cambia radicalmente si estamos hablando de lo que podría ser por ejemplo un control de maquinaria o la expresión de un sentimiento, pero no la técnica.

Dicho esto, decidí centrar la metodología en dos Diseños que son muy representativos del proceso actual y futuro que está sufriendo esta técnica. En la memoria aparecen tres métodos puesto que se requería de una breve toma de contacto por lo que el primero es considerado una introducción para que la evolución a diseños con mayores niveles de abstracción resulte menos pesada.

Respecto a los datos, transformamos los datos en sonidos pero, ¿qué parte de esos datos es información? Esta parte es especialmente interesante y se aprecia con gran claridad en la parte de tratamiento de imagen que se realiza para el segundo diseño, la sonificación mapping.

El objetivo de este proyecto es:

- Mostrar las bases de la sonificación en aumento de niveles de abstracción.
- Proponer diseño funcional para control de maquinaria y orientación de discapacitados visuales, basado en el prototipo en desarrollo actual de la Universidad Carlos III de Madrid de Pablo Revuelta Sanz, Belén Ruíz Mezcuca y José Manuel Sánchez Pena sin tener en cuenta la estereovisión.
- Proponer diseño funcional de mayor abstracción, que tenga en cuenta la progresión temporal del sonido, en este caso musical, para complementación de un sistema de comunicación alternativa para que personas con parálisis cerebral puedan comunicarse y transmitir sus emociones mediante señales cerebrales, el prototipo en desarrollo del Centro de Regulación Genómica (CRG) de Barcelona.

1.3. ESTRUCTURA

En primer lugar se plantan las bases del método de sonificación, sonido a partir de datos, sistemas actuales en desarrollo, comunidades como la ICAD (International Community for Audio Display) con trabajos en muchos campos, herramientas de trabajo como el detector Geiger Müller o sistemas de detección y finalmente percepción del sonido, esto atañe a los dos últimos diseños propuestos, en especial al primero, puesto que el segundo parte de esta base pero se especializará la percepción de tipo musical. La idea principal es no sólo avanzar en abstracción en los diseños sino en la forma de percepción existente entre los diseños. Posteriormente veremos las herramientas seleccionadas para las simulaciones y por qué éstas han sido elegidas.

El primer diseño, simulación espacial virtual del experimento de Galileo Galilei “The law of falling bodies”, servirá de introducción al concepto de simular un espacio virtual mediante sonido. El experimento, pese a ser interesante, no es relevante fuera del contexto de simulación del entorno. El diseño viene propuesto por la principal referencia a la hora de adentrarse en las técnicas de sonificación, “The Sonification Handbook”, editado por Thomas Hermann, Andy Hunt y John G. Neuhoff.

El segundo diseño corresponde a un tipo de método de sonificación muy atractivo, la sonificación mapping. Partiendo de la base de que la sonificación consiste en obtener sonido a partir de unos datos, confirmaremos que no todos los datos aportarían una información asimilable, la especialización es requerida en este campo tanto para identificar elementos en una imagen como para ofrecer una interpretación intuitiva y eficiente de estos datos.

Dentro de los resultados de este diseño aparece un breve tutorial de interpretación de los resultados que ayudará a una mejor estimación de los resultados obtenidos. Es importante no saltarse los pasos puesto que los resultados se vuelven más complejos y requieren cierta voluntad por parte del oyente.

Posteriormente esos resultados se irán adaptando al campo de la orientación de discapacitados visuales donde veremos el estado actual de la técnica, experimentos relacionados con el aprendizaje y puesta en marcha de estos sistemas basados en sonificación y aplicaciones, entre las cuales se destaca el diseño de la Universidad Carlos III de Madrid de Pablo Revuelta Sanz, Belén Ruíz Mezcuca y José Manuel Sánchez.

Para concluir se propone un diseño basado en la estructura temporal del sonido, concretamente en la estructura musical. El tercer diseño, por su interpretación quizás, requiere una mayor abstracción, basado en numerosos diseños de estructuras como los utilizados en las cadenas de proteínas del estudio de composición del ADN.

El objetivo del diseño es desarrollar una complementación del proyecto Brain Polyphony, en el que participan expertos de la UB, el Centro de Regulación Genómica (CRG), la empresa de investigación Starlab y el Instituto Hospital del Mar de Investigaciones Médicas (IMIM), en el cual se desarrolla un sistema de comunicación alternativa para que las personas con parálisis cerebral puedan comunicarse y transmitir sus emociones.

Se ha indagado, aunque en ocasiones ha sido difícil, en investigaciones desarrolladas en la actualidad en nuestro país, para intentar promocionar y a la vez mostrar que interesa el estudio y la investigación de estas disciplinas, no sólo en el extranjero.

El proyecto, aparte de todos los ejemplos de elaboración propia de tratamiento de imagen, esquemas de procesado, tablas e imágenes propias para el proceso de mapeo en la sonificación mapping, cuenta con un servidor que posee archivos de audios, tanto de las simulaciones realizadas como ejemplos en diferentes campos de investigación, con el fin de que el informe en cuestión resulte más dinámico y, por qué no decirlo, rico.

1.4. LIMITACIONES

Puesto que el objetivo era el estudio de diferentes métodos, se han unificado todas las herramientas para su simulación pero no se ha implementado un prototipo ya que se precisaba de herramientas y su adaptación al trabajo en tiempo real y eso hubiese impedido combinarlo con el proceso de investigación, no centrándose éste en la metodología sino en la implementación en sí. Inicialmente se probaron diferentes dispositivos pero eran incapaces de realizar el procesado en tiempo real y como herramientas para simulación dejaban mucho que desear comparando los resultados con los que se han podido obtener ahora.

Realizando adaptaciones, la metodología expuesta aquí es aplicable, como en el caso del prototipo de la Universidad Carlos III de Madrid, pero el problema es que ese montaje no aportaría nada al campo puesto que ya se ofrecen diseños más optimizados en función a los recursos y resulta más interesante, aprovechando el estudio desde el punto de vista de un ingeniero de sonido, profundizar en otros diseños como el sistema de comunicación y transmisión de emociones mediante el estudio de progresión y estructura musical de los sonidos.

Por lo que la principal limitación claramente ha sido el tiempo de no haber podido adaptar también el proceso a dispositivos que permitan ese procesado en tiempo real, ya que la idea inicial propia fue ofrecer un ejemplo “palpable” pero, debido al estudio previo que requieren los diferentes campos en los que se trabaja con sonificación, ofrecer un buen resultado requería realizar un estudio exhaustivo de muchos elementos que no son superfluos a la hora de elegir y, realizando una investigación centrada en metodología podía utilizar herramientas sin tanto límite, permitiéndome más creatividad y menos limitaciones de recursos, desde el límite de coste computacional a la adaptación para el procesado en tiempo real, esas tareas (relevantes pero en un segundo plano a un ingeniero de imagen y sonido acostumbrado a programar eficientemente pero sin límites o sin que esos límites sean impedimento de desarrollo de una idea) no me habrían permitido compaginar la implementación con la investigación, pero me satisface, para concluir, afirmar que eso me permitió obtener unos resultados de las simulaciones más especializados e interesantes.

2. SONIFICACIÓN

2.1. SONIFICACIÓN

La sonificación es una herramienta por la cual, mediante un proceso, se permite representar datos con sonido no hablado. La sonificación ideal sería aquella que permitiese establecer una conexión lo más intuitiva posible entre el tipo de dato y su progresión, la cual permitiese reconocer toda la información que se pretende obtener (desde cotejar discontinuidades en una progresión a sistemas complementarios en tiempo real para mecanismos de estabilización espacial).

¿Esto quiere decir que, pese a ser una ciencia emergente, el sonido “ping” que hace el microondas al terminar de calentar algo también vale como ejemplo de sonificación? Sí, no podríamos oponernos, puesto que la sonificación contempla atribuir a esos datos también el concepto de información, partiendo de que la información puede almacenarse en datos pero no todos los datos son información. Desde el sonido en videojuegos (intentando jugar con los ojos cerrados se puede entender mejor el planteamiento) a herramientas como el contador Geiger, el cual mide la radiación ionizante, pasamos por procesos de sonificación.

Entonces, ¿Qué diferencia la operativa al usar esta técnica para, por ejemplo, el sistema de sonificación que utilizó el Voyager 2 al atravesar la magnetosfera de Júpiter o la interpretación de secuencias de ADN y proteínas? Básicamente todo y nada, el contexto de la sonificación, en el primero se representaba la densidad electrónica y la fuerza magnética alrededor de la sonda mediante una frecuencia y en el segundo la interpretación de secuencias de ADN realizando una correspondencia entre sus bases nitrogenadas y tonos.

Para el funcionamiento correcto de esta técnica es muy importante conocer el tipo de información con la que trabajamos y saber extraer bien la información que es interesante o relevante para nuestro propósito puesto que tendremos que darle nosotros un contexto y con mucha información, sin hacer una selección previa, podemos caer en el error de crear un proceso más confuso que intuitivo a la hora de organizar la información.

El principal problema que tuve al comenzar el proyecto fue que quise sonificar directamente desde fotografías a mapas cartográficos, sin ningún tipo de discriminación, dándoles sentido de manera independiente, lo cual obviamente terminó frustrándome ya que no estaba entendiendo el verdadero sentido de la sonificación y es que, la

sonificación no tiene sentido como elemento aislado, en una imagen estática, sino en conjunto, donde se aprecien cambios.

Es fácil caer en el error, al empezar, de centrarse en extraer características de, por ejemplo, en el segundo diseño, imágenes, y hacerlas sonar con algún pretexto pero eso no es entender el objetivo de la sonificación ya que la sonificación como método resalta correlaciones entre diferentes estructuras y en lugar de sonificar imágenes por separado hay que situar un conjunto de imágenes, un campo concreto, y poder realizar un proceso que discretice entre imágenes de ese campo, aportando rasgos que permitan diferenciar o interpretar acústicamente las diferencias que presentan esas imágenes. Conviene empezar sonificando elementos sencillos y por campos, sino no podemos interpretar correctamente los resultados, es por eso que se le ha dado importancia al orden a la hora de exponer los resultados de los diseños, no consiste sólo en “tener buen oído”, aparte de oír los sonidos hay que entender qué elementos queremos escuchar para centrarnos. Incluso se pensó en no incluir la imagen relacionada al sonido en esa misma página ya que es cierto que inconscientemente tendemos a relacionar (de la misma forma que no podemos no pensar en un elefante rosa al leerlo, ya que aunque no exista hemos generado una imagen inconscientemente), por lo que recomiendo personalmente que, aunque suene extraño, cerremos los ojos.

El sistema auditivo humano es capaz de detectar cambios muy pequeños acústicamente, de ahí el interés de la sonificación, básicamente, para entornos en los que la vista se debe concentrar en aspectos alternativos.

2.2. SISTEMAS DE SONIFICACIÓN

De todas las técnicas de sonificación las que se implementan con mayor frecuencia son la audificación, la asignación de parámetros y sonificación basada en modelos.

La audificación (audification) es la forma más directa de la conversión, las mediciones de datos se realizan a través de un altavoz audible directamente después de su conversión de digital a modo analógico. La velocidad de reproducción sería la principal variable.

La sonificación Mapping asigna funciones de sonido controlables, como el volumen, el Pitch (percepción de la frecuencia de un sonido) o el posicionamiento espacial.

El método sonificación basado en modelos (MBS) desarrollado por Thomas Hermann (Microinformática en la Universidad de Bielefeld, Alemania) permite mayor complejidad sonora con parámetros ajustables que al mismo tiempo utilizan como parámetro el propio desarrollo del sistema (la evolución temporal).

En la actualidad se investiga qué modificaciones sonoras representan mejor las variaciones de la información.

2.3. APLICACIONES

Actualmente la mayoría de aplicaciones científicas en el campo de la sonificación se centran en aplicaciones para personas invidentes, la lectura masiva de datos, como complemento a sistemas de visión artificial y realidad aumentada, aplicaciones medicinales enfocadas en el análisis-detección y el estudio de estructuras.

Uno de los primeros instrumentos que desarrollaba esta metodología, de mención obligatoria, es el contador Geiger, el cual permite medir la radiación ionizante. Generalmente está formado por un tubo con un fino hilo metálico a lo largo de su centro. El espacio entre ellos está aislado y relleno de un gas, y con el hilo a unos 1000 voltios relativos con el tubo.

El sistema parte de que un electrón penetra en el tubo (o se desprende un electrón de la pared por los rayos X o gamma) produciendo que se desprendan electrones de los átomos del gas y que, debido al voltaje positivo del hilo central, sean atraídos hacia el hilo. Al hacer esto ganan energía, colisionan con los átomos y liberan más electrones, hasta que el proceso se convierte en una avalancha que produce un pulso de corriente detectable. Relleno de un gas adecuado, el flujo de electricidad se para por sí mismo o incluso el circuito eléctrico puede ayudar a pararlo.

Este instrumento de medida se le llama "contador" debido a que cada partícula que pasa por él produce un pulso idéntico, permitiendo contar las partículas (normalmente de forma electrónica) pero sin decirnos nada sobre su identidad o su energía (excepto que deberán tener energía suficiente para penetrar las paredes del contador). Los contadores de Van Allen estaban hechos de un metal fino con conexiones aisladas en sus extremos.

En la siguiente imagen podemos ver el instrumento de medida en la parte superior y en la parte inferior dos fotografías que muestran su forma de uso en la que se puede ver el tubo ionizante.

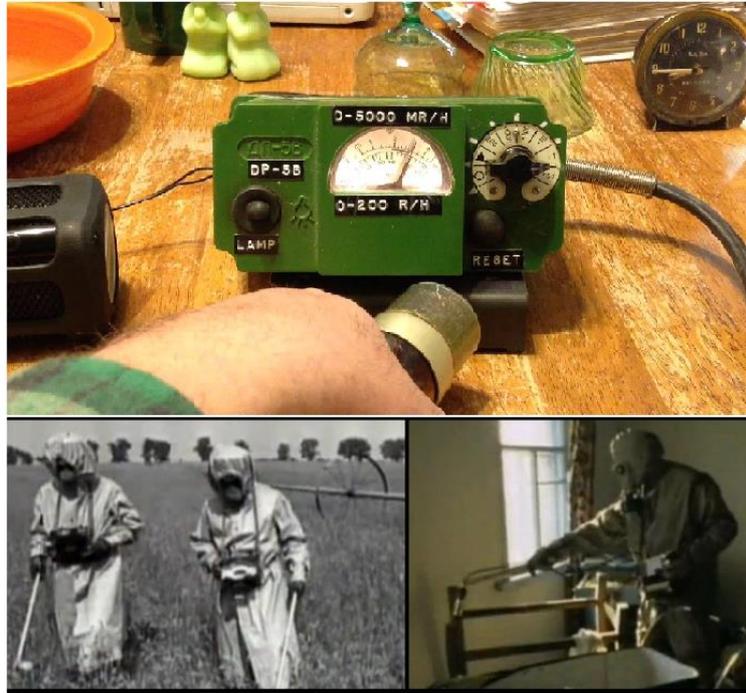


Fig. 3. Imágenes del contador Geiger. Modelo soviético DP-5V, una de las primeras versiones, el cual sólo detectaba partículas alfa, inventado en 1908 por el físico alemán Hans Geiger y su compañero neozelandés, el científico Sir Ernest Rutherford (creador un modelo atómico, con el que probó la existencia del núcleo atómico). Imagen obtenida de recortes en la web científica la pizarra de Yuri, concretamente del artículo del 6 de junio de 2011, "De paseo por Valencia con un contador Geiger soviético" en relación al accidente nuclear de Fukushima.

Aquí podemos escuchar dos ejemplos en función de la actividad radioactiva encontrada para hacernos una pequeña idea del funcionamiento:

- Muestra de sonido en estado de calma:

http://webs.ono.com/pfg_sonif/geiger_calma.mp3

- Muestra de sonido en estado de alerta:

http://webs.ono.com/pfg_sonif/geiger_alerta.mp3

Pero, volviendo al tema de las aplicaciones, también tenemos ejemplos más cotidianos como podría ser el pulsioxímetro, el cual produce un tono de frecuencia variable en función del oxígeno en sangre que resulta indispensable para realizar una intervención quirúrgica, o más elementales, como podrían ser el sonido de las llaves del coche al cerrarlo, el sonido en videojuegos (es más fácil de entender este aspecto si se intentase jugar con los ojos cerrados) o señales audibles en pasos de peatones.

En la actualidad existe un foro internacional de investigación en el área de la sonificación, el ICAD (International Conference on Auditory Display) que dirige sus esfuerzos hacia los dispositivos acústicos en el ámbito de la percepción, tecnología y áreas de aplicación de la disciplina, realizando también eventos con fines más “artísticos”, quizá más que como recurso para investigación se utiliza con el fin de atraer al público, para acercar a la gente a esta técnica, aunque también se realizan estudios con interesantes resultados en este campo.

Sus principales temas de interés incluyen: la exploración auditiva mediante la sonificación (sonido controlado) y la audificación (muestreo de datos en forma acústica), monitorización de múltiples variables vía sonificación en tiempo real, sonido en interfaces inmersivas (ambientes virtuales) y teleoperación, sonido en interfaces generales, aplicaciones de dispositivos acústicos.

El estudio de las secuencias de ADN y proteínas interpretadas mediante algoritmos musicales, la diagnosticación de problemas con el uso de sonificación en análisis ECG (electrocardiogramas), visualización de datos sísmicos (pueden tener un tamaño de Terabytes y al presentarlos de forma sonora, los datos correspondientes a un día se reducen a sólo unos minutos), sistemas de correlación de información geográfica, simulaciones en el experimento del Bosón de Higgs, sistemas de análisis telemétricos del motor en helicópteros, etc.

Dentro del campo militar se desarrolla en conjunto con la visión artificial, que busca generar una ventaja a la hora de realizar intervenciones militares en terrenos adversos.

La sonificación es una técnica muy usada en la NASA para poder analizar información capturada desde satélites de forma masiva, como ya se ha mencionado anteriormente, aparte, partiendo de que el espacio profundo carece de sonido, los científicos han implementado un sistema de “sonificación” a partir de la información obtenida de los cambios de intensidad, temperatura, velocidad y el campo magnético del Sol. "La NASA obtiene una cantidad enorme de datos a través de sus satélites. Explorar esta gran

acumulación de información puede ser difícil. La sonificación ofrece una perspectiva prometedora en comparación con las técnicas de visualización convencionales", explica el especialista de la NASA, Robert Alexander para The Huffington Post.

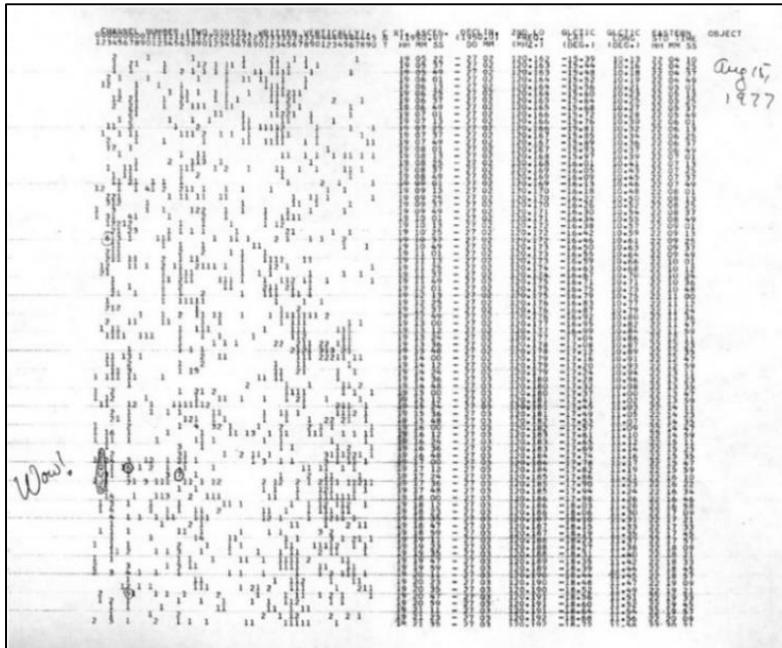


Fig.4. Señal Wow sacado de los archivos de la NASA. En concreto esta señal no fue detectada sonificando pero, por eso mismo, podemos observar el farragoso proceso manual que debía de suponer el análisis de estas señales percibidas.

Como ejemplos introductorios vamos a exponer dos sonidos de diferentes métodos de sonificación, el primero sobre variaciones en un entorno físico (segundo diseño, el cual lo realizaremos espacializando una imagen) y mediante composición para analizar la evolución temporal (tercer diseño), ambos ejemplos han sido extraídos directamente de Thomas Hermann's research on Sonification, Data Mining and Ambient Intelligence:

- Sonificación de variaciones en energía de una partícula a partir de datos obtenidos del Bosón de Higgs:

http://webs.ono.com/pfq_sonif/Higgs.mp3

- Sonificación de la composición de una estructura de ADN, en función de las combinaciones de proteínas (adenina, citosina, timina, guanina) para producir el nucleótido formado por la unión de tres tipos de estas proteínas mediante el uracilo. En este caso escucharemos la estructura GTG CAC CTG ACT CCT GAG GAG AAG TCT GCC GTT ACT GCC CTG TGG, utilizando diversos instrumentos:

http://webs.ono.com/pfq_sonif/ADN.mp3

Queda claro, en base a los ejemplos, que descontextualizándolos del tipo de contenido a analizar, carecen de interés o sentido. Sonificar es obtener información de una serie de datos por lo que la primera pregunta que uno tiene que hacerse a la hora de sonificar es: ¿Con qué tipo de datos estoy trabajando?, ¿Qué consideramos información dentro de ese conjunto de datos? y ¿Qué datos son los que nos interesa resaltar?

En este proyecto nos centraremos en dos casos, un sistema de control industrial también aplicado como complemento de visión para invidentes y un sistema de traducción de señales cerebrales para pacientes con parálisis cerebral.

2.4. PERCEPCIÓN DEL SONIDO

El mundo está lleno de ondas, ya sean ondas sonoras, mecánicas, tales como las ondas que se propagan en una cuerda de una guitarra, ondas sísmicas que pueden transformarse en terremotos, ondas de choque que se producen cuando por ejemplo un avión supera la velocidad del sonido, y otras ondas más particulares porque no son tan fácilmente captadas con los sentidos o no es tan sencillo interpretar su origen, son las ondas electromagnéticas. Entre éstas están la luz visible, las ondas de radio, las señales de TV, los rayos X, muchas de las cuales permiten el funcionamiento de algunos aparatos conocidos por todos: el control de canales de TV, los teléfonos móviles, televisión por cable, etc.

El sonido humanamente audible consiste en ondas sonoras que se producen cuando las oscilaciones de la presión del aire, son convertidas en ondas mecánicas en el oído humano y percibidas por el cerebro. La percepción sonora es el resultado de los procesos psicológicos que tienen lugar en el sistema auditivo central y permiten interpretar los sonidos recibidos.

La psicoacústica estudia la percepción del sonido desde la psicología (percepción sonora subjetiva) y describe la manera en que se perciben las cualidades (características) del sonido. Dentro de las teorías de audición tenemos dos, la Teoría del Lugar y la Teoría de Frecuencia.

En primera estancia, la Teoría del Lugar, afirma que existe una organización tonotópica de las frecuencias en la membrana basilar. En otras palabras, que las células sensoriales que se encuentran cercanas a la base de la membrana basilar son afectadas

principalmente por tonos de alta frecuencia, en cambio, las localizadas cerca al helicotrema son estimuladas principalmente por tonos de baja frecuencia. Además afirma que diferentes frecuencias excitan distintas fibras nerviosas en el área auditiva primaria.

En 1863, Hermann Von Helmholtz propuso la primera versión de la teoría, bajo el supuesto de que la cóclea poseía propiedades de resonancia. Sin embargo, Georg Von Békésy fue la persona que estudió y realizó descubrimientos acerca de la operación del oído interno que respaldan la teoría. Los hallazgos básicos de Békésy se relacionan con la hidrodinámica del oído interno. Según él, la operación general del proceso auditivo consiste en que una onda viajera de sonido comienza en la región más rígida y angosta de la membrana basilar y viaja hacia la región más ancha. En el camino, las vibraciones de alta frecuencia generan ondas cuyo punto máximo de desplazamiento se encuentra cerca del estribo mientras que las vibraciones de baja frecuencia generan ondas cuyo punto máximo de desplazamiento se encuentran cerca del helicotrema.

La teoría, además de explicar la recepción de frecuencia ha sido propuesta para explicar cómo se registra la intensidad del sonido. Según ésta, mientras más intenso es un sonido, mayor es la región de la membrana basilar involucrada.

La Teoría de Frecuencia (también llamada Teoría de Periodicidad), afirma que la membrana basilar vibra en su totalidad reproduciendo las vibraciones del sonido. Según esta teoría, el tono escuchado está determinado por la frecuencia de impulsos que viajan por el nervio auditivo que se correlaciona con la frecuencia de la onda sonora; el cerebro es el instrumento analizador para percibir tonos. Fue propuesta por Ernest Gleen Wever y Charles Bray en 1930.

La mayor parte de la evidencia que respalda esta teoría proviene del estudio con peces que no tienen sistemas periféricos de análisis de frecuencias, por lo que estos animales sí deben tener esta capacidad discriminatoria.

La teoría fue criticada, puesto que una fibra nerviosa no puede responder directamente más de 1000 veces por segundo, lo cual significa que no puede transmitir frecuencias de más de 1000 Hz, en consecuencia la teoría no podría explicar todo el intervalo de frecuencias audibles.

Para corregir este problema, la teoría desarrollo, en 1949, el principio de andanada, que dice que cada fibra nerviosa no dispara en el mismo momento, sino que más bien la actividad neural total o los potenciales de acción totales se distribuyen en una serie de

fibras nerviosas auditivas, lo cual significa que disparan o se activan coordinadamente para producir la frecuencia del estímulo.

Volviendo a la parte que nos atañe más directamente, la percepción auditiva se da en cinco fases:



Y las cualidades (características) del sonido son:

- Intensidad o potencia
- Tono o altura
- Timbre o color
- Duración.

Estas cualidades vienen determinadas por los propios parámetros de las ondas sonoras, principalmente la frecuencia y la amplitud.

En la tabla que se muestra a continuación se han clasificado los principales parámetros con los que vamos a trabajar en el proyecto para dar el contexto a la sonificación atendiendo a la cualidad del sonido, el parámetro y el rango o percepción que éste produce al ser oído:

CUALIDAD	PARÁMETROS	RANGO
ALTURA: PERCEPCIÓN DEL TONO	FRECUENCIA	AGUDO-MEDIO-GRAVE
SONORIDAD: PERCEPCIÓN SUBJETIVA DE LA INTENSIDAD	AMPLITUD	FUERTE-SUAVE-DÉBIL
TIMBRE	FORMA DE ONDA (COMPONENTE ARMÓNICO)	FUENTE EMISORA DEL SONIDO
DURACIÓN	TIEMPO QUE DURA UN SONIDO	LARGO-CORTO
PERCEPCIÓN	ESCUCHA BINAURAL	DETECCIÓN DE DIRECCIÓN

Tabla 1. Clasificación de los parámetros de trabajo. Elaboración propia.

3. HERRAMIENTAS PARA LA SIMULACIÓN

3.1. MATLAB

Matlab (MATrix LABoratory) se define a sí mismo como un lenguaje de alto nivel con entorno interactivo, permite explorar y visualizar ideas, así como colaborar interdisciplinariamente en procesamiento de señales e imagen, comunicaciones, sistemas de control y finanzas computacionales.

¿Por qué se ha decidido usar Matlab para el segundo diseño de sonificación?, ¿consideramos realmente Matlab como una herramienta de programación?

Realmente Matlab es más una herramienta de análisis que de programación, ideal para cálculo numérico, análisis y visualización de datos, desarrollo de algoritmos y realización de simulaciones ya que permite trabajar de manera muy intuitiva (teniendo en cuenta conocimientos previos de señal) puesto que permite convertir toda la información en matrices (imágenes) o vectores (sonido) para trabajarla punto a punto, de manera muy directa, en dominio espacial y temporal, permitiendo transformarla con cualquier fin. Los límites están delimitados por la teoría de tratamiento de señal que, obviamente, sin conocimientos previos no tendría sentido haber elegido Matlab.

Las señales en el dominio de tiempo pueden transformarse al dominio de la frecuencia usando la transformación de Fourier, MATLAB implementa una transformación usando la función "fft()" (Fast Fourier Transform).

El tratamiento de imagen permite segmentar, binarizar, umbralizar, filtrar, realzar, utilizar morfología matemática y “machacar” todos los datos de la imagen para separar la información que queremos extraer de la imagen y posteriormente usarla como patrón con el que obtener una sonificación concreta. El tratamiento de sonido permite, aparte de todos los tratamientos de imagen pero de manera “unidimensional”, partiendo de la descomposición de un fichero WAV en un vector de dos columnas (estéreo), desde utilizar ventanas para reducir las componentes en frecuencia no deseadas posteriores a la DFT para análisis a emulsionar osciladores con el comando “sound()” definiendo una señal sinusoidal del tipo “ $x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$ ” (variando la amplitud, la frecuencia de las señales o el tiempo de muestreo).

Como conocimientos previos a tener en cuenta para trabajar en Matlab con señales:

- El teorema de Nyquist-Shannon (un pilar básico en la teoría de información) atañe directamente al muestreo (no confundir con la cuantificación, proceso posterior al muestreo en la digitalización de la señal que al contrario del muestreo, no es reversible) el cual demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras es posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda, es decir, dada una frecuencia de muestreo f_s , se tiene que cumplir que:

$$f_s \geq 2 f_{muestreo}$$

- La transformación de Fourier mencionada anteriormente, implementada por MATLAB, que pese a su error, se emplea de una manera tan cómoda que resulta muy útil.
- La convolución se define como la integral o suma en casos discretos, sobre un rango de funciones $f(T) * g(t-T)$ con respecto a T . Mientras se mueve el rango de una función f , cada punto es multiplicado por una segunda función en g . En el dominio del tiempo, la convolución es una operación de computación intensiva, sin embargo, después de transformarlo en el dominio de la frecuencia mediante la transformación de Fourier, la convolución se simplifica a multiplicaciones. En el dominio del tiempo, la convolución es una operación de computación intensiva, sin embargo, después de transformarlo en el dominio de la frecuencia mediante la transformación de Fourier, la convolución se simplifica a multiplicaciones (multiplicación por puntos mediante el operador ".*").

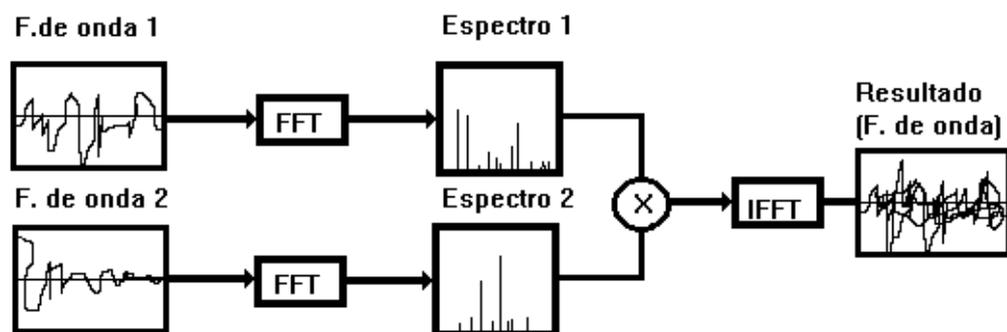


Fig.5. Ejemplo de procedimiento que se realiza al aplicar la convolución rápida.

Extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Señal.

Imaginemos que queremos grabar una muestra de voz nuestra y que parezca que ha sido grabada en un anfiteatro romano. Bastaría con tener nuestra muestra de audio y realizar una convolución con la respuesta en frecuencia de ese lugar que queremos (respuesta al impulso, por ejemplo un golpe seco o un disparo de ese anfiteatro) con nuestra voz. En este trabajo buscamos la respuesta en frecuencia de una imagen.

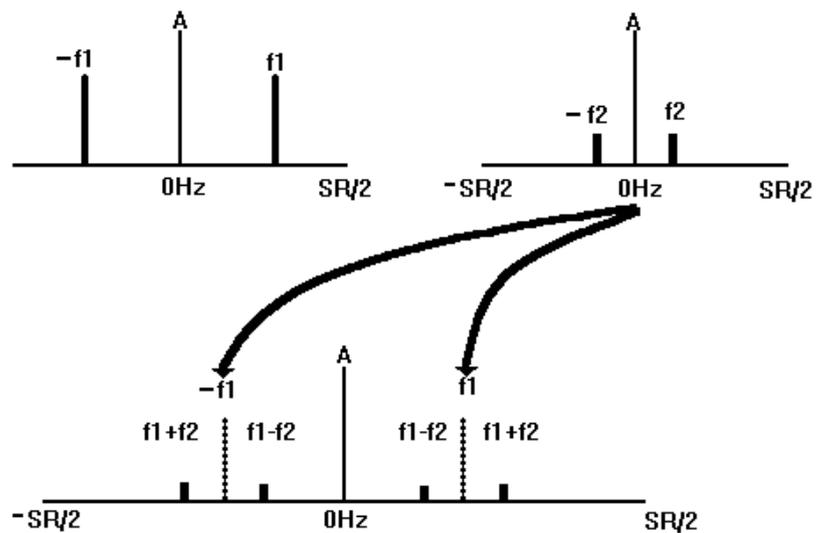


Fig.6. Ejemplo gráfico de la convolución de espectros, esta convolución de los espectros de las componentes sinusoidales de las figuras superiores dan un espectro que se integra de la suma y la resta de ambas componentes sinusoidales, se centra una copia del espectro de uno sobre cada componente de frecuencia del otro.

- El uso de ventanas, al realizar una DFT de una forma de onda de N muestras que contiene componentes de frecuencias que no están relacionadas, debido a que las muestras que se analizan no contienen un número completo de períodos de la frecuencia que "realmente" contienen resulta imposible eliminar estos artefactos completamente, pero su efecto puede ser reducido considerablemente a través del uso de Ventanas.

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de las funciones de ventana en Matlab:

TIPO	ANCHURA DEL LÓBULO PRINCIPAL	MÍNIMA ATENUACIÓN EN LA BANDA DE RECHAZO	ANCHURA DE BANDA DE TRANSICIÓN
RECTANGULAR	$2 \cdot F_s / (2 \cdot M + 1)$	20.9	$0,46 \cdot F_s / M$
HANN	$4 \cdot F_s / (2 \cdot M + 1)$	43.9	$1,55 \cdot F_s / M$
HAMMING	$2 \cdot F_s / (2 \cdot M + 1)$	54.5	$1,55 \cdot F_s / M$
BLACKMAN	$6 \cdot F_s / (2 \cdot M + 1)$	75.3	$2,78 \cdot F_s / M$

Tabla 2. Propiedades de las funciones de ventana en Matlab. Elaboración propia.

Para este proyecto se han utilizado conocimientos de Tratamiento Digital de Imágenes, Tratamiento Digital de Audio, Teoría de la señal, Señales y Sistemas y Teoría de la Comunicación.

3.2. AUDACITY

Audacity es uno de los programas de edición de audio, análisis y grabación de audio, de libre uso y código abierto, más avanzados que existen, multiplataforma, y de manejo muy sencillo. Debido a todas estas características es fácil justificar su uso.

Permite grabar sonidos en vivo, convertir grabaciones, cambiar velocidad o el tono de una grabación, cortar, copiar y pegar (deshaciendo de forma ilimitada), trabajar con varias pistas de manera simultánea, mezclarlas, aplicar diferentes efectos importar, exportar archivos WAV, AIFF, Ogg, MP3, etc.

Especialmente, aparte de todas las funciones anteriores, será usado como herramienta de análisis, como espectrógrafo para visualizar frecuencias obtener un análisis detallado de las frecuencias.

3.3. SUPERCOLLIDER

SuperCollider es un entorno y un lenguaje de programación creado en 1996 por James McCartney para hacer síntesis de audio en tiempo real y composición algorítmica. También cabe destacar se trata de una herramienta software de código abierto.

El entorno se divide en un servidor y un cliente que se comunican a través de OpenSound Control (OSC), que en pocas palabras es una versión aumentada y corregida del protocolo MIDI.

El servidor es conocido como scsynth y es lo que hace a SuperCollider un lenguaje tan poderoso. Se pueden crear varios synths en el servidor. Cada synth crea un nodo que puede ser controlado independientemente o junto a los demás. Soporta un número indefinido de canales. Permite la creación de Buffers de audio para reproducir o grabar. Puede hacer cálculos en diferentes “rates”: audio, control y demand. Ya que el servidor es controlado a través de OSC, varias aplicaciones pueden usarse para controlarlo, como Pure Data, por ejemplo.

Sclang es el cliente, que es usado para definir los synths, a través de SynthDefs, y enviarlos al servidor. Los SynthDefs contienen información sobre la relación entre variables y UGens. Los Unit Generators o UGens, son objetos que generan o procesan señales de audio.

SuperCollider tiene dos servidores predefinidos: el interno y el local. El servidor interno corre en el mismo proceso que la aplicación, es decir, que es interno al programa, esto hace que tengan una mayor comunicación. El servidor local corre en la misma máquina que la aplicación. En caso de que el servidor se caiga, la aplicación seguirá corriendo y viceversa. Es posible crear más servidores y que estos estén en distintas computadoras conectadas vía internet o ethernet.

Principalmente este programa ha sido incluido puesto que era el más sonado y propuesto como primera toma de contacto con la sonificación en el libro “*The Sonification Handbook* (Edited by. Thomas Hermann, Andy Hunt, John G. Neuhoff)” y ha servido como modelo de introducción básico al segundo diseño de sonificación propuesto, la sonificación mapping.

3.4. PURE DATA

Pure Data (Pd) es un lenguaje de programación gráfico desarrollado por Miller Puckette durante los años 90 para la creación de música por ordenador interactiva y obras multimedia. Pd es un proyecto de código abierto y tiene una gran base de desarrolladores trabajando en nuevas extensiones al programa.

Pd es muy similar en alcance y diseño al programa Max (desarrollado cuando Miller estaba en IRCAM), y es interoperable (al menos en este proyecto) con Max/MSP, el sucesor comercial del lenguaje Max.

Ambos Pd y Max son ejemplos discutibles de lenguajes de programación, están orientados al "flujo de datos" y es por esto por lo que resulta interesante para este proyecto. En este tipo de lenguajes, funciones u "objetos" son conectados o "parcheados" unos con otros en un ambiente gráfico que modela el flujo del control y el audio. A diferencia de la versión original de Max, sin embargo, Pd siempre fue diseñado para hacer procesado de señales y tasas de control en la CPU nativa, en vez de descargar la síntesis y el proceso de señales a un tablero de PDS (como el Ariel ISPW que era usado para Max/FTS).

3.5. MAX/MSP

Max (sucesor comercial del lenguaje Max) es un entorno de desarrollo gráfico para música y multimedia desarrollado y mantenido por Cycling '74. El programa ha sido usado durante más de quince años por compositores, artistas y diseñadores de programas interesados en la creación de programas interactivos.

Max es bastante modular, y la mayoría de las rutinas forman parte de una biblioteca compartida. La IPA (Interfaz de Programación de Aplicaciones) permite el desarrollo de nuevas rutinas (llamadas «objetos externos») por terceras personas. Por consecuencia, muchos de los usuarios de Max son programadores no afiliados a Cycling '74 que mejoran el programa, creándole extensiones comerciales y no comerciales. Debido a su diseño extensible e interfaz gráfica (que representa la estructura del programa y el IGU presentadas simultáneamente al usuario), Max cumple para el desarrollo de programas de música interactiva en tiempo real, de manera cómoda.

4. SIMULACIÓN ESPACIAL-SONORA DEL EXPERIMENTO DE GALILEO GALILEI “THE LAW OF FALLING BODIES”

4.1. SONIFICACIÓN ESPACIAL

El primer diseño, corresponde a una simulación espacial virtual del experimento de Galileo Galilei “The law of falling bodies” y sirve como introducción al segundo diseño, la sonificación mapping. Este modelo de sonificación ha sido realizado en Supercollider ya que era el programa de simulación recomendado por “The Handbook of Sonification” (concretamente, Capítulo 10: Laboratory Methods for Experimental Sonification) en el cual se muestra la sonificación como una herramienta de definición de un mapa espacial.

Para tener un buen patrón y recrear ese mapa espacial sonoro, según las bases propuestas por “The Handbook of Sonification”, para empezar hay que plantearse cuántos puntos son necesarios representar y qué propiedades (y cuántas) debemos representar en el diseño. También es importante, por ejemplo, decidir cuántos sonidos en paralelo vamos a generar, por lo que es importante un estudio previo del entorno antes de programar, lo que ha llevado a enfocar de manera independiente los siguientes diseños, por fuerza propia.

Para poder trabajar con Supercollider es necesario invocar al servidor (trabajando con Windows esto genera numerosos problemas ya que posteriormente hay que cerrarlo manualmente por consola y puede crear un problema denominado “servidores zombis” que no permiten ni ser invocados ni destruidos ya que curiosamente se quedan en una especie de limbo, utilizando recursos, de manera invisible). Hay dos formas de invocar el servidor, una es a través de las ventanas que los representan (cosa que dependiendo del sistema operativo y versiones puede dar frecuentes errores) o programándolo manualmente.

Personalmente recomiendo programarlo para luego activarlo o desactivarlo antes de cerrar el programa de compilación, el cual compila códigos “seleccionando” líneas y emulsionando órdenes, no de manera compacta, lo cual también complica mucho la

tarea puesto que requiere ir proceso a proceso cargando los valores uno a uno y no tenemos una visión general del trabajo realizado, algo parecido a como si sólo pudiésemos trabajar en la consola, cargando variables, pero sin usar funciones, lo cual es algo frustrante a la hora de desarrollar un proyecto que requiera muchos procesos.

En un nivel de complejidad menor, como objeto de simulación para el estudio y aprendizaje, como es el caso al que pretende introducir el libro principal de referencia, correcto, como herramienta de aprendizaje, el programa cumple su función.

Vamos a empezar con la operativa principal, los objetos. Los objetos comienzan con mayúscula y los mensajes que son enviados a esos objetos se escriben con minúscula. Después de redactar el código debemos compilarlo para enviarlo al servidor dejando este abierto.

A continuación se expone la operativa para invocar el servidor, dejarlo abierto para trabajar y cerrarlo posteriormente antes de cerrar el programa, invocando los procesos individualmente. Como he dicho antes, si se nos olvida cerrarlo no basta con volver a abrir el programa y cerrarlo, ya que se llamará a otro servidor que no existe, que no ha sido creado aún, y que en caso de crearlo, se cerraría este último pero no el anterior y esto genera muchos problemas si además insistimos reiteradamente en repetir este proceso para cerrarlo.

=====

s=Server.local

s.boot

s.quit

s=Server.internal

s.boot

s.quit

=====

Es importante acudir (casi que constantemente) a la ayuda de SuperCollider. Para abrir la ayuda general usamos Cmd+d. Si queremos una ayuda más específica sobre algún objeto, seleccionamos el objeto y usamos de nuevo Cmd+d.

Muy importante tener en cuenta que para detener el sonido hay que usar Cmd+. en Mac y Alt+. en Windows. Estamos emulsionando sonido desde lo más profundo del ordenador y hay que entender a qué nivel se trabaja para tomar precauciones.

Otro de los objetos estrella son los UGens (Unit Generators). Son objetos que producen algún tipo de señal (SinOsc, Pulse, Saw, LFTri). Al conectar varios entre ellos creamos un patch.

Sus nombres comienzan con mayúsculas y pueden ser de dos tipos:

- Audio Rate (.ar), estos UGens se mueven a una velocidad de audio de 44100 muestras por segundo. Hay que utilizar el mensaje .ar a los UGens que sean parte de la cadena de audio que será escuchada.
- Control Rate (.kr), estos UGens van a velocidad de control. Producen una muestra por cada 60 muestras hechas por un UGen.ar (el sistema anterior). Es decir, $44000/60$, hacen un total de 735 muestras por segundo. Por esto, los UGens de control son más económicos computacionalmente hablando.

Generalmente, los UGens de control se usan como moduladores, señales que le dan forma a la señal de audio. Las formas más básicas de generación de sonido son con osciladores (SC).

La forma más simple para generar sonido es mediante { }.play, muy útil para probar algo rápidamente pero absolutamente nada recomendable para construir piezas. Para el servidor local se usa ".play" y ".scope" para el interno.

Dentro de los osciladores básicos, todos comprenden una serie de argumentos ordenados que indican su comportamiento. Los argumentos básicos de todo oscilador son: frecuencia, fase y amplitud, aunque existen argumentos exclusivos para ciertos osciladores.

Algunos ejemplos de generaciones:

- {SinOsc.ar (800, 0, 0.1)}.play //onda senoidal
- {SinOsc.ar (800, 0, 0.1)!2}.play //para crear un estéreo
- {Pulse.ar (800, 0.2, 0.1) !2}. scope //onda cuadrada
- {Saw.ar (800, 0.1)!2}.scope // onda diente de sierra
- {LFTri.ar (800, 0, 0.3)!2}.scope //onda triangular

El operador SinOsc es un oscilador de onda sinusoidal. Funciona con los mensajes ya vistos anteriormente, .ar y .kr. Sus argumentos son: frecuencia, fase, mul y add. Su sintaxis es la siguiente:

- SinOsc.ar(frec, fase, mul, add), siendo:
 - Frec la frecuencia, ciclos por segundo o Hertz. El rango auditivo general del ser humano es de 20Hz a 20KHz. El default en SC es de 440Hz.
 - La fase el punto del ciclo en el que queremos que inicie el oscilador. Se especifica en radianes y su rango es de 0 a 2pi. El default es 0 que es el inicio del ciclo.
 - Mul el número por el que multiplicamos la señal. Claramente lo vamos a identificar como el volumen o amplitud del sonido siendo 0 el mínimo y 1 el máximo recomendado. El default es 1.
 - Add Corresponde al número que se le suma a la señal del oscilador. Notar que se pone primero el mul y luego el add. El default es 0, dejando la señal sin alterar.

Usamos Pulse para generar una onda de impulsos con modulación del ancho del pulso.

El procedimiento sería:

- {Pulse.ar}.play //pulse con sus argumentos en "default"
- {Pulse.ar (100)}.play //con frecuencia más grave
- {Pulse.ar (100, 0.1)}.play // la misma frecuencia pero un ancho de banda menor. Cambia el timbre pero la altura es la misma.
- {Pulse.ar (100,0.9,0.1)}.play // la misma frecuencia con mayor ancho de banda y amplitud más baja. No cambia el timbre pues el ancho de banda es simétrico con su eje de 0.5; así que 0.1=0.9, 0.2=0.8, 0.7=0.3 ...

Usamos LFTri para oscilador triangular, el procedimiento sería:

- {LFTri.ar}.play //onda triangular con argumentos en default
- {LFtri.ar(150)}.play /*Con la frecuencia grave*/
- {LFTri.ar (1000,0.1)}.play //con frecuencia aguda y poca amplitud.

4.2. EXPERIMENTO DE GALILEO GALILEI “THE LAW OF FALLING BODIES”

Para este diseño se ha simulado el experimento de Galileo Galilei “The law of falling bodies”, vamos a ver primero en qué consiste.

Galileo Galilei (Pisa, 15 de febrero de 1564 - Arcetri, 8 de enero de 1642) fue un astrónomo, filósofo, ingeniero, matemático y físico italiano que, entre otras cosas, estudió el movimiento del péndulo, investigó la resistencia de los materiales y, lo más importante, demostró varias leyes que había enunciado Aristóteles sobre la caída de los cuerpos. Tras mucho tiempo tomando medidas de bolas cayendo por planos inclinados, se dio cuenta de que caían casi a la vez, así que determinó que la velocidad de caída de los cuerpos no dependía de la masa de los cuerpos, como había enunciado Aristóteles, sino que era independiente de ésta.

Según sus estudios, desde joven Galileo se dio cuenta de que la ley que había enunciado Aristóteles sobre la caída de los cuerpos, la parte en la que hablaba de que la masa es proporcional a la velocidad, no parecía encajar muy bien. De esta manera, y para investigar y comprender las caídas de los cuerpos, Galileo mandó construir un raíl de madera de siete metros, muy bien pulido para que hubiera poco rozamiento, y por el cual poder tirar bolas y estudiar su movimiento.

Se podría afirmar que Galileo, sin saberlo, inventó el método científico, ya que a la hora de investigar, primero observaba, luego formulaba hipótesis, experimentaba y, en último lugar, llegaba a conclusiones y enunciaba leyes. Y como no, aplicó este método al estudio de la caída de los cuerpos.

Según él decía, si se dejaban caer dos bolas desde la misma altura, las dos caerían al mismo tiempo, ya que la masa es independiente de la velocidad. Así, usando el raíl de madera, tiró muchas veces bolas de distinto tamaño, y midió el espacio que recorrían con puntos (que equivalían a unos 0,094 cm). En esta época el tiempo era algo más difícil de medir. Galileo tenía cuatro métodos para medirlo:

- Con un péndulo (que no era una manera muy práctica).

- La más complicada y precisa era con un reloj de agua. Consistía en dos recipientes, uno lleno de agua y otro vacío. El agua iba pasando de uno a otro por un tubo que tenía un grifo, y cuyo flujo era de casi un litro y medio por segundo (siendo tanta agua por segundo, las medidas eran muy precisas). Abría el grifo cuando dejaba caer la bola, y lo cerraba cuando ésta llegaba al final del recorrido. Tras esto, medía la cantidad de agua que había pasado en “granos”, y al tiempo que tardaba en pasar un grano de un recipiente a otro lo llamaba “tempo”. Los tempos equivalían a $1/92$ segundos, es decir, que Galileo era capaz de tomar medidas de tiempo con una precisión de casi una centésima de segundo.
- Tocando el laúd. Por lo visto en varias ocasiones lo que hacía era dejar caer la bola y comenzar a tocar. Una vez la bola llegaba al final, dejaba de tocar y contaba las notas hasta el punto en el que había parado. Pese a que parezca increíble, con esta técnica conseguía medidas que eran bastante precisas.
- Mediante la implementación del plano inclinado por el cual va rodando la pelota golpeando una serie de campanas conforme pasa, resultando este sonido de varias campanas lo más uniforme posible temporalmente.

Finalmente, tras mucho tiempo tomando datos, Galileo se dio cuenta de que había tres tipos de movimientos: el movimiento rectilíneo uniforme, que sólo se da en condiciones ideales, en el vacío, y que fue en el que se centró Aristóteles; el movimiento periódico, como sería, por ejemplo, el circular; y, por último, el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, en el que el espacio recorrido es proporcional al tiempo al cuadrado.

Concluyó que la masa es independiente de la velocidad, que es cierto. Su único pequeño error fue que dijo también que dos objetos de distinta masa y tamaño caerían a la vez, ya que no tuvo en cuenta el rozamiento del aire.

Por lo que, volviendo al tema de la simulación, el entorno virtual que se va a realizar constituye al sistema por el cual, rodando la pelota por el plano inclinado, la pelota golpea las campanas que se adjuntan a raíz de una ley cuadrática y el ritmo resultante es uniforme. Para que quede claro es mejor observar la imagen siguiente, la cual muestra una réplica del instrumento que se realizó para la medición:



Fig. 7. Recreación del dispositivo experimental de Galileo Galilei para experimentos de la ley de la caída de los cuerpos, imagen extraída del Museo científico de Florencia. Se puede observar el plano inclinado por el que cae la bola y las campanas situadas sobre éste.

Aquí tenemos la operativa de trabajo para simular el sonido en Supercollider:

```
s=Server.local // servidor
s.boot

( Ndef(\x,{var fisica, g = 9.8, angulo; var toques; var pelota, tiempo, sonido;

// toques = [1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34]; //MAL ESTIMADO
// toques estimados * (3.1 cm):
    toques = [1, 4, 9, 16.1, 25.4, 35.5, 48.5, 63.7] * 0.031;

    angulo = 1; // ángulo de inclinación en grados
    fisica = { |t, gravity, angulo |
    sin(angulo / 360 * 2pi) * gravity * squared(t));

// proceso LINEAL del tiempo
    tiempo = Line.ar(0, 60, 60);
// la función del tiempo es la DISTANCIA desde el origen del balón
    pelota = fisica.value(tiempo, g, angulo);

    sonido = toques.collect { |distance, i|
    var estadoactual = pelota > distance; // 0.0 si FALSO, 1.0 SI VERDADERO
// HPZ2: SOLO VA ENTRE 0.0 y 1.0
    var trigger = HPZ2.ar(estadoactual);
// simulación del balón golpeando cada punto
    Klank.ar( ` {exprand(100, 500)} !5,
              { 1.0.rand } !5,
              { exprand(0.02, 0.04)} !5
    ],
    Decay2.ar(trigger, 0.001, 0.01, PinkNoise.ar(1))
    )
};

// Distribución de los puntos en el paneo (Izq-Der)
Splay.ar(sonido) * 100 }
).play ) // para reproducir el sonido
```

El sonido resultante de este proceso: http://webs.ono.com/pfg_sonif/Son1.mp3

5. SONIFICACIÓN MAPPING

Podemos decir que dentro del mundo de la sonificación, el método de sonificación denominado mapping es el método con más consagración, ya que resulta muy intuitivo estableciendo un contexto. Puede parecer que esto sucede en base a que, al ser un modelo partiendo de una imagen, al ser visionada, generamos también de manera inconsciente unas atribuciones previas, y eso es cierto, pero, intentando separar cognitivamente este proceso, poco a poco, hasta que nos encontremos cómodos con esta forma de percibir información, es decir una vez asimilada, ahí podemos comprobar que sí que es realmente uno de los métodos más robustos y contundentes que existen en el campo de investigación mediante sonificación.

La sonificación mapping asigna unas funciones de sonido controlables, como el volumen, el tono, el posicionamiento espacial o características de filtro, a diferentes valores de medición, como en el caso con audificación, los datos se reproducen de forma secuencial (de izquierda a derecha por similitud con la representación temporal de eventos en una gráfica).

En este método de sonificación utilizaremos como “molde” para sonificar imágenes procesadas. Imágenes de las cuales se resaltarán los elementos de interés mediante el procesado de imagen (ya que, como hemos mencionado, no todos los datos que tenemos van a ser considerados información ya que de no realizar una elección obtendremos un resultado confuso y poco intuitivo) y posteriormente sonificaremos de manera que podamos obtener una referencia espacial que permita la localización de esa información en el recuadro limítrofe de la imagen.

Este diseño basado en la metodología existente dentro del método de sonificación mapping está basado en prototipos actuales, algunos españoles, como como el desarrollado en la Universidad Carlos III de Madrid pensado como herramienta de refuerzo para personas con discapacidad visual, realizado por Pablo Revuelta Sanz, Belén Ruíz Mezcuca y José Manuel Sánchez Pena, con la novedad de que este proyecto incluye un mecanismo de visión estereoscópica, a través de dos imágenes tomadas con

una pequeña separación, para realizar lo que se denomina comúnmente un falso 3D, que facilita la separación en profundidad de los elementos que aparecen en el campo de visión. Profundizaremos posteriormente en este tipo de proyectos en el apartado de aplicaciones, viendo sus características y el aprendizaje que requieren.

5.1. CARACTERÍSTICAS

Para generar una sensación que nos permita orientarnos dentro de una imagen vamos a definir previamente la correlación existente entre los parámetros visuales y preceptivos del sonido:

EN LA IMAGEN	EN EL SONIDO
ARRIBA Y ABAJO	FRECUENCIA
IZQUIERDA Y DERECHA	CANALES DE AUDIO ESTEREO
CERCANIA Y LEJANÍA	INTENSIDAD

Tabla 3. Relación de parámetros visuales en una imagen respecto al sonido que se pretende generar. Generación propia.

Respecto a la tabla, se ha intentado ofrecer el modelo más simplificado posible. Por ejemplo el concepto de izquierda y derecha va a ser percibirlo claramente, sin mucho esfuerzo. Si usamos auriculares y la intensidad con la que emerge un elemento aumenta o disminuye, intuitivamente podemos asociarla a la inminencia o cercanía en la que se encuentra respecto a la toma de la imagen, como si se tratase del sistema de acercamiento anti colisiones que tienen algunos vehículos para aparcar sólo que lo realizaremos de manera estática, podría emularse el efecto pero realizando varias imágenes, para ver si nos acercamos o alejamos pero, el elemento por el que quería ofrecer un esquema sencillo viene en base a que, aunque no lo parezca, el proceso de detección de frecuencia para intuir la posición vertical en una imagen, requiere un proceso de aprendizaje algo mayor respecto a los otros dos parámetros.

Aquí podemos apreciar de manera muy directa la distribución del nivel (intensidad), paneo (sonido binaural, izquierdo y derecho) y contenido del sonido (Pitch).

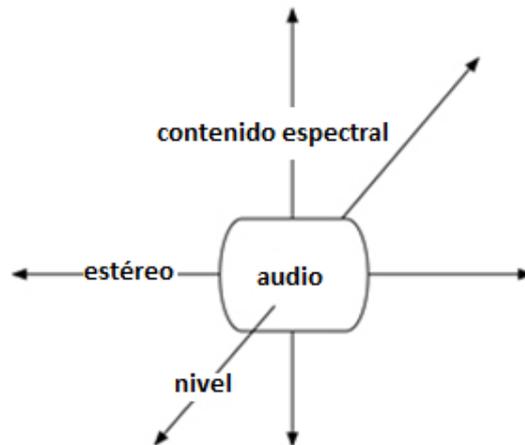


Fig. 8. Distribución del nivel, paneo y contenido del sonido. Generación propia.

5.2. PROCESO

El proceso se divide en dos partes: el Tratamiento de Imagen (anterior al proceso de sonificación pero absolutamente imprescindible) y tratamiento de sonido (proceso de sonificación), ambas realizadas con Matlab.

5.2.1. TRATAMIENTO DE IMAGEN

En Matlab el tratamiento de imagen resulta muy cómodo (teniendo los conocimientos de tratamiento de imagen). Tenemos multitud de herramientas y formas de entrar en los valores puntuales de las imágenes previamente descompuestas en matrices. También, gracias al uso de herramientas de programación, se nos permite adaptar las herramientas que ya realiza de forma automática para nuestros fines. El hecho de que este tratamiento en Matlab sea tan cómodo para un ingeniero hace que la herramienta idónea para este diseño, repito, por comodidad, sea Matlab. Otros programas no permitían concluir todo el proceso como lo permite Matlab de una manera tan cómoda para realizar el tratamiento de imagen.

Los métodos de tratamiento de imagen que mejor resultado han dado para simplificar el proceso posterior de sonificación han sido la segmentación, la reducción de la resolución espacial, detección de bordes y ponderación de niveles de intensidad.

El tratamiento de imagen se descompone en:

- SEGMENTACIÓN
- REDIMENSIONADO
- CONVERSIÓN A ESCALA DE GRISES
- NEGATIVO
- UMBRALIZACIÓN
- RESOLUCIÓN ESPACIAL
- FILTRADO
- MORFOLOGÍA MATEMÁTICA
 - EROSIÓN
 - APERTURA
 - DILATACIÓN
 - CIERRE

SEGMENTACIÓN DE COLOR

La segmentación es una técnica muy utilizada en tratamiento de imagen para dividir la imagen en grupos de píxeles. El objetivo es simplificar la imagen para poder analizarla mejor. Se asigna una condición de contorno a cada píxel de la imagen de forma que los píxeles que compartan la misma condición también tendrán ciertas características visuales similares.

Realizando la media contamos posteriormente con un valor umbral que utilizamos de nivelador para ponderar la información. Cuando ese valor umbral sea más pequeño, más restrictivos seremos y menos información pasara, si por el contrario ese valor es muy alto, la segmentación será menos contundente.

Esta técnica tendría lugar en primera instancia puesto que es de suponer que para el punto de partida deberemos de tener una toma lo más específica posible de la información a analizar.

En el ejemplo tenemos una imagen de varios clips de colores que vamos a ir segmentando en función del color azul, rosa y blanco.



Fig.9. Imagen original¹, clips, imagen genérica utilizada segmentación



Fig. 10. Imagen segmentada, hemos elegido separar los clips de color azul.

¹ Todas las imágenes utilizadas de ejemplo a partir de ahora y hasta que se indique lo contrario, dentro del segundo diseño han sido realizadas por generación propia o carecen de derechos de autor.

En la segmentación de color azul se aprecia como el clip superior izquierdo, al estar ligeramente difuminado, esa dispersión de color genera que sólo en sus matices más puros se vean reflejados al segmentar, aumentando el valor umbral tendríamos más cantidad de margen que pasa permitido pero el resultado sería más difuso. Conviene encontrar la relación óptima, aquella que sea la más permisiva pero a su vez no entorpezca ofreciendo elementos de más. De todas formas el tratamiento de imagen es un proceso de multifunciones, posteriormente aplicaremos morfología para eliminación de minucias (ya que si éstas se quedan aparecerán en la sonificación, aludiendo a error).



Fig. 11. Imagen genérica Clips segmentada blanco

Esta imagen superior muestra la segmentación blanca en la que podemos apreciar que también aparecen incluidos los reflejos del brillo de la luz de otros clips que no tienen por qué ser necesariamente blancos. Esto, al igual que en la imagen anterior, podemos solucionarlo posteriormente con morfología matemática.



Fig. 12. Imagen genérica Clips segmentada rosa

En esta imagen hemos utilizado para realizar la segmentación el color rosa. Cabe destacar, analizando el resultado, que en la parte central izquierda de la imagen se aprecian pequeños resquicios con forma de nube de polvo que son los restos del clip de color rojo que por la acción de la luz se aproximan en parte a ese umbral que segmenta el rosa (es aconsejable volver a mirar la imagen de referencia original). Con el redimensionamiento podemos deshacernos de esas partes.

El uso de esta técnica produce muy buenos resultados pero requiere del estudio previo de las condiciones de contorno (a la hora de capturar las imágenes, por ejemplo). En la mayoría de trabajos de control de maquinaria en los que se requiera este trabajo específico se tienen en cuenta todas estas pautas para que el resultado se a óptimo, requiriendo el menor procesado posterior. Limitaciones de contorno en la toma de esas capturas como la luz, la sombra que generan los objetos o la mera superposición de éstos, lo cual impidiese su correcta separación.

REDIMENSIONADO

Si sonificamos una imagen excesivamente grande se genera un sonido con demasiada información redundante como para que sea fácilmente relacionada con la imagen, por esta razón se hace necesaria una reducción en la cantidad de información, eliminando detalles superfluos que no sean decisivos a la hora de realizar el proceso de sonificación, por lo que se recomienda encarecidamente una reducción de la resolución espacial para este proceso sin miedo a que visualmente esta imagen pierda contexto visual ya que eso implica en ciertas ocasiones una visualización sonora más sencilla y por lo tanto intuitiva.

Matlab permite cambiar el tamaño de una imagen redimensionando con la función `imresize`. Al cambiar el tamaño utiliza distintos tipos de interpolación.

Si omitimos el argumento utilizamos el método por defecto (cercanía). Dentro de las opciones de Matlab tenemos la interpolación bilineal y bicúbica (pero requiere mayor coste computacional) y el método "nearest" (consiste en una simple interpolación entre dos puntos).

Con la sintaxis "imresize (A, [mrows ncols], método)" Matlab devuelve una imagen de tamaño [mrows ncols]. Si el tamaño especificado no produce la misma relación de aspecto como la imagen de entrada tiene, la imagen de salida está distorsionada.

Cuando el tamaño de salida especificado es menor que el tamaño de la imagen de entrada, y el método es "bilineal" o "bicúbica", imresize aplica un filtro de paso bajo antes de la interpolación para reducir el aliasing.

CONVERSIÓN A ESCALA DE GRISES

Partamos de que la conversión de una imagen a Matlab genera una matriz de 3 dimensiones correspondientes a cada una de las componentes RGB.

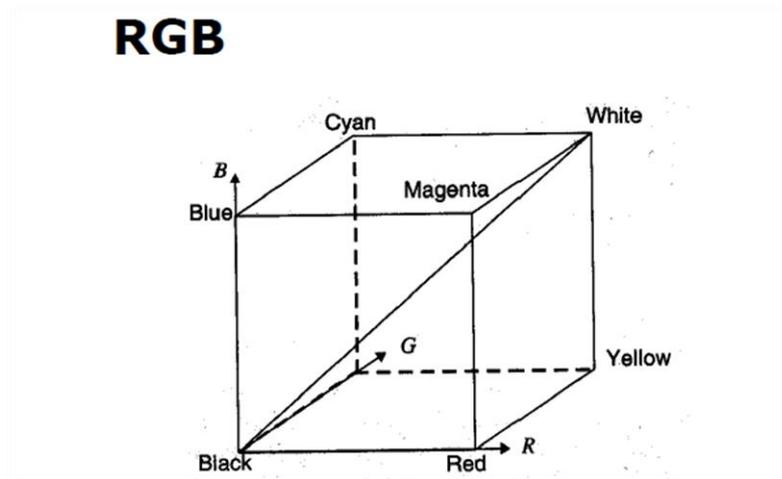


Fig. 13. .Imagen representativa de la escala de color mediante un cubo, cada eje del cubo representa los valores de rojo, verde o azul en el rango de 0 a 255. Imagen extraída de las diapositivas de la asignatura TDI del Grado en Telecomunicaciones de Imagen y Sonido de la Universidad de Alicante.

El proceso de convertir la imagen a escala de grises viene determinado a que vamos a generar las amplitudes de los osciladores en función de los niveles de grises.

El cálculo que corresponde al color expresado en luminancia tiene que ser igual a una media ponderada de las distintas componentes de color de cada píxel. La expresión matemática de la luminancia con componentes es:

$$Y = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B$$

Los factores de ponderación de cada componente de color indican la sensibilidad del ojo humano a las frecuencias del espectro cercanas al rojo, verde y azul, la combinación total de los colores primarios, R+G+B, puesto que están normalizados, es 1.

$$\text{Res} = 0.2989 * \text{Im}(:, :, 1) + 0.5870 * \text{Im}(:, :, 2) + 0.1140 * \text{Im}(:, :, 3);$$

A continuación tenemos un ejemplo de este proceso:



Fig.14. Imagen original a color



Fig.15. Imagen en escala de grises

La línea que se observa en la imagen que atraviesa la cabeza del gato es simplemente la esquina de la pared, que por la geometría refleja la luz de forma diferente, lo comento puesto que el gato tiene un cambio de color también y puede dar a entender que hay algún tipo de “corte” pero indicar que no es así, esto a la hora de sonificar puede interferir ya que asume dos niveles para el fondo (puesto que también ambas partes de la pared forman el fondo pero reflejan de distinta forma la luz) y el resultado puede ser en lugar

de un “objeto” que sería el gato, un objeto grande que va creciendo hasta ocupar toda la parte derecha de la imagen, aunque realmente contamos con la ayuda de que el color del gato en contraste con la pared es bastante diferente.

NEGATIVO

Realizamos la inversión de la imagen simplemente por el criterio elegido para sustraer información de la imagen. Puesto que utilizaremos los niveles de grises para generar sonido, se considera que, con el fin de mostrar una “generalización de la metodología”, en la mayoría de casos los elementos que aparecen superiores o emergentes en una imagen, al partir de una composición en color, es de suponer que suelen ser más oscuros. El objetivo es obtener una imagen con niveles de intensidad invertidos (los máximos pasarán a ser mínimos y viceversa).

Claro está que si hablamos de una foto con flash se dará el caso contrario, por lo que el procedimiento que se muestra en toda la operativa de tratamiento de imagen, como he repetido varias veces, no resulta ni lineal ni mucho menos “estándar” para todos los casos, cada grupo de imágenes que corresponden a un contexto u operativa concreta requieren un estudio previo de contorno, intentando generalizar este aspecto lo más posible, y debido a esto, en los resultados, se han probado diferentes casos para poder debatir estos criterios en base al modo de obtención de las imágenes.

A continuación podemos ver un ejemplo de inversión de niveles en el que podemos apreciar cómo se resaltaría el objeto sobre el fondo al realizar este criterio para dar prioridad al nivel principal de profundidad.



Fig. 16. Imagen original



Fig. 17. Imagen invertida.

Podemos observar como las componentes de mayor nivel corresponden a la parte que se considera, a nivel de información espacial, interesantes, el elemento que sobresale. Este ejemplo en concreto es muy ideal para exponer este caso, ya que hay mucho contraste entre la figura que sobresale y el fondo, hay imágenes en las que discernir qué está por delante de qué en un espacio es más complicado, hablamos separar los objetos del fondo, en nuestro caso umbralizaremos.

UMBRALIZACIÓN

La umbralización (similar a la binarización) es el método estándar para la diferenciación de un objeto del fondo (sin entrar en otros métodos como la estereovisión). Vamos a ver la operativa en varios casos. Esa operativa puede estandarizarse compaginándola con el proceso anterior de inversión.

A través del histograma obtenemos el número de píxeles por cada nivel de gris que aparece en una imagen.

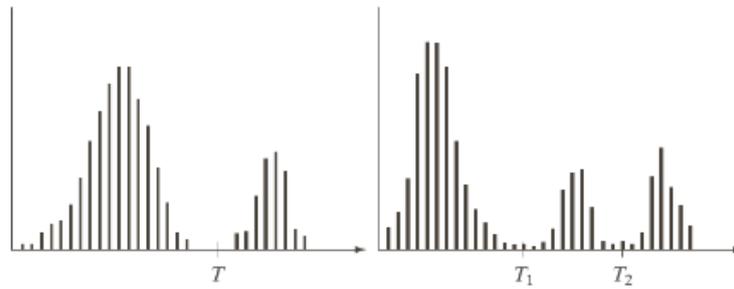


Fig. 18. Ejemplo de dispersión de valores en el histograma de una imagen. Elaboración propia a partir de diapositivas de la asignatura de tratamiento de imagen en la UPV.

Vamos a distinguir varios casos:

- En caso de tener un objeto claro sobre un fondo oscuro o viceversa. En este caso basta con elegir un valor umbral dentro de los grises, generando un desnivel en el histograma. Los niveles de grises menores al umbral se consideran negros y los mayores blancos. Éste es el caso más sencillo:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{Si } f(x, y) > T \\ 0, & \text{Si } f(x, y) \leq T \end{cases}$$

- En caso de tener dos objetos claros sobre un fondo oscuro vamos creando más intersecciones en el histograma:

$$f(x) = \begin{cases} a, & \text{si } f(x, y) < T_2 \\ b, & \text{si } T_1 < f(x, y) \leq T_2 \\ c, & \text{si } f(x, y) \geq T_1 \end{cases}$$

Si los niveles de intensidad de los objetos y del fondo son suficientemente distintos es posible segmentar usando un umbral aplicable a toda la imagen.

Aquí vamos a ver el ejemplo en una imagen típica muy utilizada en el tratamiento de imagen, “cameraman”, por exponer este proceso en una imagen “genérica” en este campo. Esta imagen es muy utilizada por su composición, ya que posee varios planos de fondo, más adelante retomaremos esta imagen para resaltar elementos.



Fig. 19. Imagen original "Cameraman", utilizada comúnmente para en el tratamiento de imagen.



Fig.20. Imagen "Cameraman" umbralizada

Volviendo al ejemplo del gato (por continuar el proceso con la imagen del comienzo) obtenemos grandes resultados, ya que es una foto, intencionadamente por la composición, idónea para este propósito.



Fig. 21. Imagen original

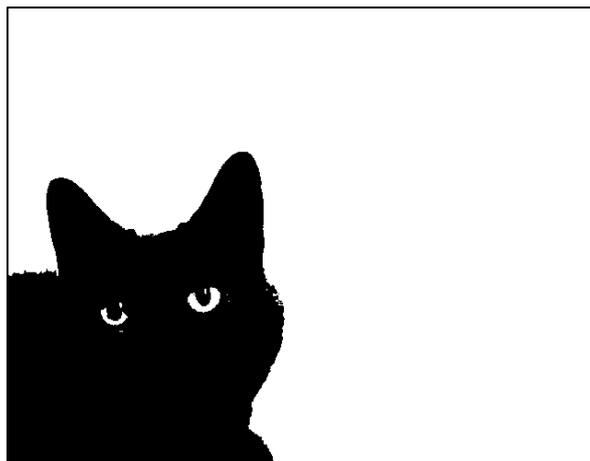


Fig. 22. Imagen umbralizada

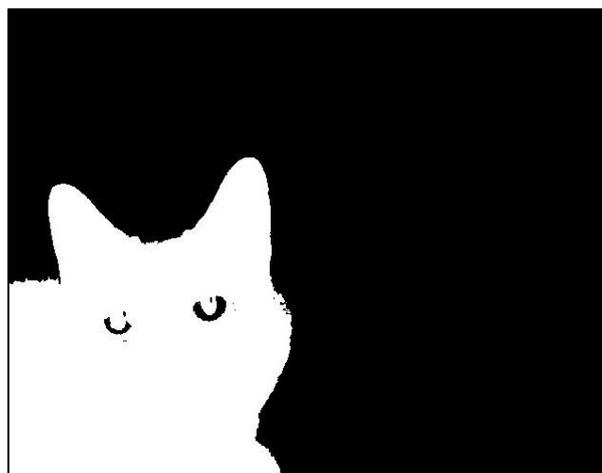


Fig. 23. Imagen invertida umbralizada

Para detectar el umbral adecuado automáticamente tenemos los siguientes métodos:

- El algoritmo iterativo ISODATA, en el que en primer lugar estimaremos un valor inicial T , segmentaremos la imagen con ese valor y calcularemos la media de intensidad m_1 y m_2 y de los dos grupos resultantes, calculamos un nuevo valor de umbral mediante la media de las dos intensidades, $T = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)$, y repetimos los pasos hasta que la diferencia entre los valores de T en sucesivas iteraciones sea más pequeña que el parámetro definido.
- El método de los dos picos. Si el histograma tiene dos picos, el valor umbral más apropiado suele ser el menor valor entre los dos picos. Encontrar el umbral consiste en encontrar los dos picos más altos y el menor valor entre estos. Pocos instantes después de implementar el proceso uno se da cuenta de que el primer pico es sencillo (nivel de gris en el histograma con mayor valor) pero el segundo es más complicado puesto que el valor más grande puede ser el que está más a la derecha del mayor (en lugar de ser el segundo pico). Una forma de simplificar el proceso de localización del segundo pico es multiplicar los valores del histograma por el cuadrado de la distancia del primer pico y tomar el máximo :

$$\max[(nivel_{gris} - gris_{maxprimerpico})^2 * h(nivel_{gris})], 0 \leq nivel_{gris} \leq 255$$

También tenemos el método Otsu, en honor a Nobuyuki Otsu, el cual utiliza la varianza (una medida de la dispersión de los niveles de gris) para calcular el umbral de forma que la dispersión dentro de cada clase sea lo más pequeña y al mismo tiempo la más alta posible entre clases diferentes. Tendríamos umbralización múltiple. Hay que tener cuidado con el ruido.

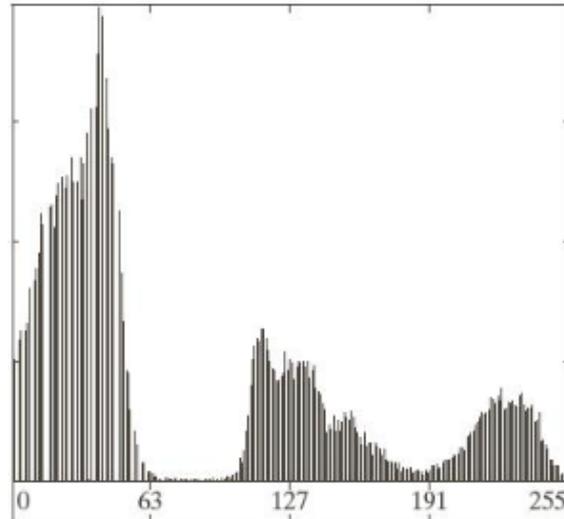


Fig. 24. Ejemplo de caso de umbralización múltiple en un histograma. Elaboración propia a partir de diapositivas de la asignatura de tratamiento de imagen en la UPV.

Para casos concretos como por ejemplo la detención de obstáculos, podemos ayudar a la interpretación de una imagen marcando parámetros a estudiar con distintivos de control (de la misma manera que facilitamos la segmentación con un croma).

REDUCCIÓN DE NIVELES DE CUANTIZACIÓN

Con el objeto de reducir el número de datos, se realiza una reducción de los niveles de cuantización, minimizando la intensidad de los niveles de grises.

MORFOLOGÍA MATEMÁTICA

Con morfología matemática podemos simplificar las imágenes y conservar las principales características de los objetos, basándonos en su geometría y forma. Esta herramienta es muy utilizada para la inspección de maquinaria y piezas.

La palabra morfología indica normalmente una rama de la biología que trata de la forma y estructura de animales y plantas. Utilizamos aquí la misma palabra en el contexto de morfología matemática como una herramienta para extraer componentes de una imagen que sean útiles en la representación y descripción de la forma de una región, tales como contornos, esqueletos y cerco convexo.

En imágenes binarias, la morfología matemática consiste en añadir o quitar píxeles de una imagen en función de reglas lógicas que cumplan píxeles vecinos. El lenguaje de la morfología matemática es la teoría de conjuntos. Los conjuntos en la morfología matemática representan las formas de los objetos de una imagen. Por ejemplo, el conjunto de todos los píxeles negros de una imagen binaria es una descripción completa de ella. En imágenes binarias, los conjuntos en cuestión son miembros del espacio bidimensional entero Z^2 , donde cada elemento de un conjunto es una tupla (vector bidimensional) cuyas coordenadas son las coordenadas (x,y) de un píxel negro (por convención) de una imagen. Las imágenes digitales de escala de grises se pueden representar como conjuntos cuyos componentes están en Z^3 . En este caso, dos componentes de cada elemento del conjunto hacen referencia a las coordenadas de un píxel, y el tercero corresponde a su valor de intensidad discreta.

El orden de las operaciones de morfología no es conmutativa, genera diferentes resultados puesto que modificamos la información en cada iteración por lo que para obtener un resultado óptimo tenemos que elaborar una correcta operativa que es dependiente del caso en concreto que tratemos, con lo que estandarizar estos algoritmos suele ser complejo sin el contexto. Algunas aplicaciones de cierre y apertura (combinación de dilataciones y erosiones, posteriormente se exponen estos procesos) son idóneos para por ejemplo, eliminar el ruido de sal y pimienta.

La erosión y la dilatación también se pueden aplicar al procesado mediante máscaras. La erosión elimina el píxel central, si falta algún píxel dentro de la máscara y la dilatación añade el píxel central, si hay algún píxel dentro de la máscara.

Para visualizar el resultado vamos a trabajar con una imagen que representa una pieza en la cual, en base a su geometría característica, podemos apreciar este proceso de una manera bastante sencilla. La imagen de referencia es la siguiente:



Fig. 25. Imagen de pieza de referencia original, modelo en el que nos basaremos para aplicar Morfología Matemática, inspirada en modelos de ejemplos extraídos de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA. Apréciase que las figuras no son exactamente iguales, no sólo por su composición, sino por ejemplo en altura, rasgo que se mantendrá durante todos los ejemplos morfológicos.

DILATACIÓN

Partiendo de A y B como conjuntos de \mathbb{Z}^2 y \emptyset representando al conjunto vacío, la dilatación de A por B , representada por $A \oplus B$, se define como:

$$A \oplus B = \{Z | (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\}$$

El proceso de dilatación consiste en obtener la reflexión de B sobre su origen y después cambiar esta reflexión por x . La dilatación de A por B es entonces el conjunto de todos los desplazamientos x tales que B y A se solapan en al menos un elemento distinto de cero.

La siguiente figura muestra a la izquierda un conjunto simple, y la figura central muestra un elemento de estructura y su reflexión. En este caso el elemento de estructura y su reflexión son iguales porque B es simétrico con respecto a su origen.

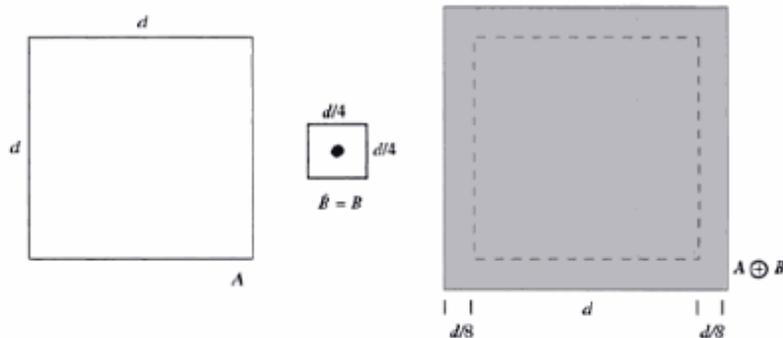


Fig.26. Ejemplo proceso dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.

La línea de puntos de la figura de la derecha muestra el conjunto original como referencia, y la línea continua señala el límite más allá del cual los desplazamientos del origen por x harían que la intersección de B y A estuviera vacía. Por tanto, todos los puntos interiores de este contorno constituyen la dilatación de A por B .

La siguiente figura de la izquierda muestra un elemento de estructura diseñado para obtener más dilatación vertical que horizontal. La figura de la derecha muestra la dilatación conseguida con este elemento.

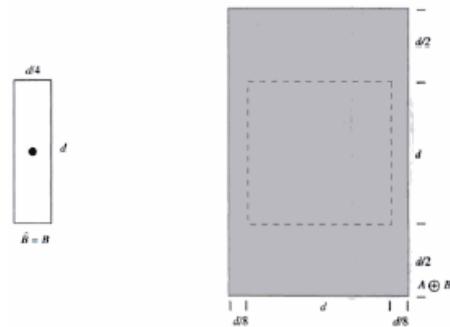


Fig.27. Ejemplo proceso 2 dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.

La siguiente figura de la izquierda muestra un elemento de estructura prolongado, y la figura de la derecha la erosión de A por este elemento. Obsérvese que el conjunto original fue erosionado hasta quedar en una línea.

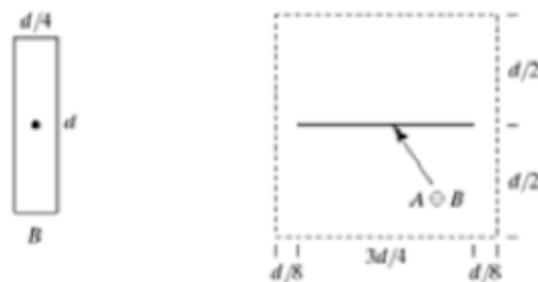


Fig. 28. Ejemplo proceso 3 dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.

El resultado de aplicar reiteradamente la dilatación sobre la imagen de referencia propuesta genera (comparándola con la original) que desaparezca la apertura de la pieza de la derecha y se reduzca la separación entre las piezas, se produce un acercamiento. Por otro lado también se aprecia que se estrecha la apertura de la pieza de la izquierda.



Fig. 29. Figura de pieza de referencia dilatada.

EROSIÓN

Partiendo de los conjuntos A y B de Z^2 , la erosión de A por B, representada por $A \ominus B$, se define como:

$$A \ominus B = \{Z | (\bar{B})_z \subseteq A\}$$

La erosión de A por B es el conjunto de todos los puntos x tales que B trasladado por x, está contenido en A.

Se muestra un proceso similar al visto en las figuras del apartado anterior. Como antes, el conjunto A se muestra como una línea de trazos como referencia en la figura de la derecha. En ella, la línea continua muestra el límite más allá del cual un desplazamiento del origen de B haría que este conjunto dejase de estar completamente contenido en A. Por ello, el lugar geométrico de los puntos interiores de este contorno constituye la erosión de A por B.

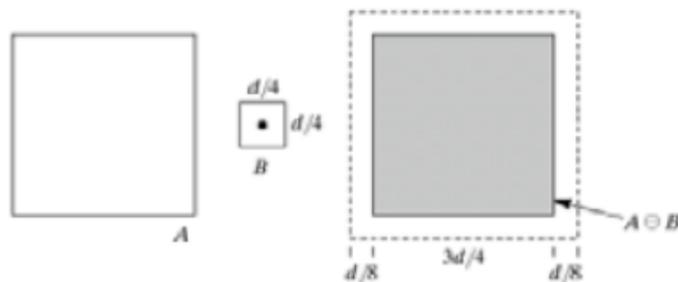


Fig.30. Ejemplo proceso erosión. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.

La siguiente figura de la izquierda muestra un elemento de estructura prolongado, y la figura de la derecha la erosión de A por este elemento. Obsérvese que el conjunto original fue erosionado hasta quedar en una línea.

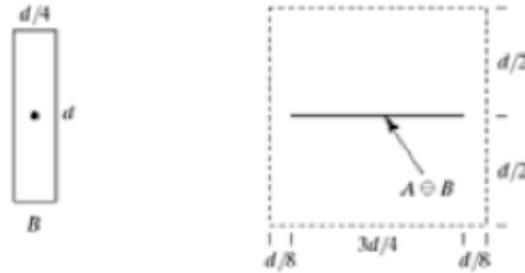


Fig. 31. Ejemplo proceso erosión 2. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.

Volviendo al caso de nuestro ejemplo, podemos ver que aplicando varias erosiones conseguimos separar las dos piezas de la parte que las dejaba conectadas anteriormente y respecto a los dos elementos separados, se aprecia que hemos conseguido “abrirlos” por los huecos, espacializando esos huecos.



Fig. 32. Figura de pieza de referencia erosionada

APERTURA

Hemos podido ver que la dilatación expande una imagen y la erosión la contrae. En esta sección y la siguiente se tratarán otras dos importantes operaciones morfológicas: la apertura y el cierre.

La apertura generalmente suaviza el contorno de una imagen, rompe istmos estrechos y elimina protuberancias delgadas.

La apertura de un conjunto A por un elemento de estructura B, se define como la erosión de A por B, seguida por una dilatación del resultado por B:

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$$

A continuación se ilustra la apertura y cierre de un conjunto A con un elemento de estructura de forma de disco. La primera imagen muestra el conjunto, y la figura inferior izquierda varias posiciones del elemento de estructura de disco durante el proceso de erosión, el cual, una vez acabado, produce una figura disjunta que se muestra en la figura inferior derecha. Obsérvese la eliminación del puente entre las dos secciones principales.

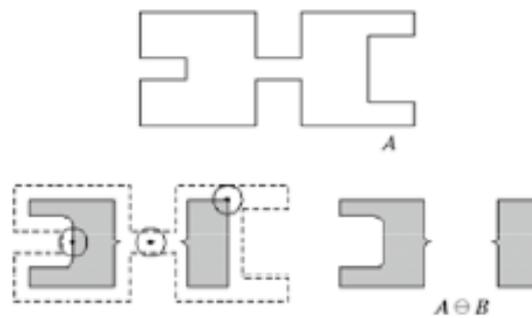


Fig. 33. Proceso apertura 1. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.

La figura de la izquierda muestra el proceso de dilatar el conjunto erosionado, y la figura de la derecha el resultado final de la apertura.

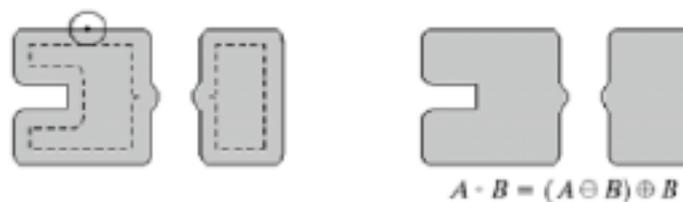


Fig. 34. Proceso apertura 2. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.

En nuestra imagen propuesta de la pieza vemos como el proceso de apertura separa las figuras y posteriormente dilata la parte que se ha comido, con lo que junta las piezas pero no las deja unidas por ningún elemento.



Fig. 35. Figura de pieza de referencia con apertura.

CIERRE

El cierre (al igual que la apertura) también tiende a suavizar secciones de contornos pero, en oposición a la apertura, generalmente fusiona separaciones estrechas y entrantes delgados y profundos, elimina pequeños huecos y rellena agujeros del contorno.

El cierre de un conjunto A por el elemento de estructura B , se define como la dilatación de A por B , seguida por la erosión del resultado por B :

$$A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$$

Las figuras siguientes muestran el resultado del cierre de A con el mismo elemento de estructura. El resultado fue la eliminación del pequeño hueco (respecto a B) a la izquierda del objeto. Obsérvese también el suavizado que se originó en algunas partes del objeto debido a la apertura y cierre del conjunto A con un elemento de estructura circular.

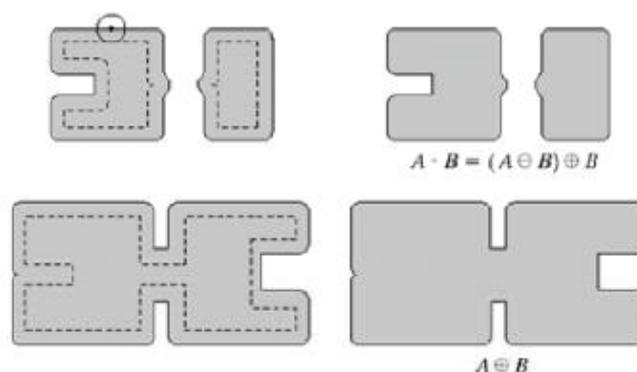


Fig.36. Proceso cierre. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.

Aplicando el cierre a la figura de ejemplo podemos ver como se elimina el hueco de la figura de la derecha y como se separan entre sí pero quedando enganchadas, unidas, entre ellas.

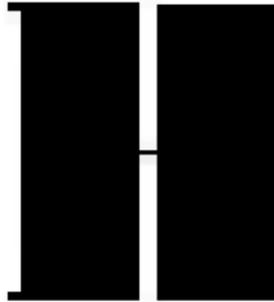


Fig. 37. Figura de referencia con cierre.

Concluyendo todo el proceso de Morfología Matemática, retomamos el ejemplo del cameraman, que fue umbralizado, al que ahora hemos sometido a un proceso de final para poder separar niveles de profundidad en la imagen, podemos ver como en el primer proceso de morfología ya no aparece la torre de control del fondo de la imagen pese a que aún prevalece la fina silueta del trípode.



Fig. 38. Cameraman proceso de Morfología Matemática 1

En el siguiente proceso de iteraciones morfológicas degradamos más aún la imagen pudiendo percibir casi la silueta del hombre como elemento aislado.



Fig. 39. Cameraman proceso de Morfología Matemática 2.

FILTRADO

Con el filtrado podemos resaltar rasgos lineales transformando los píxeles de la imagen. La metodología sería multiplicar cada píxel por el valor correspondiente en el filtro (a través de una ventana), el resultado se sumaría y el valor resultante sustituye al valor de la intensidad en el píxel central.

Por ejemplo, con un filtrado paso Alto resaltamos las diferencias y bordes y con un filtrado paso Bajo homogeneizaríamos la imagen. La segmentación basada en la detección de bordes agrupa un gran número de técnicas. Los bordes marcan donde se

producen las discontinuidades en los niveles de gris. Dentro de la metodología de detectar objetos en una imagen interesa encontrar las fronteras entre los objetos y el fondo para diferenciar distintos tipos de objetos. Uno de los filtros más utilizados con aproximación al gradiente es el filtro Sobel. Aquí tenemos un ejemplo de ese filtrado:

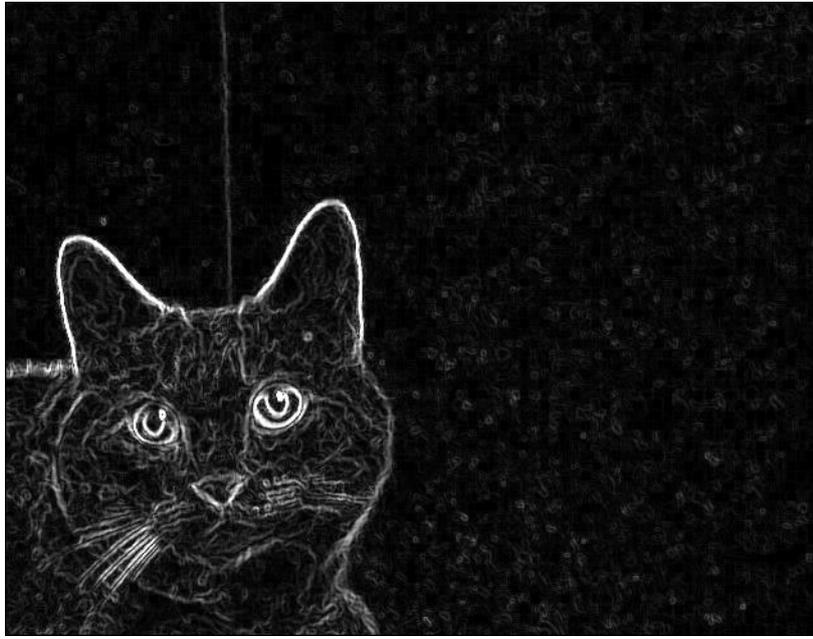


Fig.40. Imagen filtrada Sobel.



Fig. 41. Imagen Filtrada Sobel anterior y posteriormente Dilatada.

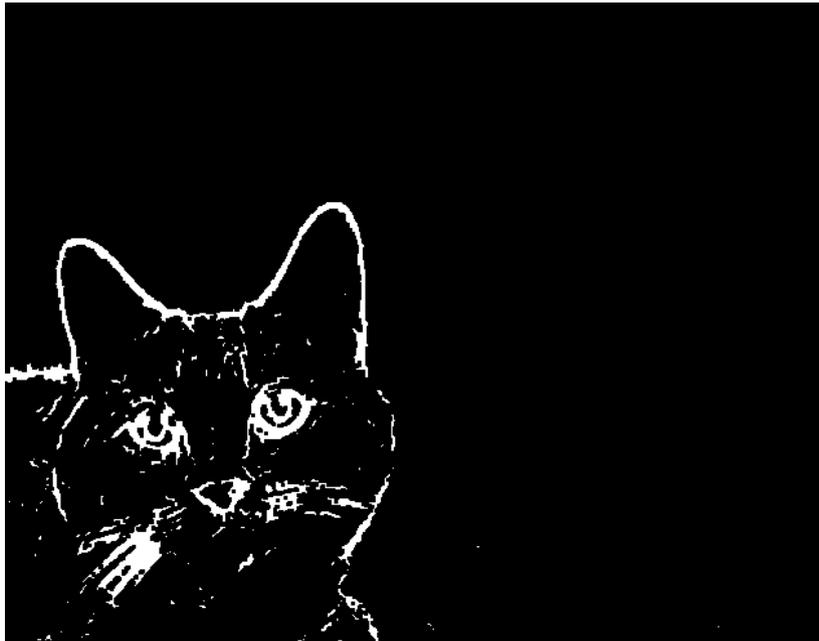


Fig. 42. Imagen anterior filtrada Sobel y dilatada ahora erosionada (es decir, se ha realizado una apertura).

Se ha utilizado otra vez la imagen del gato para mostrar la evolución y puesto que resulta un elemento de bordes, con curvas, no lineal, por ejemplo, si quisiéramos reconocer unas siluetas de un control industrial, bastaría con delimitar con cinta de color los bordes, con lo que, aparte de ser una geometría indiscutiblemente más plana que la que pueda tener un gato, reduciríamos enormemente el proceso de contextualización, ya que como expliqué, no tiene sentido segmentar imágenes que no tienen conexión entre ellas (básicamente porque no podremos encontrar una correlación entre resultados, al menos evidente, al escuchar los resultados).

Dentro de los filtros paso bajo, de suavizado, tenemos recursos que nos permiten reducir el ruido o efectos que se presentan en la imagen (generalmente en el proceso de captura, digitalización o transmisión). Es conveniente utilizarlos previamente a un filtrado Sobel, como he mencionado anteriormente el orden es importante.

Con filtros paso bajo suprimimos rangos de frecuencias altos, lo cual implica el emborronamiento de las características asociadas con las altas frecuencias (ruido y saltos).

El filtrado de mediana por ejemplo, sustituimos el valor de un píxel por el de la media del conjunto del mismo y sus vecinos. En un filtrado Gaussiano utilizamos una

desviación típica y una media en el cual la convolución por la señal resulta un promediado con distintos pesos de los valores vecinos a ambos lados del punto, un suavizado. La desviación es importante puesto que controla el grado de suavizado. Aquí tenemos un ejemplo:



Fig. 43. Imagen suavizado. Podemos observar el efecto de suavizado producido por el filtrado Gaussiano.

MÁSCARA

En esta parte simplemente exponemos el resultado de la operativa de tratamiento de imagen como molde para sonificar. Es un paso que sirve para confirmar que la imagen cumple con el propósito que queremos darle antes de avanzar. Desde una imagen binarizada a una imagen en escala de grises compararemos los resultados. El proceso de binarización se considera importante al empezar a estudiar los resultados de sonificación ya que proporciona un resultado más intuitivo (por el contraste obvio que se genera en el sonido), si no estamos acostumbrados a la técnica y pretendemos al principio sonificar una imagen con mucho contenido, compleja en cambios, obtendremos un resultado que pese a estar bien, puede resultar confuso y , sin entrar en matices pero incluso molesto, debido a una dispersión difusa de información, ya que información más homogénea permite un sonido más uniforme.

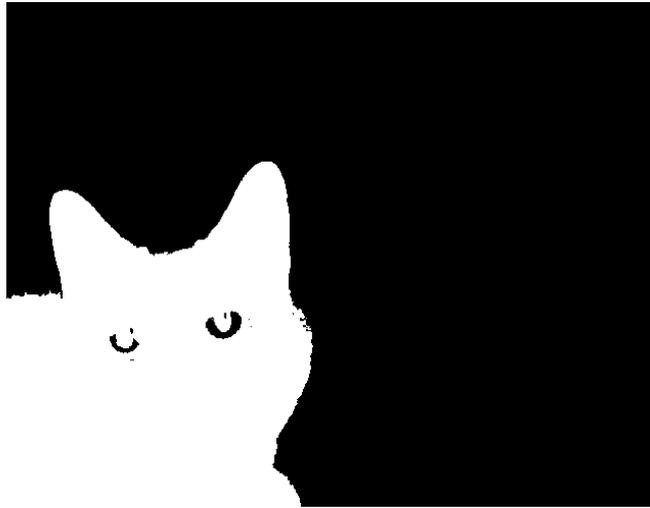


Fig. 44. Imagen de referencia ideal para máscara.

Imágenes como ésta, pese a haber sido bastante simplificadas, es cierto que generan información dexcontextualizada a la hora de delimitar objetos, como pueden ser los ojos del gato, pero realmente, a la hora de sonificar, no se aprecian notables cambios, debido en parte a la superposición de osciladores en el barrido, ya que a nivel audible resulta perceptible pero despreciable en cuanto a contenido. Es realmente interesante y sería buen objeto de debate el hecho de que cuando más se simplifica (y degrada) la imagen mejor contextualiza el mapeo.

Para una vista general del proceso entero, vamos a mostrar el proceso descompuesto para dos imágenes.

Muchas imágenes pierden el sentido visual a veces al ser tratadas, al principio vemos gato y al final posiblemente no entenderíamos qué estamos viendo si no sabemos de dónde procede, pero esto sucede porque estamos interpretando visualmente lo que pasa pero a la hora de sonificar, dentro de unos matices, cuanto más simplificado esté todo más fácil es de intuir lo que pasa, como veremos posteriormente, en la superposición de osciladores, pequeñas variaciones que se producen al superponerse en el sonido aluden a confusión.

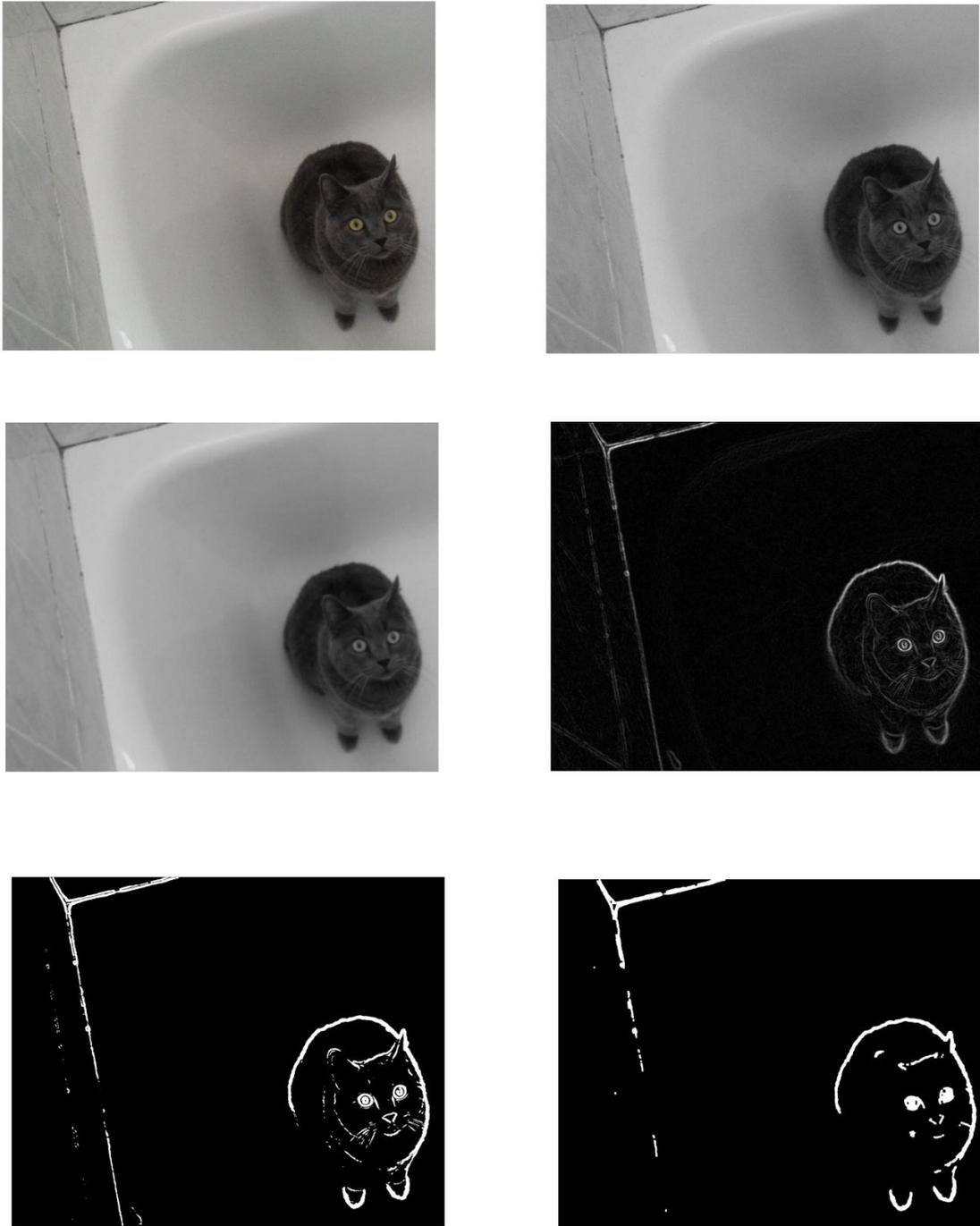


Fig. 45. Proceso general de tratamiento sobre imagen 1.



Imagen original



Imagen escala grises



Imagen suavizado Gauss



Imagen suavizada Binarizada



Imagen suavizada Binarizada con Morfología Matemática



Imagen invertida para cambiar el criterio de sonificación
(ya que la información a representar es la persona/objeto)

Fig. 45. Proceso general de tratamiento sobre imagen 2.

En los resultados finales de sonificación mapping, a parte de las imágenes como tal, para empezar, se han generado imágenes tipo Test, mera geometría situada en puntos específicos para evaluar el proceso de sonificación, ya que así podremos verificar mejor si el resultado es coherente. Esta aclaración viene en base a que al empezar el proyecto, erroneamente decidí saltar algunas recomendaciones y quise, puede que por poca paciencia, sonificar imágenes directamente, algunas incluso de alto contenido en

información y ahora, tras la experiencia en este proyecto, puedo confirmar que la simplificación en este proceso no es un capricho, es bastante determinante y éste no es el objeto que persigue esta técnica, por eso es importante la parte del tratamiento de imagen previo.

5.2.2. SONIDO (OSCILADORES)

Ahora vamos a realizar el proceso más importante del segundo diseño, la transformación de la información visual en sonido. Para la generación de sonido podríamos utilizar diversos programas más sencillos (usando como lenguaje Csound por ejemplo, aparte libre) pero, con el fin de centrar el diseño en una sola herramienta y que no parezca que el diseño sufre una descentralización que aluda a confusión o mal planteamiento a la hora de enfocar el proyecto, ya que en los otros diseños se utilizaban también en distintos programas (Supercollider, Pd, MAX/MSP) pero es que resulta que cada simulación está dentro de una metodología distinta, y realmente, el tratamiento de imagen, personalmente, era indiscutible realizarlo sin Matlab, por lo que también en base a que el proceso pretende ser una simulación para visualizar el potencial de modelos, basándonos en el proceso de programación como una herramienta y no con un fin comercial de producto, para investigar, se realizará también con Matlab.

Puede que no parezca muy “sonado” el uso de osciladores en Matlab (me refiero al uso que le vamos a dar para este proyecto) pero realmente están ahí y cumplen, junto con la posibilidad de almacenar y distribuir/modificar la información almacenada en vectores a nuestro antojo.

Vamos a empezar comentando las posibilidades que ofrece Matlab, la operativa con osciladores y el almacenamiento de estos datos en ficheros WAV o la descomposición de estos en uno o dos vectores (par estéreo).

Sea una señal:

$$X(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot t + \varphi)$$

Siendo,

A: Amplitud

F_0 : frecuencia

φ : Fase

Por lo que, la representación de esta señal en tiempo discreto, sería:

$$X_d[n] = x(n \cdot Ts) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot n \cdot Ts + \varphi)$$

Siendo,

$$Fs = 1/Ts$$

Para escuchar el tono en Matlab simplemente utilizaremos el comando “sound(x,Fs)”. Por lo que, por ejemplo, una manera de cambiar la velocidad haciéndola lenta podría ser con “sound(xt,fs/2)” o rápida con “sound(xt,fs*2)”.

Un ejemplo de lo que sería el proceso genérico para trabajar con un oscilador podría ser:

```

fs = 8000;

%% Generamos valores de tiempos de 0 a T segundos a la velocidad deseada, en este
caso 2 segundos

T = 2; % 2 segundos de duración

t = 0:(1/fs):T;

%%Generamos una onda sinusoidal a la frecuencia deseada

f = 130.81;

a = 0.5;

phi=pi/4;

y = a*sin(2*pi*f*t+phi);

sound(y, fs)

```

El parámetro relacionado con el volumen será la amplitud a, 1 da la máxima amplitud y 0 la mínima.

Queda claro, pero no viene mal comentar, que no hay que subir la frecuencia por encima del valor crítico fs/2, porque en ese caso se produciría aliasing (la frecuencia de muestreo no es suficiente para capturar esas frecuencias) y la frecuencia aparente bajará en lugar de subir.

En música las notas de la escala utilizada corresponden a frecuencias concretas, (por ejemplo 440 Hz corresponde a la nota LA).

Note name	Keyboard	Frequency Hz	Period ms
A0		27.500	36.36
B0		30.868	29.135
C1		32.703	32.40
D1		36.708	34.648
E1		41.203	38.891
F1		43.654	27.24
G1		48.999	28.86
A1		55.000	24.27
B1		61.735	25.71
C2		65.406	22.91
D2		73.416	20.41
E2		82.407	21.62
F2		87.307	18.18
G2		97.999	19.26
A2		110.00	16.20
B2		123.47	15.29
C3		130.81	13.62
D3		146.83	12.13
E3		164.81	11.45
F3		174.61	10.20
G3		196.00	9.631
A3		220.00	8.099
B3		246.94	7.645
C4		261.63	3.822
D4		293.67	3.405
E4		329.63	3.608
F4		349.23	3.034
G4		392.00	2.863
A4		440.00	2.51
B4		493.88	2.703
C5		523.25	2.273
D5		587.33	2.408
E5		659.26	2.025
F5		698.46	2.145
G5		783.99	1.910
A5		880.00	1.703
B5		987.77	1.804
C6		1046.5	1.517
D6		1174.7	1.432
E6		1318.5	1.276
F6		1396.9	1.351
G6		1568.0	1.204
A6		1760.0	1.136
B6		1975.5	1.073
C7		2093.0	0.9556
D7		2349.3	0.8513
E7		2637.0	0.9020
F7		2793.0	0.7584
G7		3136.0	0.8034
A7		3520.0	0.7159
B7		3951.1	0.6378
C8	J. WoIs, UNSW	4186.0	0.6757
			0.6020
			0.5682
			0.5363
			0.4778
			0.4510
			0.4018
			0.3580
			0.3378
			0.3010
			0.2681
			0.2389

Fig. 47. Frecuencias correspondientes a notas de la escala musical y posiciones en piano. Extraída y recortada de los apuntes de la asignatura de Síntesis Digital del Sonido de la UA.

Para grabar una señal audible mediante la tarjeta de sonido y un micrófono se utilizan los siguientes comandos:

- r=audiorecorder: Crea un objeto de grabación.
- record(r): Inicio de grabación.
- pause(r),stop(r): Pausa y finalización.
- play(r): Escuchar la grabación
- y=getaudiodata(r): Para obtener la matriz que contiene las muestras de la señal audible. Ésta es la señal que se puede procesar.
- Fs=r.SampleRate: Para obtener la frecuencia de muestreo

Para leer un archivo de audio en formato WAV se utiliza la siguiente función:

```
[xt,Fs]=waverad('nombre_del_archivo_en_el_directorio');
```

Se guardan las muestras y la frecuencia de muestreo en `xt` y `Fs` respectivamente, generando un vector de dos columnas. Esto viene bien para, por ejemplo, hacer el balance estero, accedemos a las posiciones izquierda(`a=ejemplo(:,1);`) o derecha(`b=ejemplo(:,2);`) y simplemente montamos el sonido en mono (`sound(a,fs)` o `sound(b,fs)`) o estéreo (`sound(ejemplo,fs)`).

Podemos medir la longitud con “`length`” y podemos, por ejemplo, calcular cuánto es en tiempo, con la frecuencia de muestreo (por ejemplo un CD 44,1 kHz) podemos calcular la duración haciendo una mera división entre la longitud y la frecuencia de muestreo.

La operativa con los osciladores se divide en:

- PITCH
 - DISTRIBUCIÓN FRECUENCIAS
- AMPLITUD (INTENSIDAD)
- STEREO PANNING (PATRÓN VISUAL)

PITCH (OPERATIVA CON LOS OSCILADORES)

Siendo muy directos, esta es la parte en la que vamos a poder percibir la ORIENTACIÓN VERTICAL de una imagen, pero vamos a empezar hablando del concepto de la altura.

La altura (`pitch` en inglés) es la cualidad que diferencia un sonido agudo de un sonido grave. Depende de la frecuencia del sonido, que es la que determina el nombre de las notas. Se trata de una de las cuatro cualidades esenciales del sonido junto con la duración, la intensidad y el timbre. En psicoacústica la altura es un parámetro utilizado para determinar la percepción del tono (frecuencia) de un sonido. Cuanto más alta sea la frecuencia de la onda sonora, mayor será la altura del sonido (más agudo será).

El umbral inferior del oído humano se encuentra entre los 16 y 20 Hz, y el superior entre los 16.000 a 20.000 Hz (según el oído de cada persona). Sonidos que se encuentran por debajo del umbral inferior o por encima del superior no son registrados por el oído, debido a limitaciones naturales del aparato auditivo humano.

Por lo que, volviendo a nuestro objetivo, para producir el efecto de orientación vertical vamos a distribuir en la primera columna y posteriores, una referencia de frecuencias que irán de la más alta a la más baja descendiendo (sea una imagen NxN, desde la posición inicial sería de 0 a N-1), de más agudo a más grave. Con esto dotaremos a la parte superior de la imagen con las frecuencias más altas y la inferior con las más bajas. Cada frecuencia se asocia a un oscilador al cual le multiplica una amplitud en función del valor del píxel (ponderando de 0 a 1), con lo que le daremos más o menos protagonismo en función a la intensidad (aquí estaríamos hablando del siguiente apartado, la intensidad).

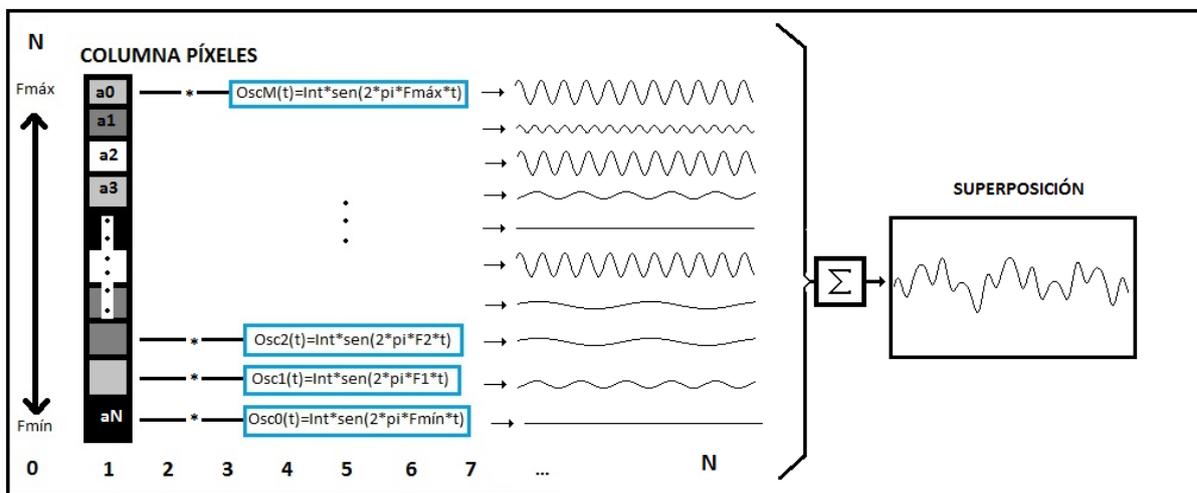


Fig.48. Esquema del procedimiento de asignación del oscilador a cada píxel en el cual en función de su posición se le asigna una frecuencia y en función a su intensidad de píxel se multiplicará por una amplitud. Elaboración propia.

Digamos que la función que resulta para una columna de la imagen se puede expresar como la suma de los osciladores de cada uno de los píxeles, siendo la función sinusoidal utilizada para la generación de la onda correspondiente de cada píxel del tipo: $Onda(t) = A(Imag(y)) \cdot sen(\omega_y \cdot t)$, siendo la Onda el valor de la onda en cada instante t , A la amplitud dependiente del nivel de intensidad del píxel en la columna $Imag(y)$ y ω la frecuencia, dependiente de la altura del píxel y la columna y .

De manera genérica podríamos definir este proceso así:

$$Onda_{Total}(x, y) = \sum_{y=1}^N A(Imag_{x,y}) \cdot sen(\omega_y \cdot t)$$

Como se puede deducir, el acoplamiento de las operaciones correspondientes a las columnas para crear la sonificación de toda la imagen creará sonidos relativamente complejos y puede que incluso sin aparente sentido. Esta supuesta complejidad se incrementa notablemente con imágenes grandes, compuestas por multitud de niveles de gris y con detalles finos. De aquí se deduce la alta necesidad de procesar previamente la imagen original y simplificarla en base a las características generadoras del sonido, el número de niveles de gris de sus píxeles y el tamaño de la misma. Hemos visto posibilidades de detección de bordes (filtro Sobel), suavizados (como el filtro de Gauss) o reducción de resolución espacial, muy a tener en cuenta, en el anterior apartado de tratamiento de imagen.

En la simulación, partiendo del hecho de que se ha simplificado todo redimensionándolo forzosamente a una imagen de 100x100 y, realizando varias pruebas y en base a problemas de superposición, se ha concluido una distribución de 50 frecuencias, 1 por cada 2 píxeles.

A continuación vamos a ver distintas formas de distribuir las frecuencias por la imagen.

DISTRIBUCIÓN FRECUENCIAS

Como ya se ha comentado anteriormente, vamos a tener 50 frecuencias diferentes, ordenadas de mayor a menor (recuerdo que la imagen en Matlab empieza a generarse hace abajo), sobre un campo de 100 píxeles tocaría a 2 píxeles por frecuencia, ya que realmente no genera un mal resultado y tuve que encontrar una buena relación de compromiso con el proceso computacional, el cual a veces al sobrecargarlo genera problemas.

Inicialmente este proceso no empezó así, intuitivamente decidí enfocarlo generando ruido blanco (ya que posee todas las frecuencias), lo descomponía espectralmente ordenando el barrido frecuencial y troceaba el ancho de banda repartiendo equitativamente trozos del espectro sobre la columna de la imagen, en función de la máscara generada, iban pasando o no las partes y simulaba el efecto deseado pero se daban situaciones en las que no funcionaba bien en cambios bruscos o al amplificar y resultaba algo “pobre”, investigando finalmente encontré que la operativa de trabajo óptima de una sonificación mapping era el uso de osciladores también por su sencillez.

Pese a que somos sensibles a frecuencias desde los 20 Hz a los 20 kHz pero lo ideal para sonificar, basándonos en el método mapping, se considera centrarlo en 500 Hz y 5.000 Hz, puesto que cada oído es diferente y no tiene sentido forzar, hay que intentar buscar un campo en el que todos estemos a gusto y que tampoco resulte molesto escuchar variaciones porque, por ejemplo, si ampliamos mucho la diferencia entre una frecuencia y la siguiente (de manera equidistante, no confundir con las distribuciones temperadas, por ejemplo la distribución exponencial), se pierde la “continuidad progresiva” (que en caso de que no exista por la imagen, que sea porque esa imagen marca ese patrón y no que estemos todo el rato dando saltos) y puede afectar en la correlación de la estructura completa, aparte de que genera unos cambios realmente molestos, pese a poder pensar lo contrario a simple vista, no es para nada un tema arbitrario.

MÉTODO LINEAL

La distribución lineal es el proceso intuitivo más normal a la hora de plantearse este problema, consiste en una distribución equidistante. Como hemos dicho anteriormente, vamos a centrar la distribución entre 500 Hz y 5.000 Hz.

La distribución viene dada por la función:

$$f_i = f_{\text{más pequeña}} \cdot \left(\frac{f_{\text{más alta}}}{f_{\text{más baja}}} \right)^{\frac{(i-1)}{(N-1)}} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, N$$

Los resultados obtenidos en la distribución de frecuencias para el para el método lineal se incluyen en el Anexo.

MÉTODO EXPONENCIAL

El método exponencial correspondería a una distribución bien temperada, la distribución viene definida por:

$$f_i = f_{\text{más pequeña}} + (f_{\text{más alta}} - f_{\text{más baja}}) \cdot \frac{(i-1)}{(N-1)} \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, N$$

Los resultados obtenidos en la distribución de frecuencias para el para el método exponencial se incluyen en el Anexo.

MÉTODO COCLEAR

Esta distribución se origina en las mediciones de las bandas críticas, denominada Bark (Critical band rate).

Los sonidos son percibidos a través del aparato auditivo, el cual recibe las ondas sonoras, que son convertidas en movimientos de los osteocillos óticos y percibidas en el oído interno que a su vez las transmite mediante el sistema nervioso al cerebro.

Cuando un objeto (actuando como emisor de sonido) vibra, hace vibrar también al aire que se encuentra alrededor de él. Esa vibración se transmite a la distancia y hace vibrar (por resonancia) una membrana que hay en el interior del oído: el tímpano.

La vibración del tímpano provoca el movimiento de los tres huesecillos: martillo, yunque y estribo. Este último impacta sobre la cóclea o caracol, y en un pequeño órgano, que se encuentra aquí, se produce la codificación de esa vibración en información eléctrica.

Esta información se trasmite al cerebro por medio de las neuronas. El cerebro decodifica esa información y la convierte en una sensación denominada sonido. Dentro del oído, en el oído externo se captan y dirigen las ondas sonoras hasta el tímpano a través del orificio auditivo, en el oído medio las vibraciones generadas en el tímpano se amplifican y transmiten a través de unos huesecillos, denominados martillo, yunque y estribo, hasta el oído interno.

En el oído interno realiza la compleja conversión de las vibraciones en impulsos nerviosos. Desde aquí se transmiten las señales nerviosas hasta nuestro cerebro, que se encargará de descifrar y convertirlo en una sensación auditiva. En el oído interno encontramos la cóclea o caracol.

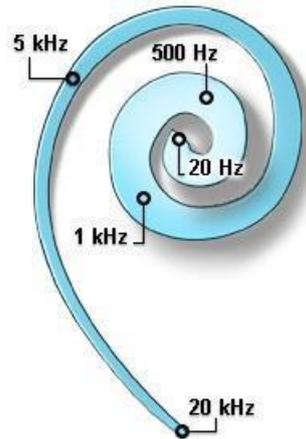


Fig. 49. Imagen distribución de frecuencias. Se observa cómo se amplía progresivamente la amplitud de la membrana basilar desde la base (20 kHz) hasta el ápex (20 Hz). Imagen obtenida a través del centro auditivo GAES.

Las bandas críticas son rangos de frecuencia dentro de los cuales un tono bloquea la percepción de otro tono. Ocurren porque una onda que estimula la membrana basilar perturba la membrana dentro de una pequeña área más allá del punto de primer contacto, excitando a los nervios de toda el área vecina. Por lo tanto, las frecuencias cercanas a la frecuencia original no tienen mucho efecto sobre la sensación de la fuerza del sonido, incluso doblando el volumen del sonido.

Esta distribución que utiliza la banda crítica fue propuesta por Eberhard Zwicker. Puede interpretarse como una medida para el mapeo tonotópico de la cóclea, utilizado en modelos simplificados cocleares que implican un banco de filtros discreto con algunos filtros y convenientes aproximaciones analíticas. El error es inferior a 0,05 para el intervalo frecuencial de 0.2 a 6.7kHz.

Vamos a despreciar las complejidades de la asignación tonotópica frente procesamiento temporal, que puede afectar aún más la elección de la escala de tono más adecuada en función de las características de paisajes sonoros.

La tasa viene dada por z_i , siendo el Critical band rate (Bark), $z_i = (26.81 / (1 + 1960 / f_{menor})) - 0.53$, si el resultado < 2 añadimos $0,15 * (2 - \text{resultado})$, si el resultado $> 20,1$ añadimos $0,22 * (\text{resultado} - 20,1)$.

Utilizando la misma distancia para un rango de frecuencias desde la más pequeña a la más grande con $z_i = z_l + (z_h - z_l) \cdot (i-1) / (N-1)$ para $i = 1, \dots, N$

Para convertir una frecuencia (Hz) en Bark (Critical band rate) usamos:

$$\text{Bark} = 13 \arctan(0,00076 f) + 3.5 \arctan\left(\left(\frac{f}{7500}\right)^2\right),$$

por lo que en Hz sería:

$$\text{Critical Bandwidth (Hz)} = 52548 / (z^2 - 52,56z + 690.39),$$

o también,

$$F = 600 * \sinh(z / 6)$$

Los resultados obtenidos en la distribución de frecuencias para el para el método coclear se incluyen en el Anexo.

MÉTODO MEL

En la investigación auditiva, a veces se utiliza la escala Mel. La distribución Mel deriva de la investigación perceptiva en la equidistancia subjetiva percibida en pasos de frecuencia.

Es una distribución de frecuencias destinada a ser perceptualmente equidistantes, en la frecuencia de referencia 1000 Hz el terreno debe corresponder a 1000 mels. No hay consenso completo todavía acerca de la definición exacta del valor del tono en mels como función de la frecuencia, pero si aproximaciones. Un conjunto correspondiente de frecuencias f_i tal que la expresión en particular sea $m_i = 1,000 \cdot \ln(1 + f_i / 700) / \ln(1 + 1000 / 700)$ cumple que, siendo f_i la nueva frecuencia en Hz, m_i sería la frecuencia Mel resultante, $m_i \approx 2,595 \cdot 10 \log(1 + f_i / 700)$.

La conclusión es que en frecuencias bajas, la escala Mel es casi lineal, mientras que para las frecuencias medias y altas se vuelve de naturaleza exponencial.

Los resultados obtenidos en la distribución de frecuencias para el para el método Mel se incluyen en el Anexo.

AMPLITUD

Ahora vamos a hablar de la INTENSIDAD en la imagen. La amplitud corresponde a la percepción subjetiva de la intensidad, hablando en términos de sonoridad. En este caso, como la amplitud vendrá en función de la intensidad del píxel ya no va a ser un parámetro subjetivo puesto que va a depender de la imagen en sí.

No tiene sentido utilizar todos los valores puesto que no vamos a distinguir una amplitud de 0,10 de una de 0,15. Utilizamos amplitudes de 0, 0,33 , 0,66 y 1. Se dividen entre 4 los 256 niveles de grises (de 0 a 255) con lo que de 0 a 64 se le asigna una amplitud de 0, de 64 a 128 se le asigna una amplitud de 0,33, de 128 a 192 se le asigna una amplitud de 0,66 y de 192 hasta el máximo,255, se considerará una amplitud total, 1. Hacemos de umbral con estas variables enlazando los condicionales.

En la siguiente imagen podemos observar un esquema basado en el utilizado anteriormente para la asignación de las frecuencias pero añadiendo en color naranja el proceso de ponderación de amplitudes para esos osciladores en función del umbral de intensidad que marca cada píxel.

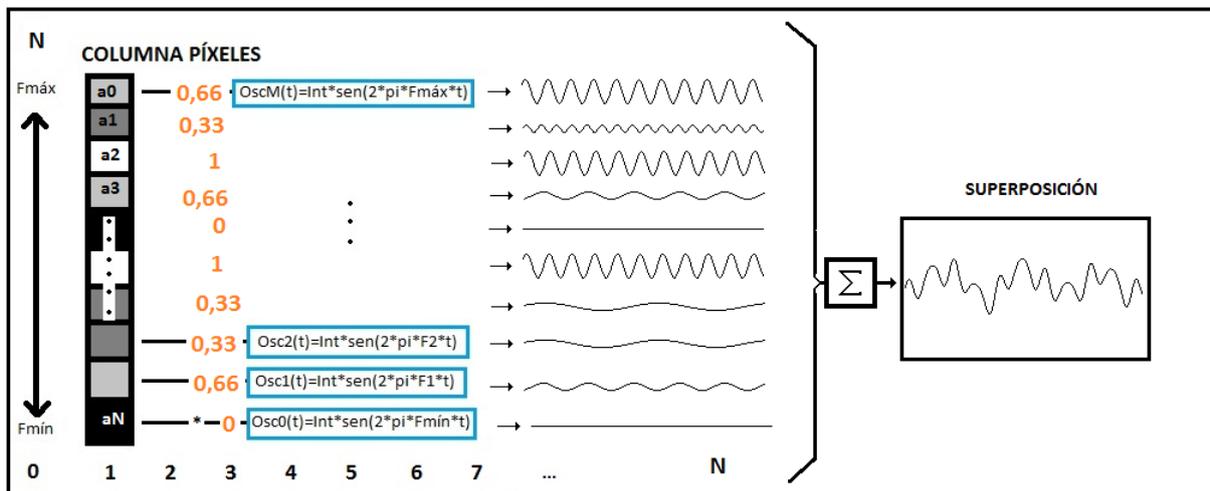


Fig.50. Esquema del procedimiento de asignación de la amplitud por la que se multiplicará cada oscilador en función del nivel de intensidad de cada píxel. Elaboración propia.

INTENSIDAD

Volviendo al mismo método que en el apartado anterior (Pith), la amplitud del oscilador del tipo $x(t)=A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot F_0 \cdot n \cdot T_s + \phi)$, correspondiente a cada oscilador de cada pixel de la imagen según la función Onda $(t)=A(\text{Imag}(y)) \cdot \text{sen}(\omega_y \cdot t)$, explicado en el apartado anterior, marcada como amplitud por el nivel de cada píxel, los cuales indican la intensidad de ese nivel de gris.

Vamos a darle más protagonismo a los niveles de grises más altos, vamos a resaltar las partes blancas y descartar las oscuras. Normalizamos los valores (puesto no tienen sentido valores de amplitudes distintos al rango de valores de 0 a 1).

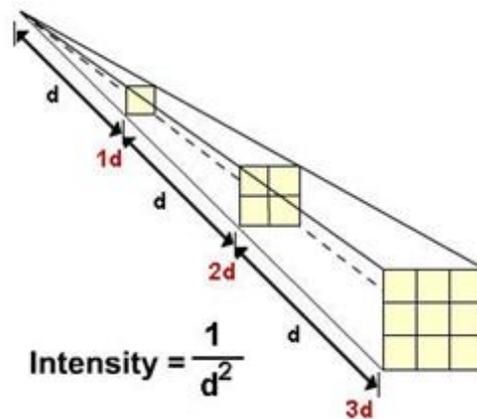


Fig. 51. Imagen que representa la ley de Newton Inverse Square, obtenida de la asignatura de Física I del grado en telecomunicaciones en imagen y sonido de la UA.

Puesto que la intensidad es inversa al cuadrado de la distancia, cuantas más agrupaciones de niveles de intensidad tengamos en la imagen al ir recorriéndolas mayor será la acumulación total, por lo que mantendríamos el mismo sonido si la intensidad fuese constante en ese punto.

STEREO PANNING (PATRÓN VISUAL)

Hablamos de la ORIENTACIÓN HORIZONTAL en una imagen. La escucha binaural es el parámetro (en realidad dos parámetros) que nos permiten la detección de la dirección (izquierda o derecha). El sonido resultante de los osciladores de procesos anteriores vamos a almacenarlo en un .WAV que posteriormente vamos a descomponer en Matlab en un vector y lo vamos a duplicar. Ahora tenemos lo que podríamos denominar un falso estéreo, el mismo sonido repetido por el canal izquierdo y el derecho.

Accedemos a las columnas izquierda o derecha con `left = sonido(:,1)` y `right = sonido(:,2)` respectivamente.

Como la imagen la estamos recorriendo de izquierda a derecha sabemos que, descomponiendo el sonido, el primer valor será máximo en el canal izquierdo y mínimo en el canal derecho y el último valor máximo en el canal derecho y mínimo en el izquierdo. El valor correspondiente a la mitad exacta del vector correspondería a la mitad del valor izquierdo y mitad del valor derecho.

Por lo que el vector correspondiente al canal izquierdo vamos a multiplicarlo punto por punto por otro vector (en Matlab multiplicaremos vector por columna trasponiendo el segundo vector) que ponderará decrecientemente (con la misma longitud de muestras del vector de audio, claro) del valor máximo al mínimo, sin llegar a desactivar los canales poniéndolos a 0 puesto que en la vida real, basándonos en el sistema auditivo, eso no sucede y el resultado resulta algo extraño.

Para el canal derecho realizamos el mismo proceso pero invirtiendo los valores, empezaremos en valores que fuesen los cercanos al 0 y terminaríamos en 1, pese a entender que el sistema auditivo es logarítmico, no lineal.

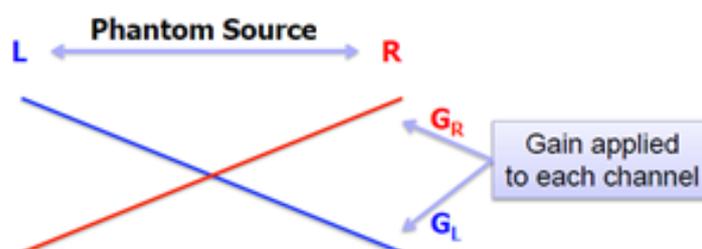


Fig. 52. Sistema de implementación del par estéreo mediante ganancias, $G_R + G_L = 1$. Imagen extraída de la asignatura TDA del grado en telecomunicaciones en imagen y sonido de la UA.

Posteriormente sólo queda juntar los dos vectores en un vector de dos columnas para realizar el estéreo.

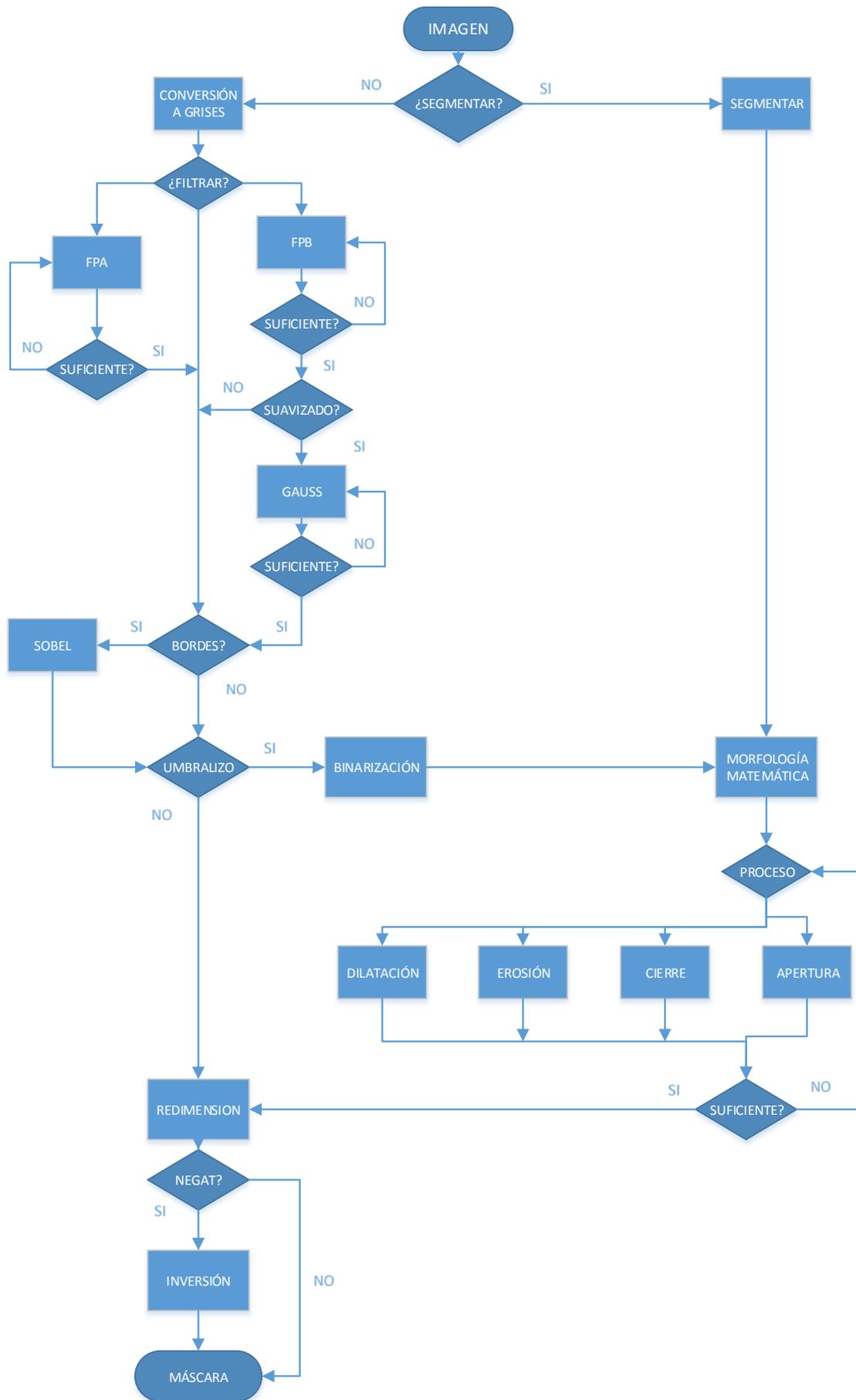
```
>> sound (left, fs); para mono, izquierdo, left = sonido(:,1)
```

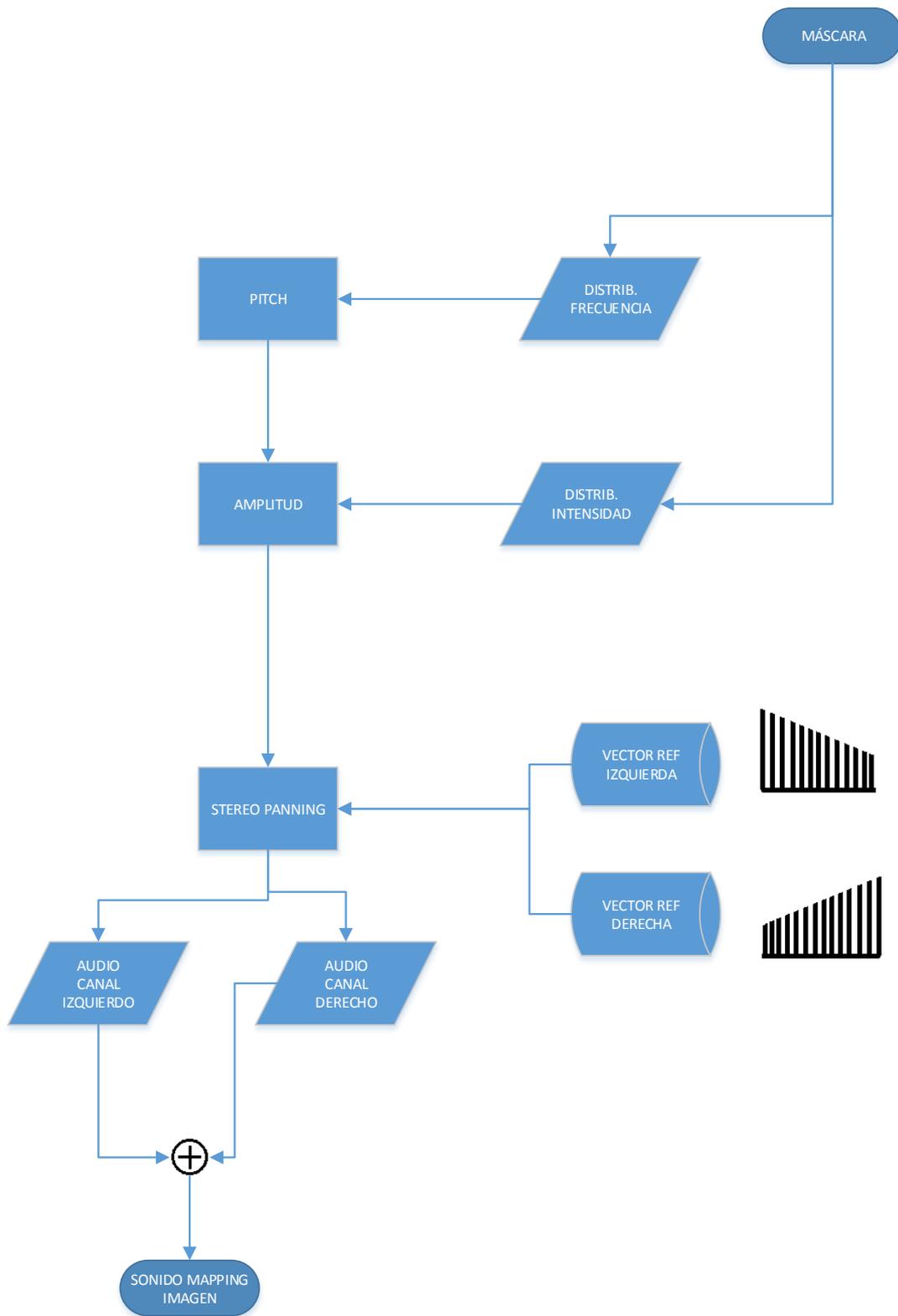
```
>> sound(right, fs); para mono, derecho, right = sonido(:,2)
```

```
>> sound(sonido, fs); para el estéreo
```

5.3. DIAGRAMAS DE FLUJO

A continuación se detallan los diagramas de flujo de la parte de tratamiento de imagen y el proceso de sonificación posterior. El diagrama de tratamiento de imagen muestra un protocolo de actuación en función de la imagen a tratar, permitiendo contextualizar cómodamente el proceso para un campo concreto. El diagrama correspondiente al proceso de tratamiento de audio corresponde a la sonificación en sí, tomando como punto de partida el resultado del anterior proceso de tratamiento de imagen. En este punto se extraen las características de la imagen y se transforman en los parámetros que caracterizan este método de sonificación.





5.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Por lo general no tenemos igual de desarrollado el sistema visual que el auditivo puesto que no interpretamos de la misma manera una imagen que un sonido, hablando en términos de localización de elementos. Naturalmente, esto es obvio si no estamos acostumbrados a utilizarlos de esta manera. Es el mismo ejemplo de que no escucha de la misma manera la música un instrumentista que una persona que no lo sea, el instrumentista digamos que no puede evitar fijarse en matices, al igual que un técnico de estudio en la disposición de los elementos que una persona que simplemente se deja llevar puede que no tenga en cuenta, no hablo de disfrutar, aunque, existen muchos artistas, siguiendo con el ejemplo musical, que disfrutaban mucho más ellos tocando que el público viéndolos, estoy hablando de la capacidad de descomponer esa información en los elementos que nos interesan.

Para una persona invidente no es superflua la dirección de la que proviene el sonido. Para entender esta técnica (no a nivel teórico, ya que entender el proceso que estamos oyendo ayuda, pero sí a nivel práctico, no tanto saber las cualidades sino saber cómo suena la característica en la que nos fijamos) hay que pasar por un proceso de aprendizaje y, personalmente, creo que sólo trabajando mucho con esta técnica puede ser entendida en su plenitud, mediante el método ensayo-error intentando reconocer formas, o intentando antes de escuchar el sonido adivinar cómo debe sonar, preguntándonos por ejemplo si cuando escuchamos el audio sin tener la imagen, seríamos capaces de llegar a predecirla mediante la información que nos llega por los oídos. El sonido por separado no tiene sentido, hay que interpretar la evolución en tiempo, no el sonido en sí. Esto parece una obviedad pero no lo es.

Pese a que éste es un texto científico, y estamos hablando en un campo especializado, no por el proceso a nivel técnico pero sí por la especialización auditiva que quizá se requiere en la interpretación, se mencionan unas pautas, con la única intención de que estos resultados sean correctamente interpretados de manera cómoda por todos, ya que puede que no estemos acostumbrados a este proceso. Resulta algo impropio, incluso incómodo, si se saca fuera de este contexto, el explicar cómo tiene uno que escuchar el sonido.

Estamos acostumbrados en este sector, ingeniería en telecomunicaciones, a tratar información en imágenes, simplemente con mirarlas ya somos capaces, sin necesidad de profundizar, de verificar si el tratamiento que estamos realizando es correcto o no, pero, al tratarse de audio, en caso de que no se esté acostumbrado se recomienda cerrar los ojos para evitar confundir sentidos erróneamente o realizar interpretaciones involuntarias con las imágenes.

El proceso de aprendizaje es importante en todo el conjunto, desde la velocidad a la que se realiza la lectura de la imagen hasta el número de osciladores que puedan aparecer.

Puede parecer que, por ejemplo, bajando la velocidad de emulsión del sonido, el proceso da más tiempo a entenderlo, pero todo lo contrario, esto efectivamente permite oír más pausadamente el sonido pero lo único que hace es que resulte todo más confuso, estamos hablando de la superposición de muchos elementos, cuanto más rápido sea mejor permite establecer una imagen mental, apreciar los cambios en conjunto, porque lo que interesan son los cambios que sufre el audio, no el sonido en sí, sino la interpretación que vamos a hacer de esos saltos.

Si cortásemos en muy pequeños trozos el fragmento de audio y no nos advirtiesen de esto de antemano, gran parte de los oyentes podrían no saberlo (dependiendo del tamaño de separación entre fragmentos pero digamos que es muy pequeño), esto se debería en parte a que el cerebro interpretaría esos huecos rellenándolos. Esto se menciona puesto que este proceso nos beneficia, pese a parecer que resulta muy intrusivo, eliminando matices, indicar que, pese a todo el procesado que se le realiza a la información, aparecen siempre minucias que si las vemos antes de sonificar podemos cometer el error de pensar que “emborronaran” totalmente el resultado, pero, a la hora de escuchar el sonido, que el cerebro interprete la continuidad resulta muy interesante ya que perfila, como si se tratase de un filtrado paso bajo, el caudal de información, permitiendo su interpretación de manera conceptual. Es cierto que no podremos interpretar un cuadro o identificar a una persona o un animal escuchando su silueta, pero sí que permite orientarnos espacialmente en niveles de profundidad, y con varias tomas desde diferentes posiciones, permitir contextualizar el objeto, si este se encuentra por ejemplo en un entorno conocido.

5.4.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (METODOLOGÍA PARA LA INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS)

Se va a proceder, como el proceso de sonificación mapping propone, a leer la imagen de izquierda a derecha y vamos a comprobar que existe una relación entre lo que percibimos con los auriculares y lo que vemos. Luego podremos probar a predecir la imagen escuchando el sonido y posteriormente veremos cómo funciona este proceso con imágenes reales pero es importante una primera etapa de asimilación.

Empezaremos con unos esquemas² para poder orientarnos cada vez que se introduzca una variable nueva.

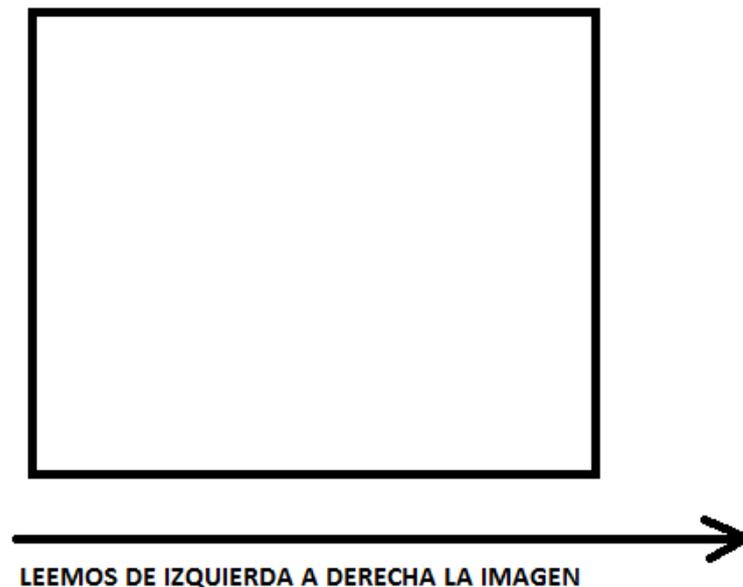


Fig.53. Representación orientativa del proceso de lectura de la imagen en el sistema.

ATENCIÓN: los ficheros que tienen contenido en alta frecuencia pueden resultar muy molestos, se recomienda empezar con un volumen muy bajo. El objetivo es mapear la imagen, es decir, evaluar la composición o geometría de la imagen en función al conjunto de variaciones que se den, el hecho de tener el volumen alto no facilita en la capacidad de percibir la información como conjunto, todo lo contrario, al ser más bajo comprobaremos que se aprecia mejor su evolución, aparte de que no resulta tan molesto para el oído, hay que dar por hecho que estamos hablando de un conjunto de sonidos que pueden resultar muy estridentes ya que pueden aparecer muchos picos o contrastes debidos a la no linealidad.

² Todos los esquemas de interpretación e imágenes de Test o reales que aparecen son de elaboración propia hasta que se indique lo contrario.

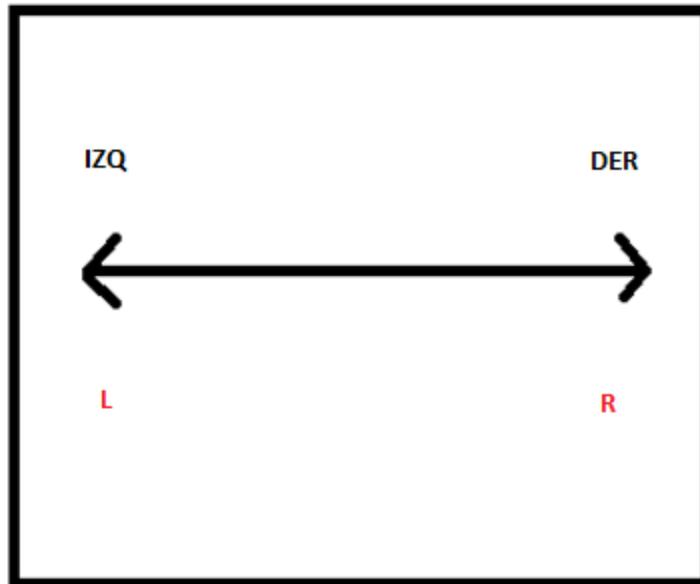


Fig.54. Representación orientativa para la comprensión del paneo estéreo, posicionamiento horizontal sobre una imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.

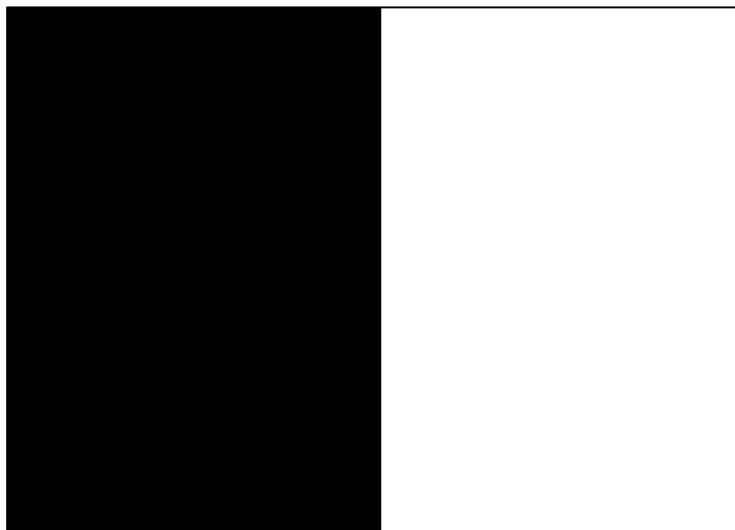


Fig.55. Test 1.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/10.mp3

Comentario: debemos percibir la información desde el centro hasta la derecha (al principio no se oye nada). Si no lo percibimos correctamente, verificar que los auriculares izquierdo-derecho son los correspondientes.

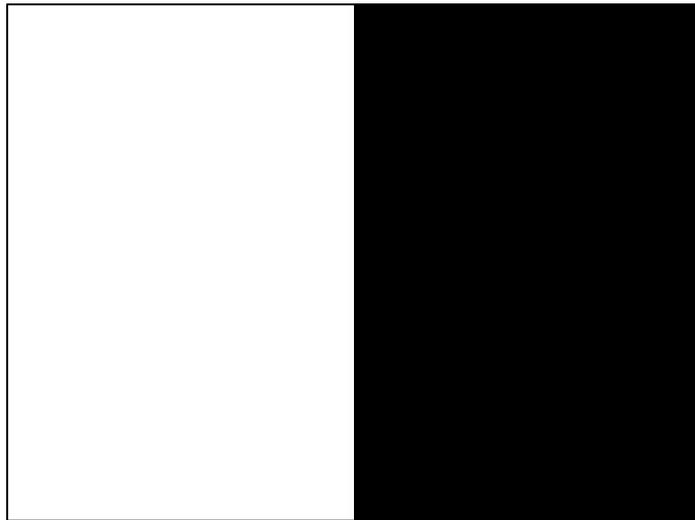


Fig.56. Test 1.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/11.mp3

Comentario: Debemos percibir la información desde la Izquierda hasta el centro (es decir, al final no se oye nada)

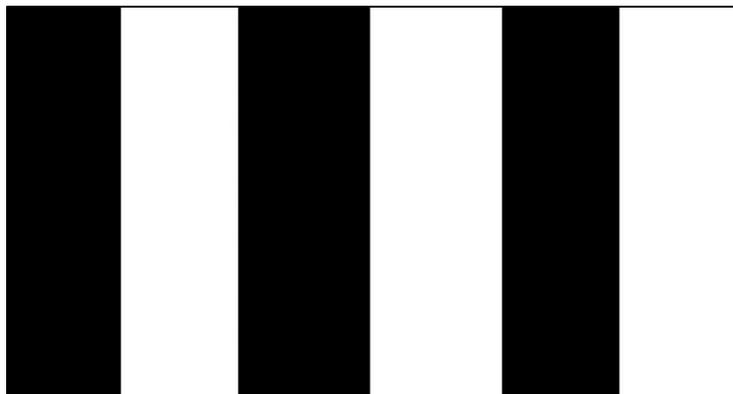


Fig.57. Test 2.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/20.mp3

Comentario: Debemos percibir 3 bloques de información, importante intentar localizar que el primero no empieza totalmente a la izquierda pero el último sí que termina totalmente por la derecha.

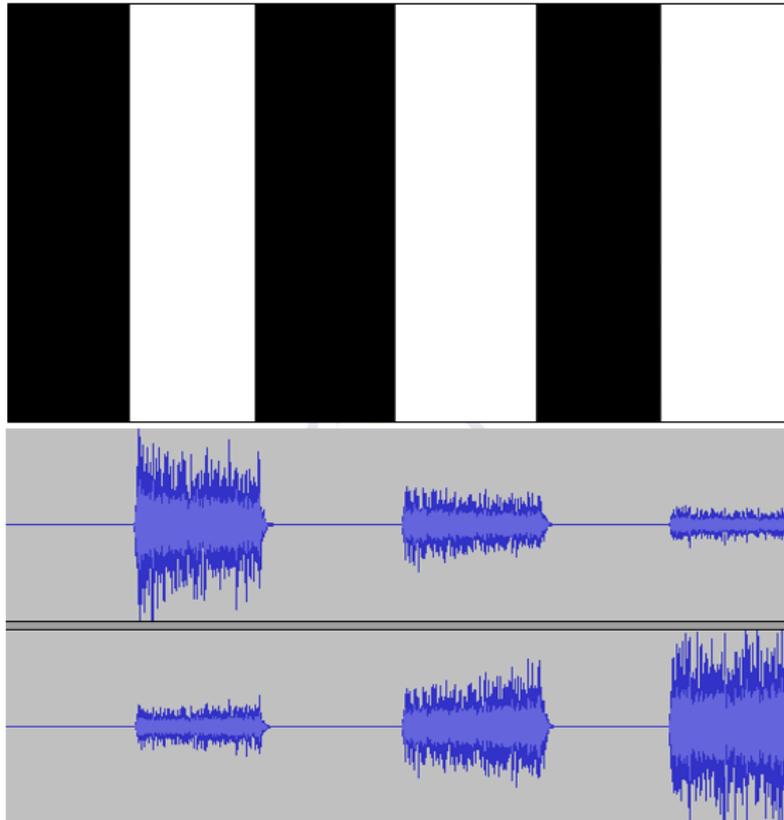


Fig.58. Analizando la señal de audio se aprecia la correlación entre la amplitud de la señal y la ponderación entre el canal izquierdo y el derecho, respecto a la imagen.

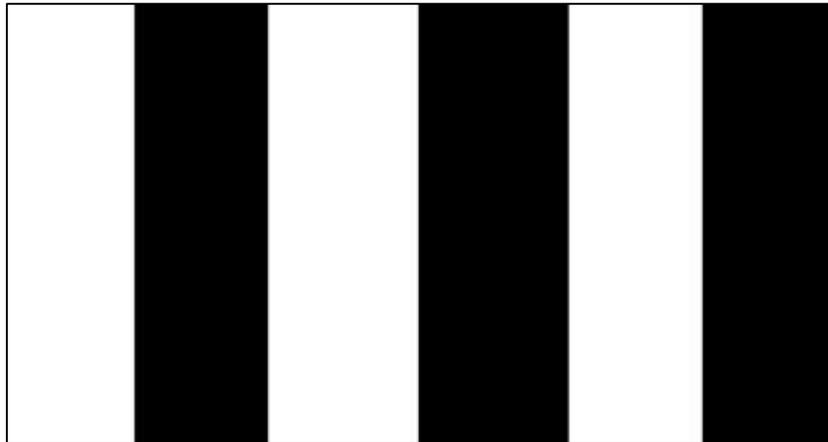


Fig.59. Test 2.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/21.mp3

Comentario: Debemos percibir 3 bloques de información, importante localizar que esta vez el primero empieza por la izquierda y el último no termina totalmente a la derecha.

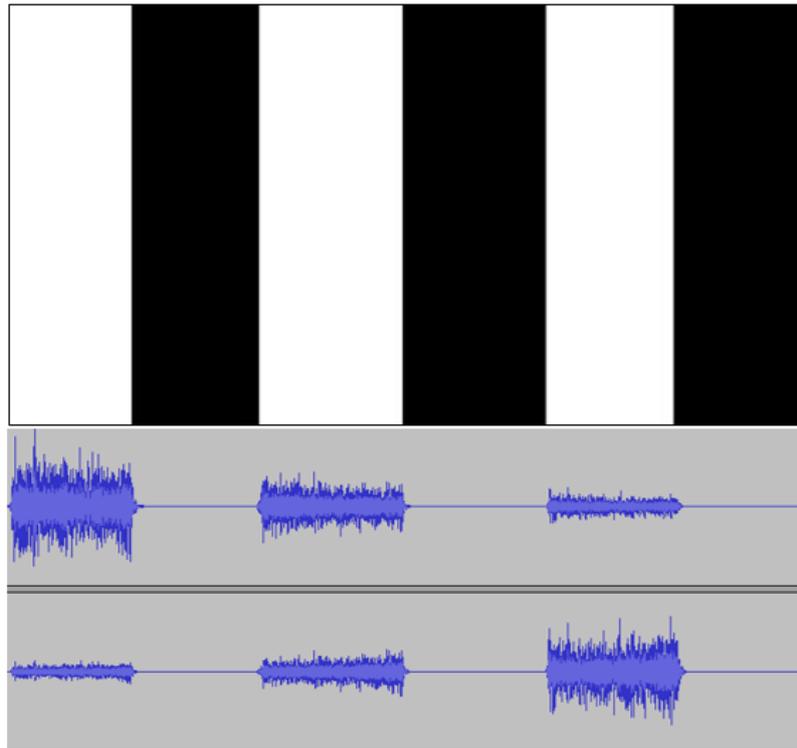


Fig.60. Igual que en el caso anterior, analizando la señal de audio se aprecia la correlación entre la amplitud de la señal y la ponderación entre el canal izquierdo y el derecho, respecto a la imagen.



Fig.61. Representación orientativa para la comprensión del sistema de distribución de frecuencias, posicionamiento vertical sobre una imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.



Fig.62. Test 3.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/30.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra de la mitad hacia abajo, en un horizonte cercano.



Fig.63. Test 3.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/31.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra de la mitad hacia arriba, en un horizonte lejano.

IMPORTANTE: las altas frecuencias pueden resultar molestas, regula el volumen antes de escuchar la simulación, puede hacerse daño.

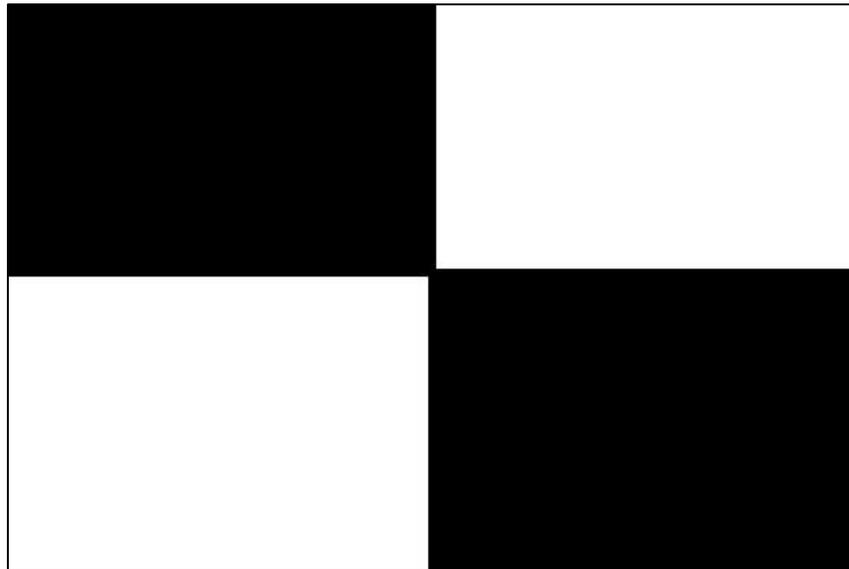


Fig.64. Test 4.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/40.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra localizada en la esquina inferior izquierda y en la esquina superior derecha.

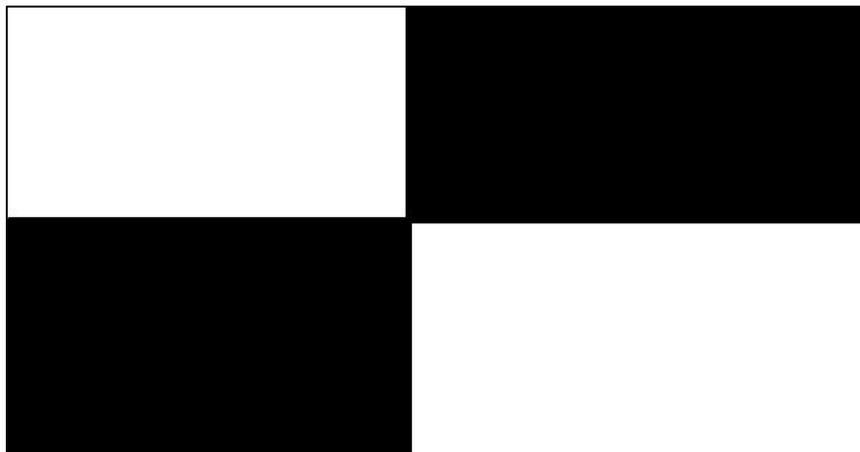


Fig.65. Test 4.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/41.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra localizada en la esquina superior izquierda y en la esquina inferior derecha.

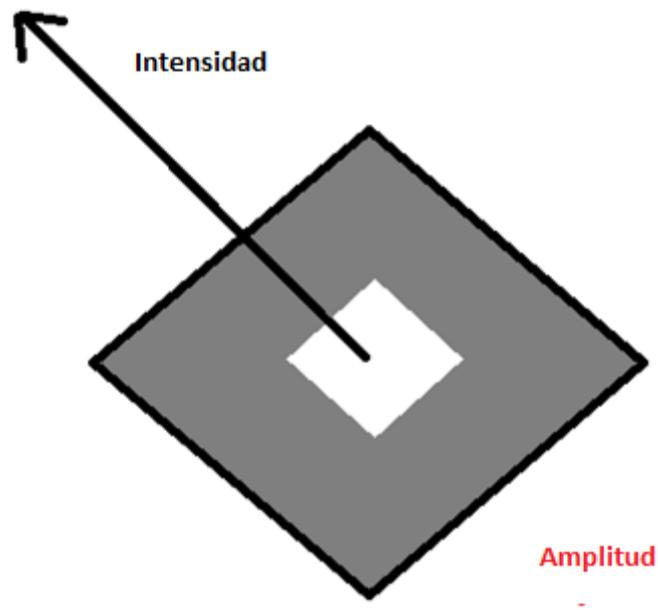


Fig.66. Representación orientativa para la comprensión del parámetro de amplitud, nivel de intensidad, es decir, profundidad de un elemento sobre la imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.

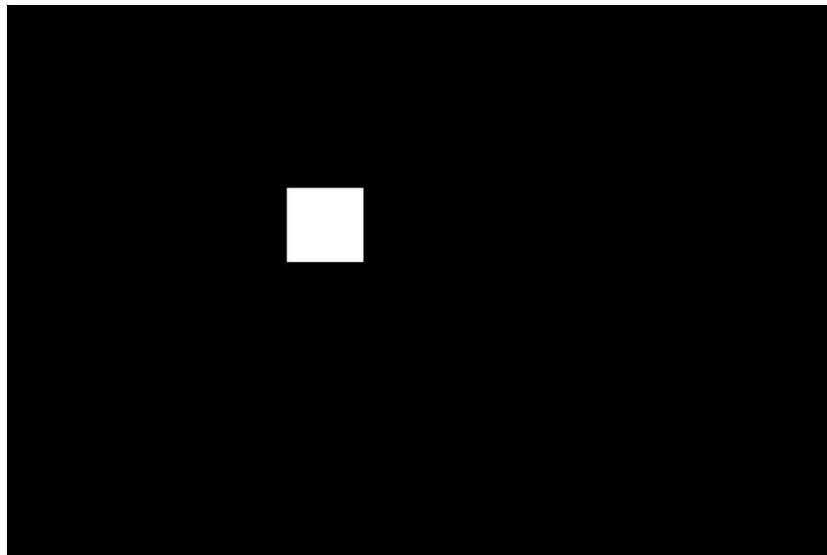


Fig.67. Test 5.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/50.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra localizada en la esquina superior izquierda y es de pequeño tamaño.



Fig.68 Test 5.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/51.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra localizada en la esquina inferior izquierda y es grande.

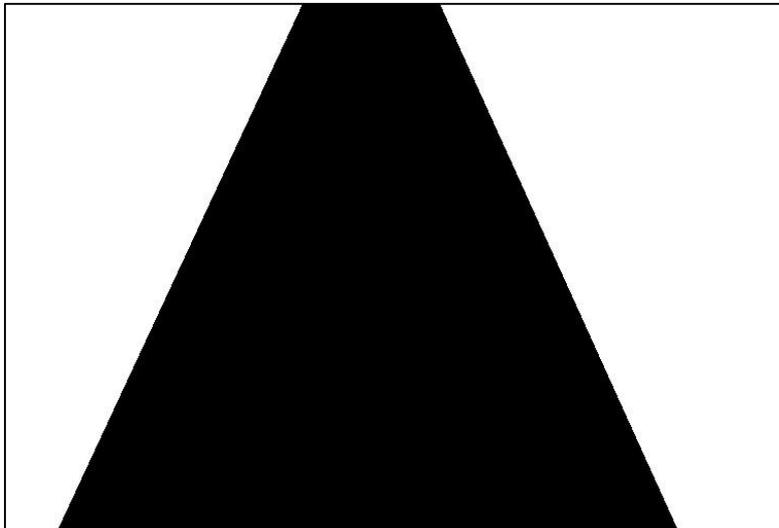


Fig.69. Test 6.0

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/60.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra en los lados izquierdo y derecho de la imagen, quedando vacía enfrente nuestro.

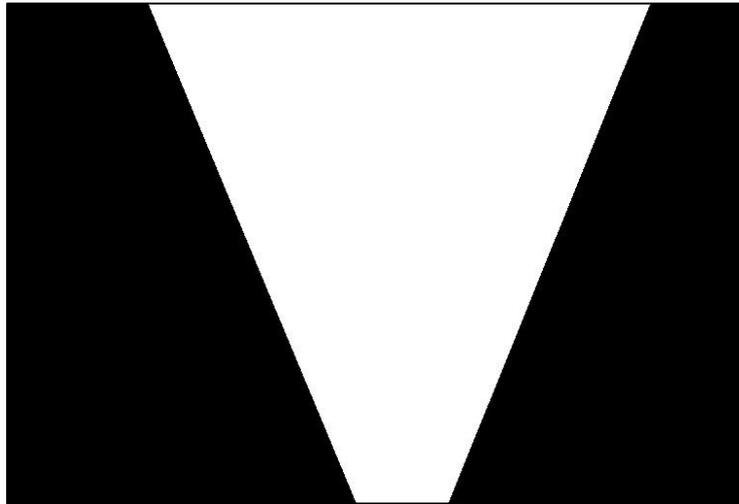


Fig.70. Test 6.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/61.mp3

Comentario: Debemos percibir que la información se encuentra justo enfrente nuestro, resultando el punto de máxima amplitud en el centro, sin información en ambos lados.

5.4.2 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE UMBRALIZACIÓN)

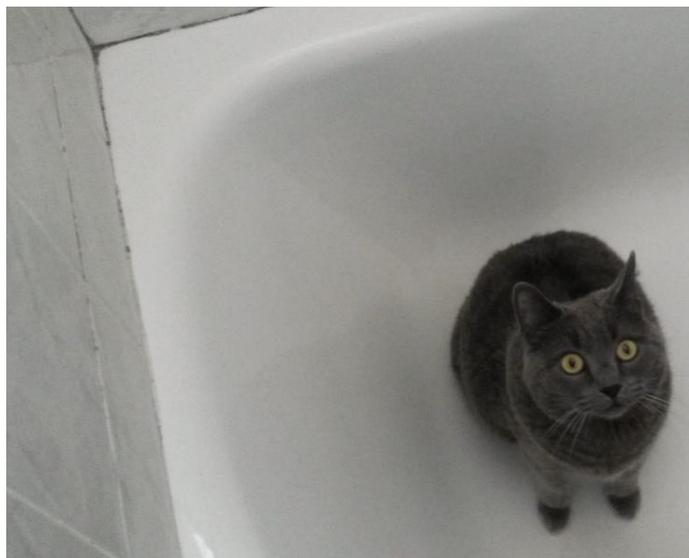


Fig.71. Imagen de referencia original.

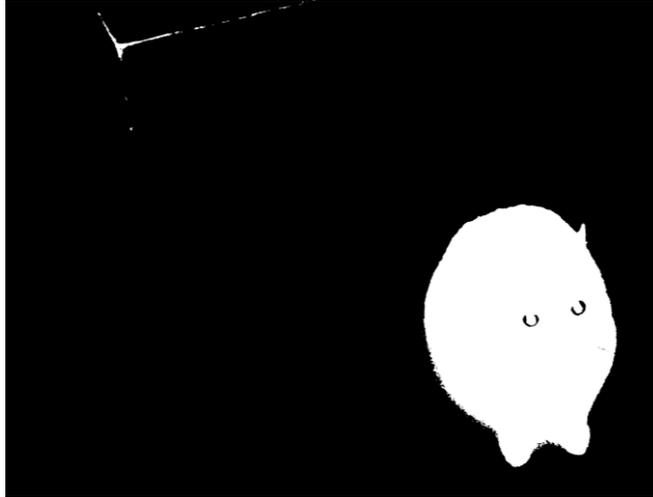


Fig.72. Imagen umbralizada con Morfología Matemática e invertida.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/garymirando.mp3

Comentario: Obsérvese que al quedar marcada la esquina superior izquierda de la pared, donde se halla la silicona en la pared, al reducir la resolución de la imagen aún queda un punto de esa esquina superior que produce el primer sonido, de alta frecuencia, ya que al estar binarizado, el mínimo pixel que queda posee una amplitud máxima. Después aparecerá un objeto mayor en la parte inferior derecha de la imagen.



Fig.73. Imagen anterior pero con más morfología matemática

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/garymorfo.mp3

Comentario: Al usar morfología matemática eliminamos la información irrelevante, ya no se escucha tono del principio que se escuchaba antes, sólo el objeto en la parte inferior derecha, se escucha un poco más de tiempo ya que ha sido dilatado un poco más, en la imagen no se aprecia mucho pero al reducir la resolución sí es perceptible.

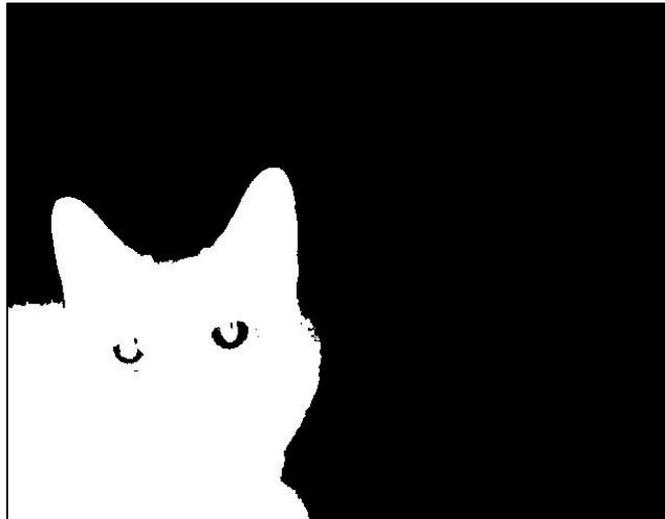


Fig.74. Imagen Umbralización 2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/gato.mp3

Comentario: Se aprecia la localización a Izquierdas en el centro inferior.

5.4.3 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE SEGMENTACIÓN DE COLOR)

Conforme más avancemos, los resultados son más abstractos, con lo que requerirán más voluntad por parte del oyente.

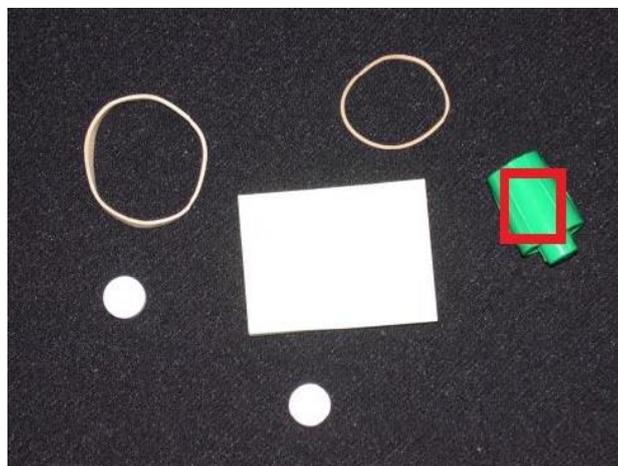


Fig.75. Pillsect

Vamos a segmentar “pillsect”, un clásico de la segmentación en tratamiento de imagen en Matlab. Consiste en una superficie sobre la que hay varios objetos, en nuestro caso, segmentaremos el objeto de color verde.

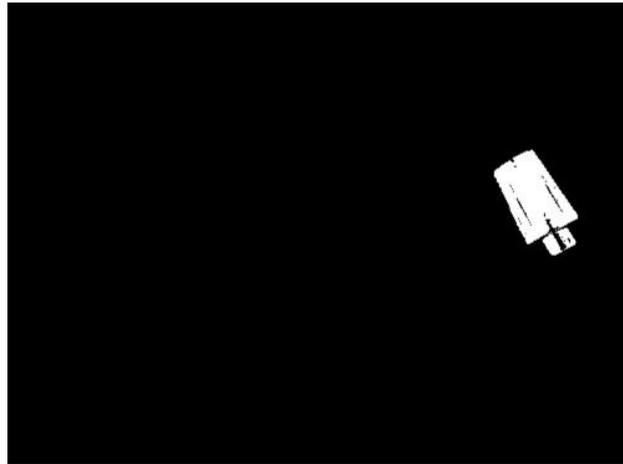


Fig.76. Segmentación 1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/cosasenlamesa.mp3

Comentario: Debemos percibir que el objeto se encuentra a la derecha, un poco más hacia arriba. *ATENCIÓN: debido a que no se sonifica la gran mayoría de la imagen (cosa que va a pasar en todas las imágenes procedentes de segmentaciones ya que se visualizan elementos puntuales), al llegar al elemento de interés, produce un contraste muy elevado que puede resultar muy molesto, regule el volumen.*

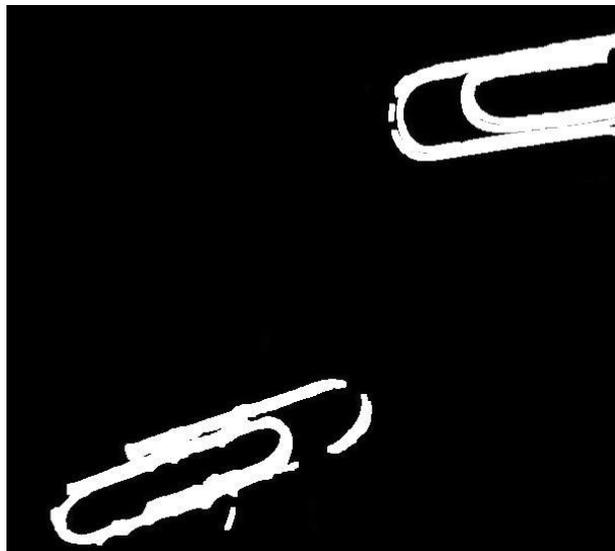


Fig.77. Segmentación 2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/clips.mp3

Comentario: Debemos percibir dos objetos, uno en el cuadrante inferior izquierdo y otro en el superior derecho. Nótese que al no estar rectos los clips se nota como van subiendo las frecuencias de los dos elementos.

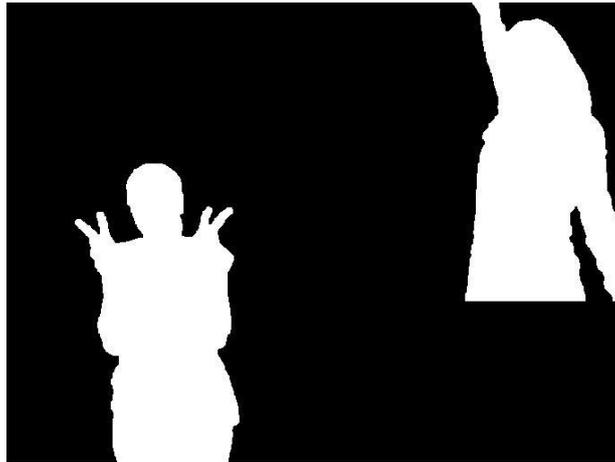


Fig.78. Segmentación 3 CROMA

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/croma.mp3

Comentario: Esta imagen ha sido utilizada como ejemplo de sonificación en base a un croma, pese a aparecer personas, es posiblemente utilizable el proceso en control de maquinaria previo estudio de condiciones de contorno del lugar en la toma de imágenes. Debemos percibir dos objetos, uno en la parte derecha y otro en la parte superior izquierda los que obviamente es imposible darles una forma concreta.

5.4.4 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (DESDE ESCALA DE GRISES)



Fig.79. Imagen escala grises

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/garygris.mp3

Comentario: Resulta confuso al principio. El gato es gris oscuro y la pared blanca con sombras por lo que estamos sonificando, por así decirlo, el espacio que NO ocupa el gato, sino la información del contorno. Esto queda más claro comparándolo con el

siguiente resultado, el negativo de la foto, en la que se le da más intensidad al gato que al fondo.

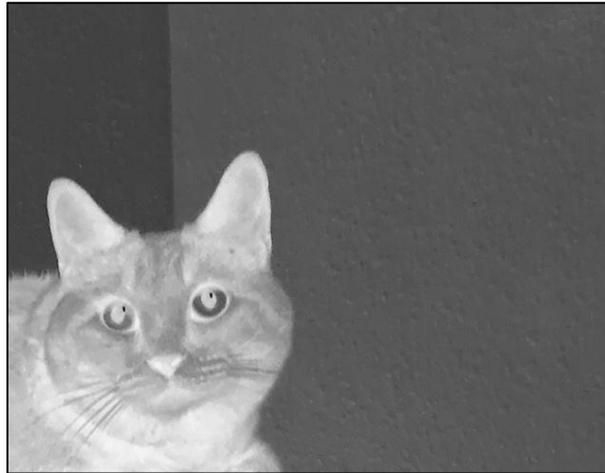


Fig.80. Imagen escala grises negativo

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/garygrisinv.mp3

Comentario: en comparación con la anterior, se aprecia un “ente” (obviamente mucho más difuso que en los casos anteriores, en los que no teníamos dispersión de la información) en la parte inferior derecha.

Tal vez no podamos percibir un cuadro sonificando pero, ¿podemos distinguir diferentes estilos? Podemos, atendiendo a la composición, diferenciar entre composiciones de diferentes estilos, como cubismo (Piet Mondrian) y expresionismo abstracto (J. Pollock).

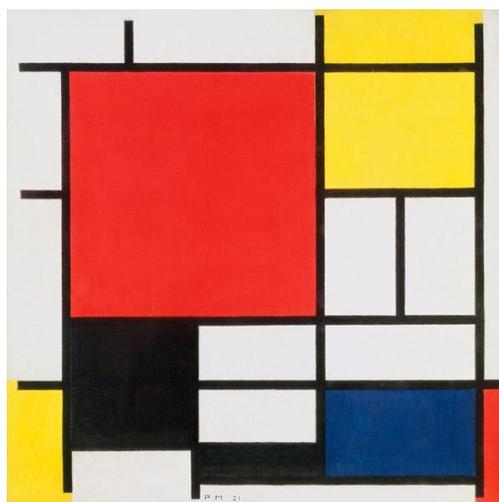


Fig.81. Cuadro del artista Piet Mondrian, Komposition mit Rot, Gelb, Blau und Schwarz, 1926, en el museo Den Haag.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/cubo.mp3

Comentario: Sin atender a los colores, podemos entender que existe, por los “cuadros blancos” un incremento de la frecuencia e intensidad. La geometría al no ser tan dispersa proporciona cambios que se mantienen un poco más, se aprecian 3 tramos, que son referenciados por los bloques blancos ascendentes en posición y tamaño.



Fig.82. Cuadro del artista Jackson Pollock, “5”, 1948, MoMA.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/pollok.mp3

Comentario: Se puede apreciar un tremendo caos, fiel al estilo de Pollock. Éste es el patrón que más procesado ha requerido.

5.5. CAMPO ACTUAL DE INVESTIGACIÓN

Las principales aplicaciones son como elemento de refuerzo en la visión artificial, inspección de maquinaria, aparatos sísmicos y como herramienta de ayuda para personas con discapacidad visual.

Como es un campo muy genérico, personalmente, el campo que alberga mayor interés para el estudio es el humano, ya que en el control industrial, por ejemplo, tenemos muchas herramientas para poder dar “contexto” a una situación, desde pre-procesado, tratamientos posteriores, estudios previos de contorno o refuerzo visual. Aparte, este campo resulta una buena introducción para el tercer diseño.

Vamos a utilizar unos diseños de especialización con elementos muy sencillos.

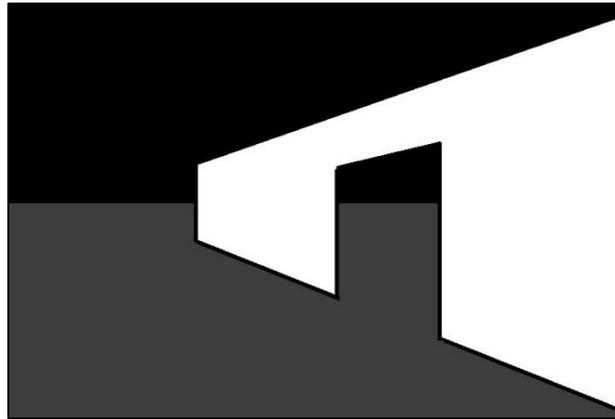


Fig.83. Imagen "tipo" utilizada generalmente en ámbitos de visión artificial.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/master.mp3

Comentario: Se deben apreciar 4 etapas. En la primera se mantiene una intensidad baja, en la segunda crecen las frecuencias abriéndose desde la mitad aproximadamente mientras se incrementa la intensidad, ahora, éste es el punto interesante, al llegar a la puerta se aprecia como decrece la intensidad y desaparecen las frecuencias bajas. Debido a la superposición de osciladores es complicado de apreciar. Finalmente en la última etapa se aprecia cómo se incrementa la intensidad y las frecuencias en ambos sentidos hasta el máximo umbral.

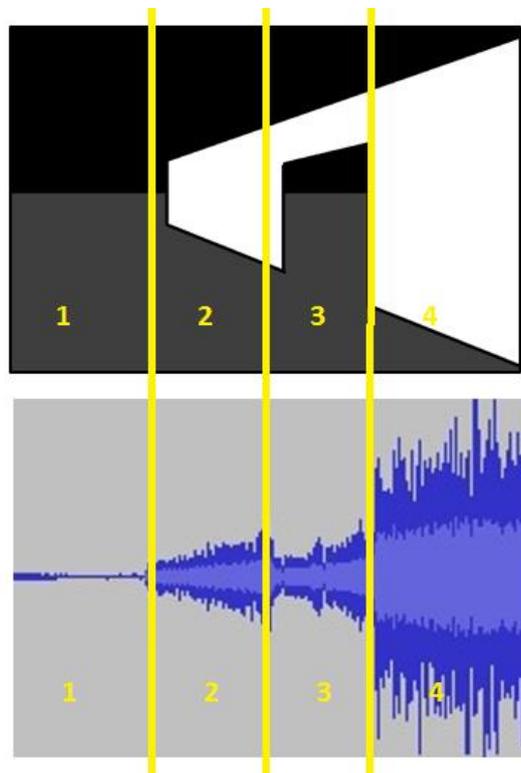


Fig.84. Análisis de la señal de audio. Analizando la señal de audio con respecto a la imagen podemos visualizar esas 4 etapas anteriores.

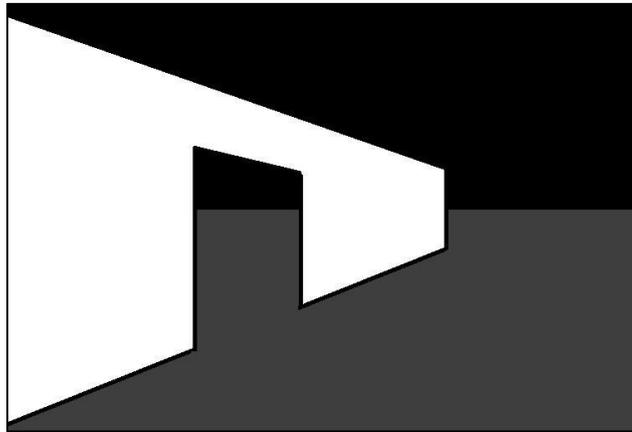


Fig.85. Puerta, imagen anterior pero situados espacialmente en el otro extremo

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/girado.mp3

Comentario: Aquí debemos apreciar exactamente lo contrario, el espejo de lo que hemos oído anteriormente.

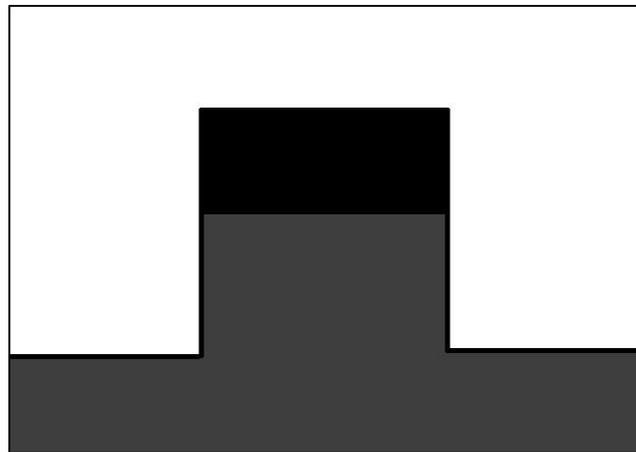


Fig.86. Puerta, nos hemos situado enfrente de la puerta.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/dos.mp3

Comentario: Observamos claramente como tenemos un objeto inminente a los lados y la única salida que sugiere o elemento menos inminente se sitúa en el centro de la imagen.

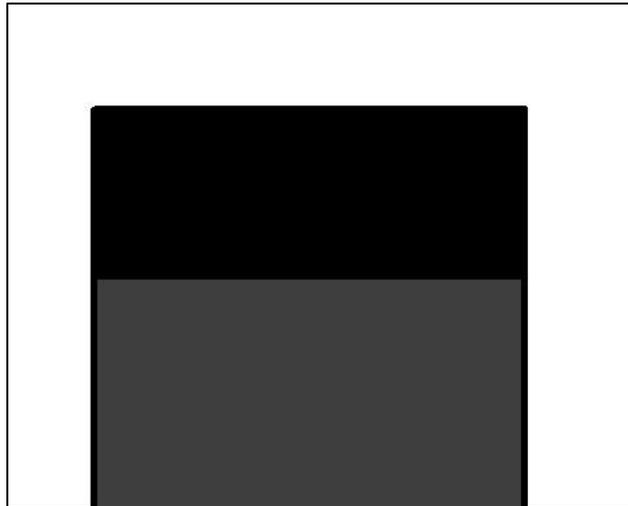


Fig.87. Puerta, más cerca.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/tres.mp3

Comentario: Aquí debemos percibir respecto al ejemplo anterior como nos estamos acercando a la apertura, como vamos dejando a los lados los obstáculos, los cuales se muestran cada vez más a los extremos.

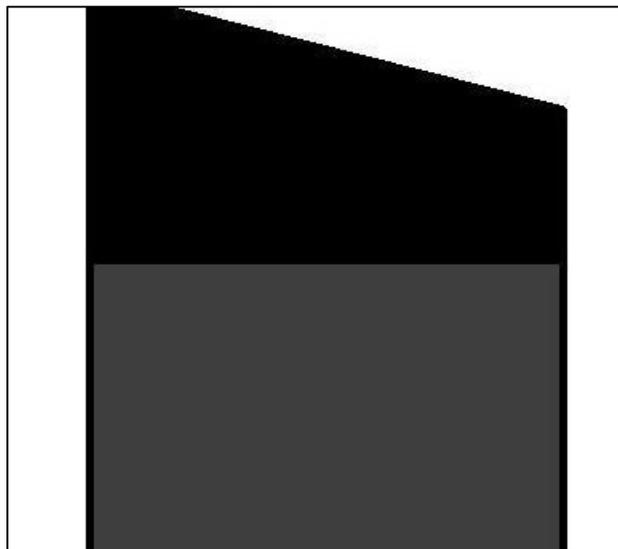


Fig.88. Puerta, cercana desde lado izquierdo.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/cuatro.mp3

Comentario: Aquí vamos a intentar percibir que no estamos situados correctamente, ya que la posición del marco superior de la puerta genera que el sonido no sea estable al sonificarse. Esto en la práctica tendría que implementarse mediante mecanismos de autorregulación puesto que entendemos que la persona mantiene el punto desde el que ve (cabeza) de manera estática, cosa que en una persona real no sería así.

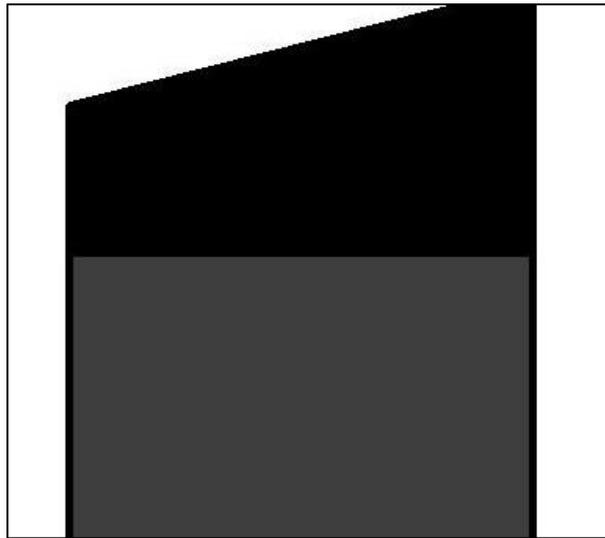


Fig.89. Puerta, cercano desde lado derecho.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/cinco.mp3

Comentario: Como en el caso anterior, observaremos que no se produce una estabilidad continua al adentrarnos por la puerta.

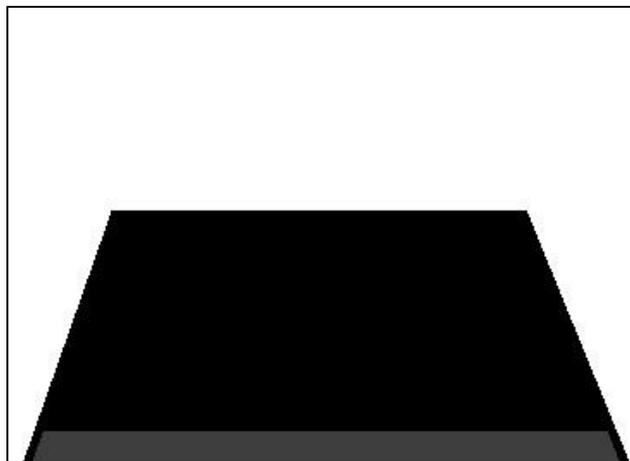


Fig.90. Puerta, vistazo superior.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/seis.mp3

Comentario: Podemos apreciar como el obstáculo se encuentra en la parte superior y en los bordes, conforme avancemos, en una situación ideal como la que es este ejemplo, desaparecerán los obstáculos y prevalecerá una continuidad.



Fig.91. Puerta, vistazo inferior.

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/siete.mp3

Comentario: Debemos apreciar unos obstáculos en los bordes inferiores izquierdo y derecho. Se aprecia como el primer sonido pertenece a un elemento que está decreciendo en frecuencia y el segundo aumentando.

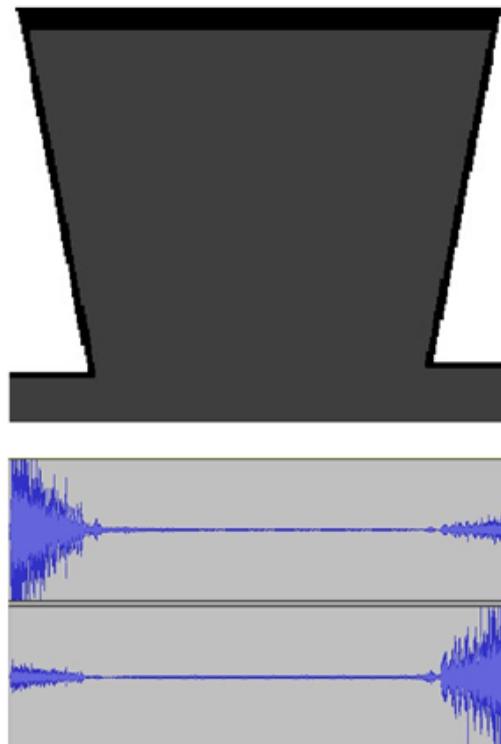


Fig.92. Aquí podemos ver el ejemplo anterior comparando la señal (canales L y R respectivamente) respecto a la imagen en la que podemos apreciar como mantiene en el plano central un vacío en nivel de intensidad que representa el hueco por el que pasar.

El estado actual de esta técnica de sonificación, aparte de estudios sísmicos y sistemas de control de maquinaria supervisado o como herramienta complementaria de visión artificial, se centra en poder suplir la carencia de la pérdida de visión mediante el sentido auditivo, permitiendo la espacialización y orientación de una manera intuitiva.

Utilizando estos ejemplos como punto de partida, vamos a adentrarnos brevemente en el funcionamiento del cerebro en ausencia del sentido visual, para poder apreciar mejor el impacto que puede suponer esta técnica para una persona con discapacidad visual.

La neurociencia (nada que ver con pseudociencia, pero en base a que la sonificación es un método multidisciplinar, obliga a adentrarnos en campos que no son propios de la ingeniería para apoyarnos y obliga a tomar precauciones) ha detectado patrones relacionados con la actividad visual en el córtex de personas ciegas.

Para entender mejor estos datos, vamos a empezar por lo básico, en la imagen inferior tenemos un esquema muy simplificado para entender brevemente el posicionamiento de los sentidos en el cerebro.

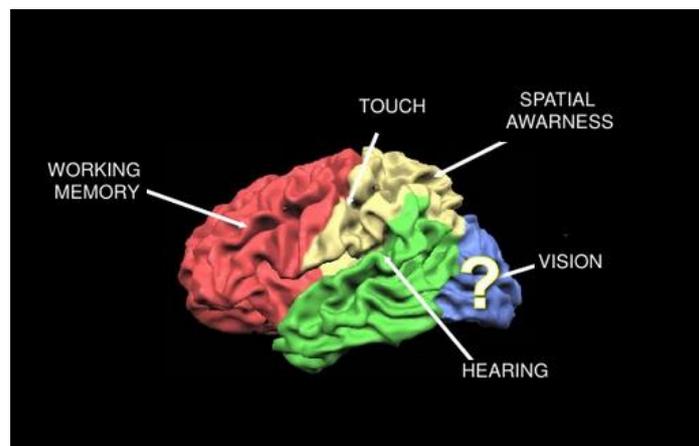


Fig. 93. En la que podemos diferenciar un mapa de sentidos sobre las zonas del cerebro. Imagen obtenida del artículo “the incredible adaptability of the brain with the loss of one or more senses”, del NDA International Conference, en 2009.

El campo de la visión aparece con un interrogante puesto que es el elemento de estudio. Más que el elemento de estudio, lo que vamos a estudiar es cómo el resto del cerebro trabaja en equipo para paliar esa carencia, es decir, vamos a comprobar cómo se agudizan ciertos sentidos.

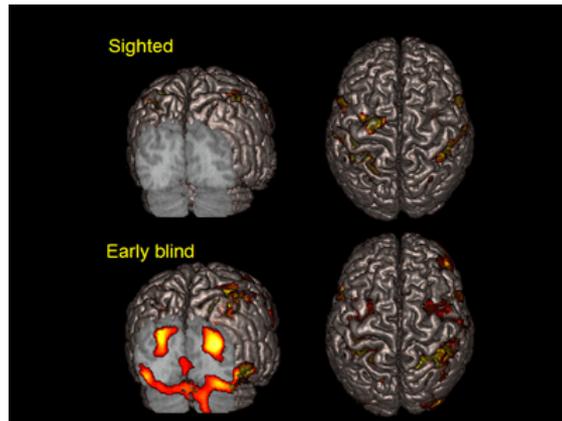


Fig. 94. Aquí podemos ver en estas imágenes³ qué zonas del cerebro se activan en una persona que es ciega desde hace poco para paliar el vacío sensorial que deja la invidencia, proceso de agudización de otros sentidos para una mejor percepción del entorno, lo que entendemos como un proceso de adaptación al estilo Darwiniano.

Se pueden observar como se activan patrones neuronales (se habilitan, ya que anteriormente prescindíamos de ellos) en el córtex en personas que han quedado ciegas recientemente respecto a personas que poseen la capacidad visual completa, sin la obligación de especializarse en otros sentidos por necesidad.

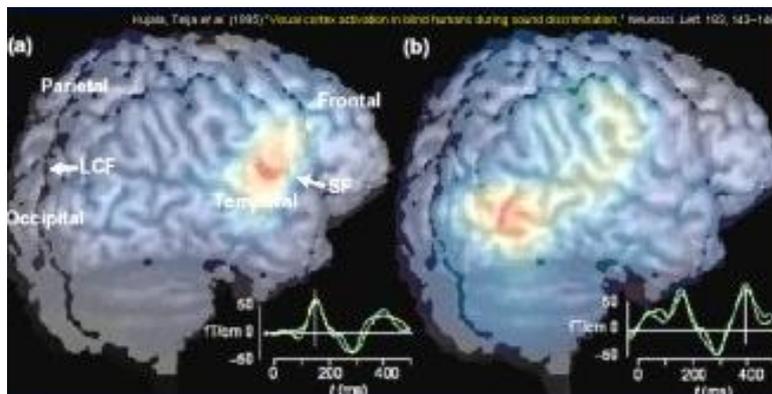


Fig 95. Esta imagen muestra una resonancia magnética cerebral muy interesante, ya que se enfoca a la percepción de cambios en el Pitch.

A continuación tenemos varios conceptos interesantes. El primero simplemente muestra qué partes del cerebro se estimulan en función de la tarea que se esté realizando. Bien, ¿eso es necesario, entra dentro del objeto de estudio? Resulta interesante para entender cómo se realiza la toma de datos.

³ Las imágenes que se muestran sobre resonancias magnéticas en el cerebro y realización de estas medidas han sido obtenidas del artículo "Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex" del libro Brain a journal of neurology por Dimitri. M. Kulluman y han sido adaptadas para simplificarlas ya que el resto de información no entraba dentro del objeto del proyecto.

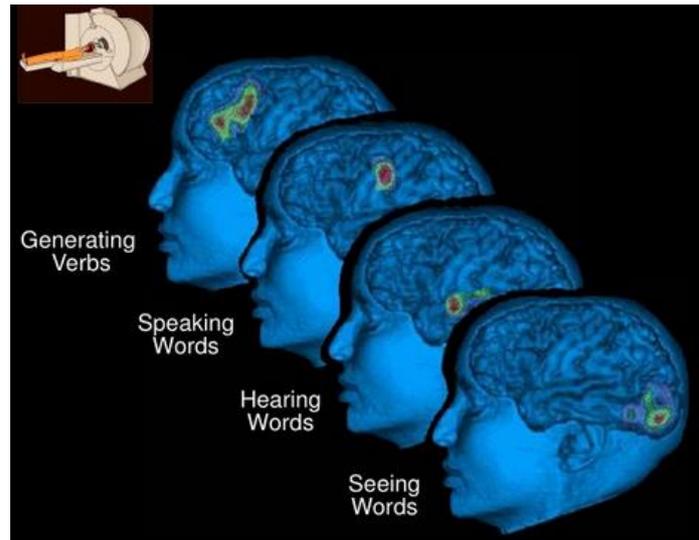


Fig.96. En esta imagen podemos apreciar cómo se estimulan diferentes zonas en función de la tarea que se esté llevando a cabo.

La respuesta se realiza, simplificando mucho, realizando la diferencia entre los instantes de tiempo anterior y posterior a la reacción, esto se puede apreciar en la parte inferior de la siguiente imagen.

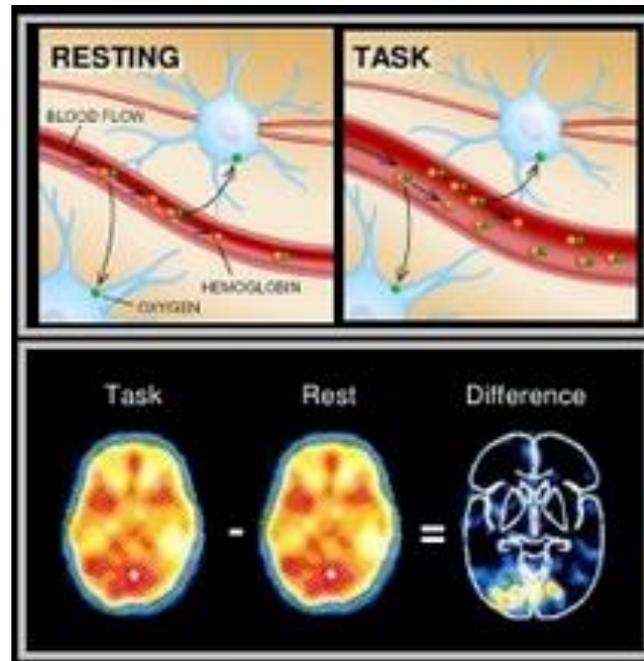


Fig.97. Imagen representativa del proceso utilizado en la medición de estas tomas, para entender mejor de dónde salen las muestras.

Resulta sorprendente encontrar como, salvando las diferencias, mediciones que parecen muy complejas, en su nivel más primitivo, responden a desarrollos muy intuitivos.

Volviendo al estudio de patrones relacionados con la actividad visual en el córtex de personas ciegas “recientemente”, es interesante mostrar el experimento de la universidad de Massachusetts, el cual muestra la evolución cerebral (o proceso de adaptación) que sufre una persona al perder el sentido de la vista durante sus primeros días. Pese a ser obvio, aquí reflejamos perfectamente que, efectivamente, se activan ciertas zonas en el cerebro para reforzar la percepción del entorno.

El sujeto voluntariamente es privado del sentido de la vista y es sometido a un proceso diario en el que va adaptándose a su nueva situación a lo largo de varios días.

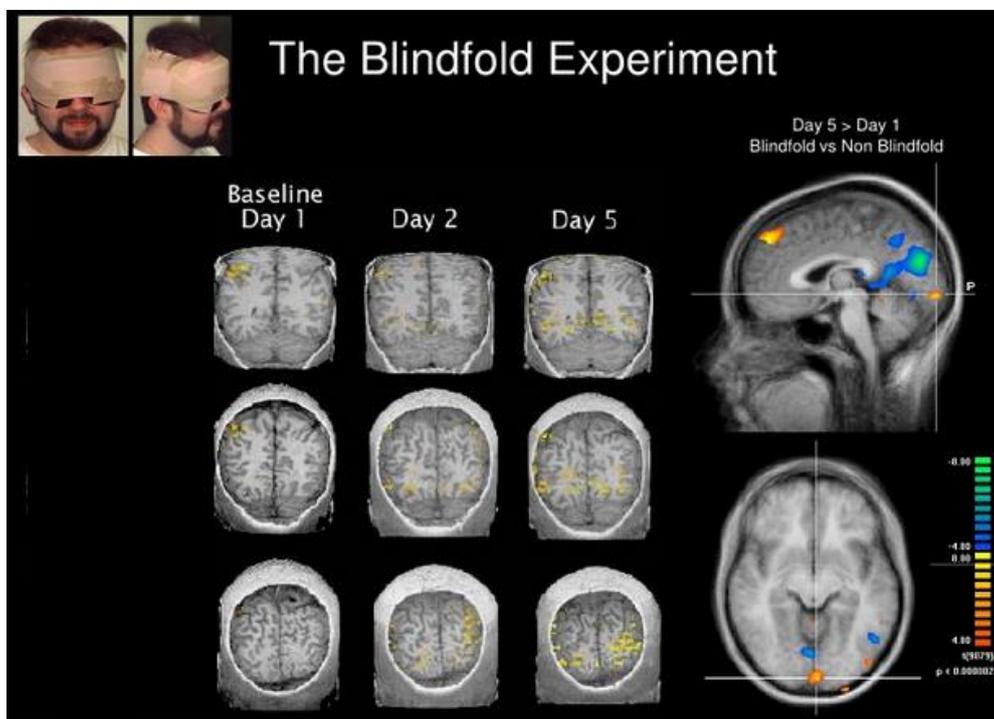


Fig.98. En esta imagen se muestra el proceso de aprendizaje que sufre una persona los primeros días de permanecer privado del sentido de la vista. Imagen extraída del proyecto “The Blindfold Experiment” de Pascual-Leone, 2003.

Ahora ya, entendiendo el proceso de aprendizaje que conlleva esta práctica, podemos poner ejemplos concretos de sonificación mapping en los que se ha utilizado un proceso de sonificación similar al diseño propuesto con resultados muy interesantes, por ejemplo, se han podido plasmar objetos transcritos por sonidos en personas invidentes.

En esta técnica la representación es más metódica y lenta que en el diseño expuesto ya que requiere más detalle y una correlación desde distintos planos para una correcta interpretación.

Aquí tenemos algunos ejemplos de experimentos de dibujos realizados por invidentes:

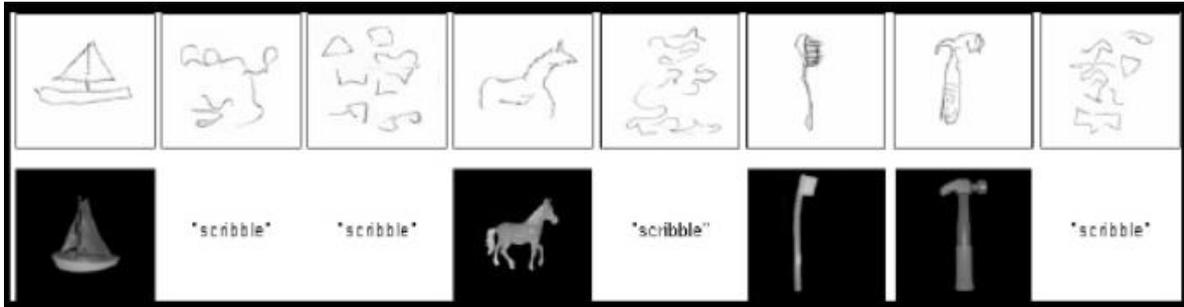


Fig.99. Interpretaciones de modelos por invidentes. Obtenidas de "Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind: The Advantage of the Late Blind". M. A. Heller in Perception.

Estamos hablando de la imagen mental que todo este proceso genera, conforme avanza en el trazo pierde referencia, obviamente una persona invidente, en el supuesto de que pudiese visualizar el dibujo que ha realizado, éste no sería como el que tiene en mente.

Es similar, pese a ser un ejemplo bastante cotidiano, al proceso que realiza una persona por la noche al levantarse para ir al aseo hasta que encuentra el interruptor de la luz. Cada paso que da hacia adelante es un paso menos de referencia respecto al contorno de la cama por ejemplo, que sí que lo tiene en mente. Conforme más avance, la memoria referenciada será más difusa y necesitará recalibrar sus sentidos, golpeando con los pies el contorno de las paredes o tocando las paredes con la mano, para obtener información de la situación actual. Se aprecia en estos dibujos como al ir tomando varias tomas desde diferentes ángulos, se retoma esa orientación.

Otro ejemplo interesante es el experimento AUDIODOOM, de Jaime Sanchez, de la Universidad de Santiago de Chile, que derivó en el programa AbES (Audio-based Environment Simulator) para el centro de ayuda "The Carrol Center For The Blind".



Fig. 100. Videojuego DOOM original y un breve ejemplo de su particular sistema de mapas.

AudioDoom es una versión basada en sonido espacializado que utiliza el motor del videojuego Doom. La idea fue desarrollar un ambiente de software interactivo como prueba del concepto, el objetivo no era desarrollar un gran prototipo, sino un prototipo que nos permitiese apoyar la hipótesis de que es posible desarrollar un ambiente virtual interactivo acústico, que permitiese una navegación activa sin pistas visuales. Al igual que con los otros software desarrollados, la meta principal en esta investigación fue probar que el sonido espacializado modelado en el computador, puede producir el modelado de una estructura espacial determinada, conservando la estructura, su topología, orientación y navegación.

La hipótesis inicial fue, a raíz de la facilidad del aprendizaje observado en personas de distinta edad, que niños ciegos pudiesen desarrollar estructuras cognitivas de representación espacial a través de la interacción con ambientes virtuales basados en sonido.

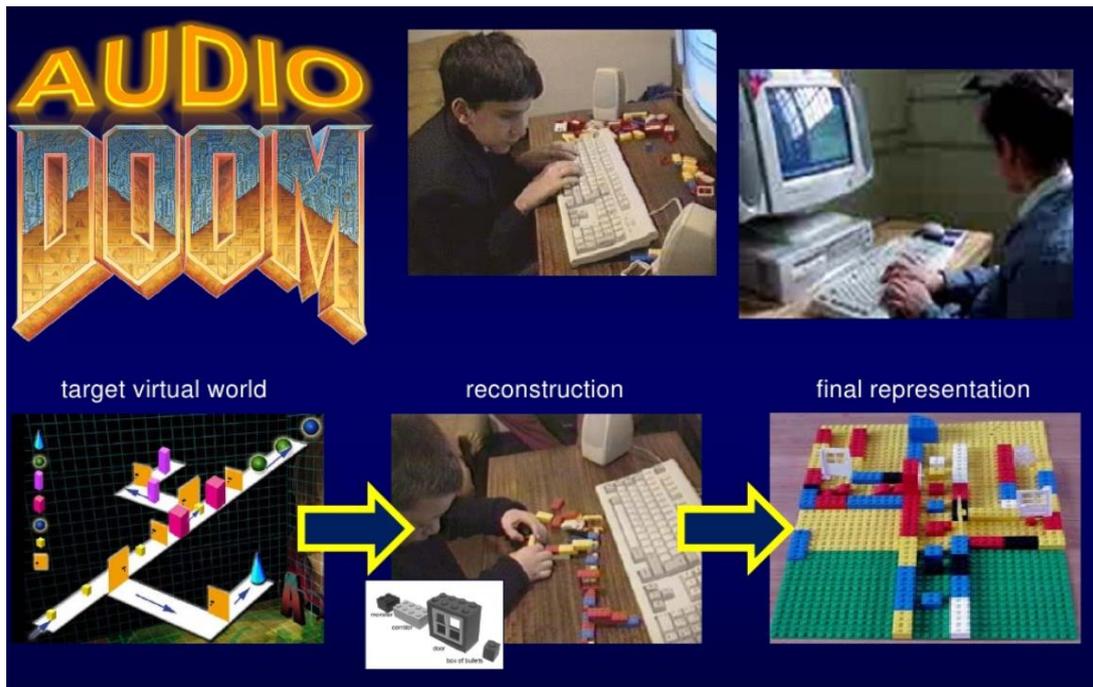


Fig. 101. Sistema de funcionamiento de AudioDOOM, de Jaime Sanchez, de la Universidad de Santiago de Chile.

Aquí podemos ver de manera compacta el proceso de asimilación del ambiente virtual interactivo acústico en un niño ciego. El proceso de aprendizaje es progresivo y requiere un proceso de asimilación que, por lo visto, en niños no es tan largo como se pretendía en un principio, posiblemente por estar más abiertos y menos limitados de lo que se encuentran los adultos, no a nivel perceptivo, más bien a nivel resolutivo, adaptabilidad o fluidez a la hora de resolución de problemas referidos a la orientación mental-visual.

En estos tipos de experimentos resulta sorprendente ver como el proceso de asimilación en personas con discapacidad requiere menos de una semana al tratarse de niños, mientras que para personas sin discapacidad, involucradas en este proyecto, este proceso les resultaba más confuso, partes que se preveían con enorme complejidad en cuanto a abstracción resultaron ser menos complejas de interpretar espacialmente de lo que se pensaron puesto que al principio no se tuvo en cuenta que la memoria visual puede ser "reinterpretada" en estas personas y esto resulta una sorprendente ayuda, de la misma forma en la que, por poner un ejemplo que permita entender este razonamiento, a la hora de resolver un cubo de Rubik, jugando a contrarreloj, una de las primeras técnicas que se requiere practicar para ganar velocidad es, al realizar "tricks" conseguir hacerse una imagen mental rápida, llegando a conseguir realizar estos "tricks" de manera automática, pudiendo llegar a saber cómo quedan las posiciones de las caras

traseras que no vemos sin necesidad de mover el cubo, es decir, aunque no las hayamos visto antes, utilizando la memoria visual en combinación con la espacial. Esto es esencial, por ejemplo, en la modalidad oficial "Blindfold", que consiste en resolver el cubo de Rubik con los ojos vendados.

De manera similar, utilizando este sistema de reinterpretación del espacio virtual, hablando directamente de "hacernos un mapa mental" se nutrió, por ejemplo, el cineasta Stanley Kubrick para generar un estado de "incertidumbre" o "desorientación" en la película "The Shinning" de 1980. Kubrick utilizaba dos localizaciones de distintos hoteles que combinaba sobre tomas de secuencias que argumentalmente correspondían a una misma ubicación, en la primera parte de la película los protagonistas realizan una visita guiada por el hotel, lo que genera una situación de estabilidad, ubicación, del espectador con el entorno, pero en realidad era una trampa para que el espectador generase una imagen mental que luego sería utilizada en su contra. Posteriormente, con el avance de la trama argumental, cuando dos personajes son perseguidos por ese hotel, Kubrick volvía a utilizar la combinación de tomas con la otra localización, lo que genera que en los planos se vean elementos que desorientan de manera intencionada, elementos que espacialmente no deberían estar ahí y no sólo por contexto con los planos anteriores, sino elementos físicamente imposibles al reinterpretar ese mapa espacial, como ventanas que dan a paisajes de exterior teniendo pasillos entre ellas o puertas y pasillos que no llevan a ninguna parte. Se jugó con eso ya que se pensó que el espectador normal no lo analizaría conscientemente, al ver la escena de la visita guiada o los reiterados trayectos que realizan los personajes a lo largo del hotel durante toda la primera parte, casi constantes y sin cortes de plano, inconscientemente, el espectador, no habría podido evitar hacerse una idea mental del mapa, haciéndole sentir confuso conforme avanza la trama, desorientado, e incluso molesto, sin saber tampoco exactamente por qué.

Mismo ejemplo de esta capacidad pero con distinta intención, en uno se pretende orientarse y en el otro se pretende desorientar al espectador para generarle malestar.

A continuación tenemos unos ejemplos del programa AbES en el centro Carrol, el cual ofrece servicios de ayuda para deficientes visuales.



Fig.102. Imagen de ejemplo del sistema de mapeado del programa AbES para el centro de ayuda a discapacitados visuales Carrol.

Podemos ver en la imagen posterior como, realizando una simulación interactiva entre el mundo real y virtual, se pueden recrear estrategias, teniendo como variables los tiempos para llegar a los objetivos, y los errores para mejorar las estrategias.

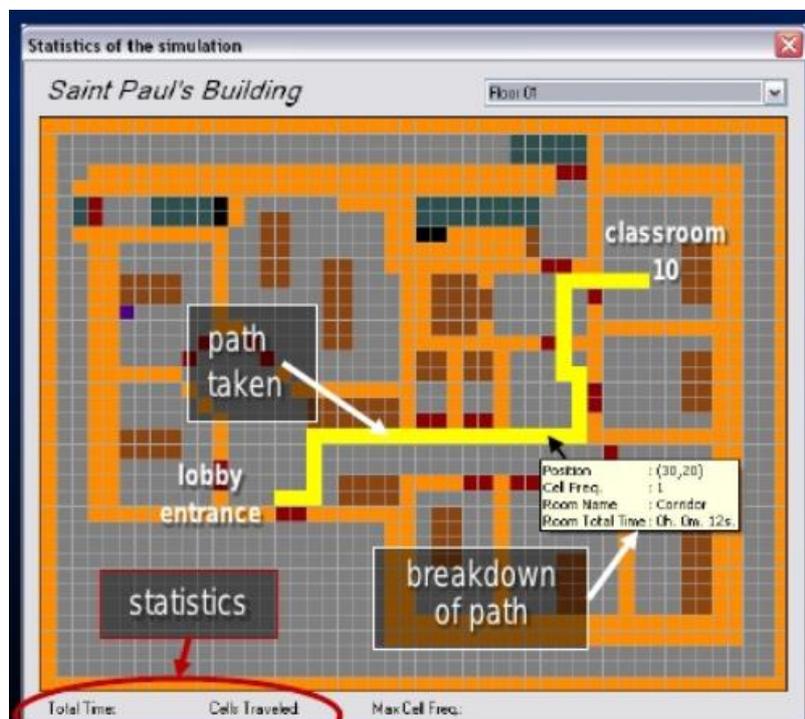


Fig.103. En esta imagen podemos apreciar lo que sería una rutina para ir a una clase.

En España, por ejemplo, tenemos un prototipo de visión virtual diseñado en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), Assistive Technology for Autonomous Displacement (ATAD), el cual incluye como novedad, aparte de todo el proceso de sonificación mediante imágenes, un sistema con dos cámaras para calcular la distancia al punto (algo similar a las grabaciones que se realizan en pseudo3D en los partidos de béisbol americanos, denominado comúnmente “falso 3D” el cual aporta matices de profundidad).

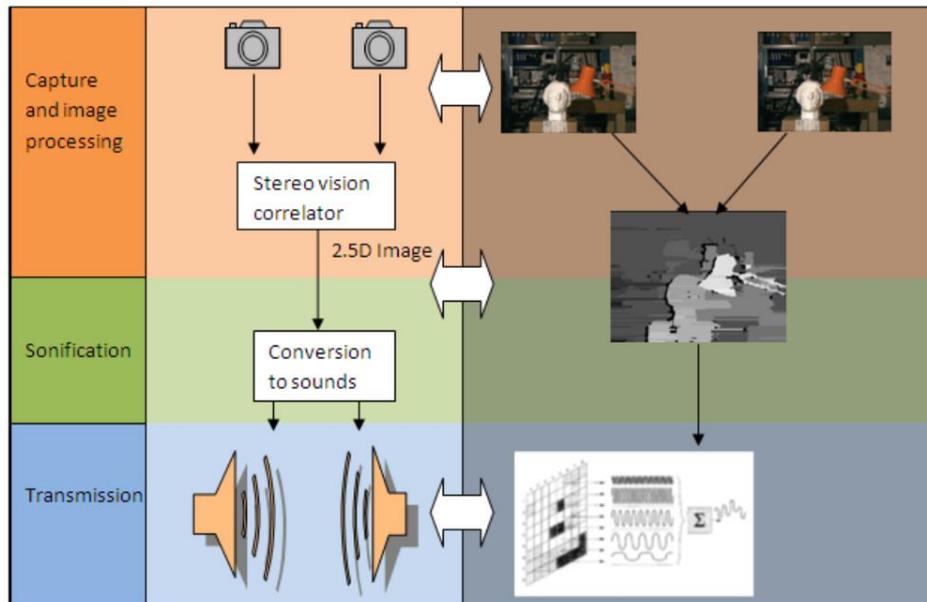


Fig.104. Se puede apreciar como mediante la estereovisión al hacer la diferencia entre las dos posiciones de las cámaras obtenemos una imagen en profundidad que sonifica distintos planos de profundidad en una imagen. Imagen obtenida de *Assistive Technology for Autonomous Displacement (ATAD)*.

El sistema pretende ser una herramienta al alcance de todos ya que existen otros dispositivos que no están económicamente hablando al alcance de la mayoría.



Fig.105. Prototipo usado en el proyecto ATAD.

Aquí se muestra un video del proyecto: <https://www.youtube.com/watch?v=Xb9-Ai6Yk7Q> , muy interesante ya que también muestra las sensaciones percibidas por personas invidentes que lo han probado y cómo estos aparatos ofrecen una posibilidad de orientación, éste en concreto también pretende garantizar un precio competitivo y al alcance de todos.

Para más información sobre este proyecto se puede acceder directamente desde el portal de la universidad:

http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/ayuda_ceguera

Este diseño español se basa en diversos prototipos funcionales ya existentes en el mercado pero no comercializados en nuestro país (al menos expresamente), aquí se exponen dos videos muy representativos de las sesiones experimentales del proyecto financiado por la NSF, 0946035, titulado "Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound"(viabilidad de un dispositivo de sustitución sensorial dando a los discapacitados visuales la visión a través del sonido), de 2010, ejecutado por MetaModal LLC en Pasadena, California. En el primer video podemos observar como un invidente localiza objetos del suelo y los diferencia.



Fig.106.Imagen del experimento "Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound"

Video: https://www.youtube.com/watch?v=6_sfEWkfSgl&feature=youtu.be

Comentario: Se puede ver a una persona ciega localizando objetos del suelo y diferenciarlos, incluso describiendo algunas propiedades de estos. El objetivo final es que localice un clip.

En este otro video podemos observar como un invidente juega una partida al juego de las tres en raya.

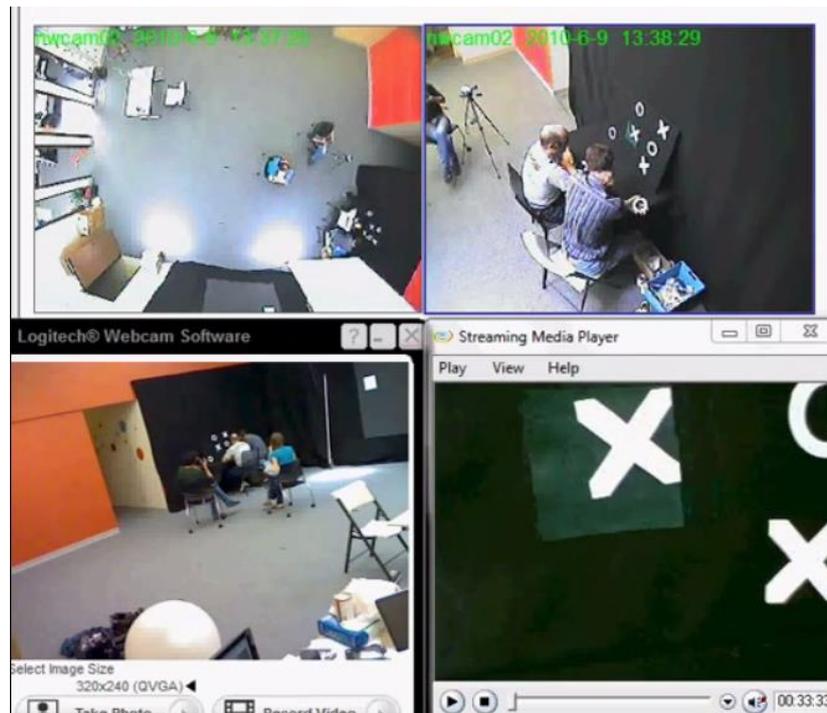


Fig.107. Imagen del Segundo experimento “Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound”

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=GOtMw9BdxEw&feature=youtu.be>

Comentario: este vídeo es uno de los más impactantes, el invidente juega contra un oponente al juego de las tres en raya, situando las fichas sobre un tablero. Indagando, me pareció interesante como comentario, que el invidente comentaba que podía ver las fichas y las posiciones pero (a veces) no entendía el funcionamiento del juego, cosa que no comprendían muchas de las personas que estaban evaluando el experimento. Finalmente asumieron que posiblemente entender el juego para una persona que nunca ha podido ver pueda ser igual de complejo que resulta percibir la información a través los sonidos para una persona acostumbrada a ver.

6. SISTEMA DE COMUNICACIÓN ALTERNATIVO PARA PERSONAS CON PARÁLISIS CEREBRAL

Este supone el diseño de mayor abstracción, vamos a partir de un sistema específico que conecta al cerebro con un software que traduce las ondas cerebrales, diseñado por el Centro de Regulación Genómica (CRG) de Barcelona. Actualmente este proyecto se encuentra en fase piloto-desarrollo, fase piloto el sistema de detección y en desarrollo el sistema de sonido.

El sistema en desarrollo convierte en tiempo real las ondas eléctricas que se producen en el cerebro y el objeto es crear una orquesta polifónica según el tipo de emoción y la reacción que provoca en el cuerpo un determinado sentimiento. Partimos del hecho de que no puede sonar igual la alegría más intensa que la pena más profunda. El dispositivo está pensado para "dar voz" a las personas con algún tipo de discapacidad motora que les impide comunicarse con facilidad con su entorno.

De forma similar a los procedimientos ya explicados en las aplicaciones y estudios del segundo diseño, aquí, en la siguiente imagen, podemos visualizar la interpretación de diferentes estados de consciencia en función de un análisis de escáner cerebral.

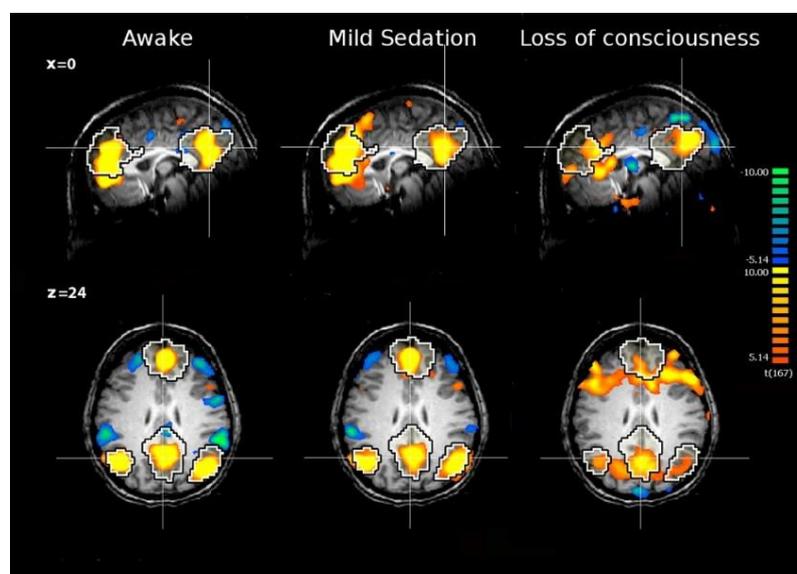


Fig.108. Diferentes estados de consciencia. Imagen obtenida de "Breakdown of within- and between-network resting state functional magnetic resonance imaging connectivity during propofol-induced loss of consciousness", apartado "Anesthesiology", Boveroux, P., Vanhaudenhuyse, A., Bruno, M. A., Noirhomme, Q., Lauwick, S., Luxen, A., Degueldre, C., Plenevaux, A., Schnakers, C., Phillips, C., Brichant, J. F., Bonhomme, V., Maquet, P., Greicius, M. D., Laureys, S., and Boly, M. (2010).

Puede que ya existan sistemas de traducción de señales cerebrales, pero éste es el primer prototipo que convierte los impulsos eléctricos del cerebro en sonido en tiempo real y no precisa de un control motor por parte del paciente (el movimiento de la retina de los ojos, por ejemplo) para ponerlo en marcha.

El sistema, denominado Brain Polyphony, consta de un casco y un software. El proceso comienza colocando el casco en la cabeza del individuo, que funciona como una interfaz que conecta su cerebro con un software que traduce sus ondas cerebrales en sonidos.

"Este sistema explora la posibilidad de crear un sistema de comunicación alternativa entre pacientes con parálisis cerebral. Así, sonificamos ondas cerebrales para proveer de un medio de comunicación a las personas que no pueden comunicarse", explica Mar Dierssen, jefa de grupo en el CRG y responsable del proyecto de interpretación de señales cerebrales.

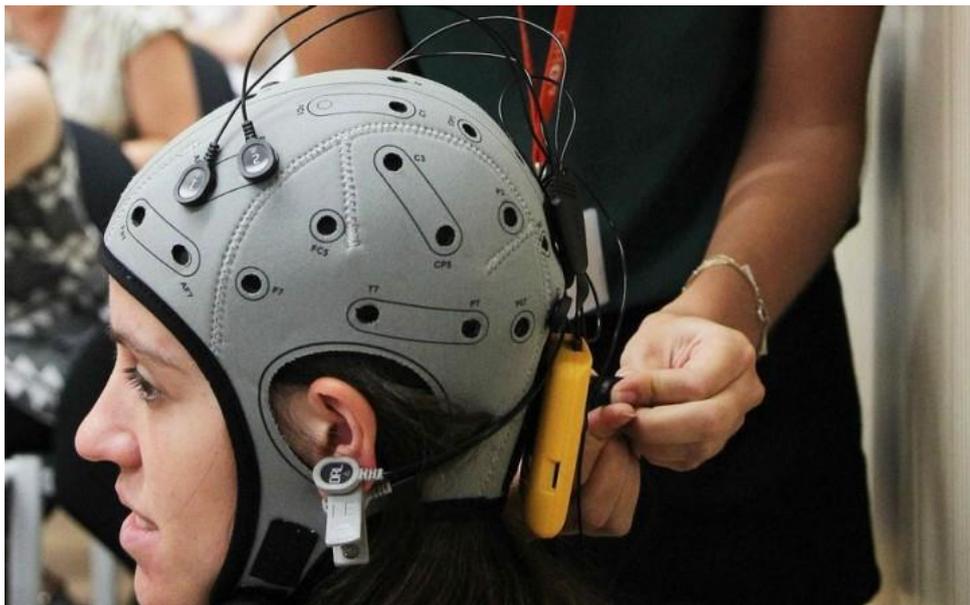


Fig.109. A través del casco, que se llama Enobio y se conecta con el organismo mediante electrodos, los científicos miden la actividad cerebral y cardíaca del paciente. Los sensores calculan las emociones a partir de los patrones cerebrales, cardíacos, musculares y de acelerometría que se generan en el organismo ante un determinado sentimiento. Imagen obtenida de "elpais.com".

El dispositivo recoge toda esta información y mide dos parámetros emocionales: la valencia, que indica si el sentimiento es agradable o no, y la arousal, que marca la intensidad de esa emoción.

"A partir de estos dos elementos somos capaces de mapear emociones concretas y darles un sonido", afirma David Ibáñez, investigador de la empresa de innovación Starlab, que ha participado en el proyecto CRG junto al equipo de investigación de Barcelona Research Art & Creation (BR::AC) en la Universidad de Barcelona.

Para este diseño partimos de que obtenemos, gracias al proceso de traducción de las ondas cerebrales, los estímulos serán captados en forma de variables, es decir, vamos a evitar entrar en todo el proceso que no está dentro del ámbito de la sonificación, y vamos a partir de que, de este proceso, se generarán las condiciones que marcarán el patrón en la composición algorítmica, el ritmo y el tiempo musical de la composición, la intensidad en conjunto y por separado de los elementos que intervendrán en la composición, saltos de octava y dirección en la que se producirán estos, instrumento seleccionado... y la evolución de todos estos elementos.

A continuación podemos ver en la siguiente imagen lo que se denomina un "mapa de síntomas" bastante significativo desarrollado por Dimitri M. Kullmann en su libro "Brain, A Journal of Neurology". En la gama cromática de colores se hace una analogía espaciando sensaciones, digamos que, respecto a los mapas cerebrales que hemos ofrecido anteriormente, este sería el más específico en cuanto a estados de ánimos. El color azul se asocia a la denominada "memoria del trabajo" la cual podríamos asociarla a almacenamiento temporal de información (memoria a corto plazo), el color amarillo a velocidad de procesado (movimiento) y el color rojo como inteligencia emocional (zona emotiva. Sumando todos estos niveles se genera un nivel neutro (blanco) y las combinaciones propias entre uniones de dos estados intermedios. En la imagen, el escáner cerebral ha sido realizado por capas, como si hubiesen sido tomadas a modo de rebanadas horizontales de secciones del cerebro de arriba abajo.

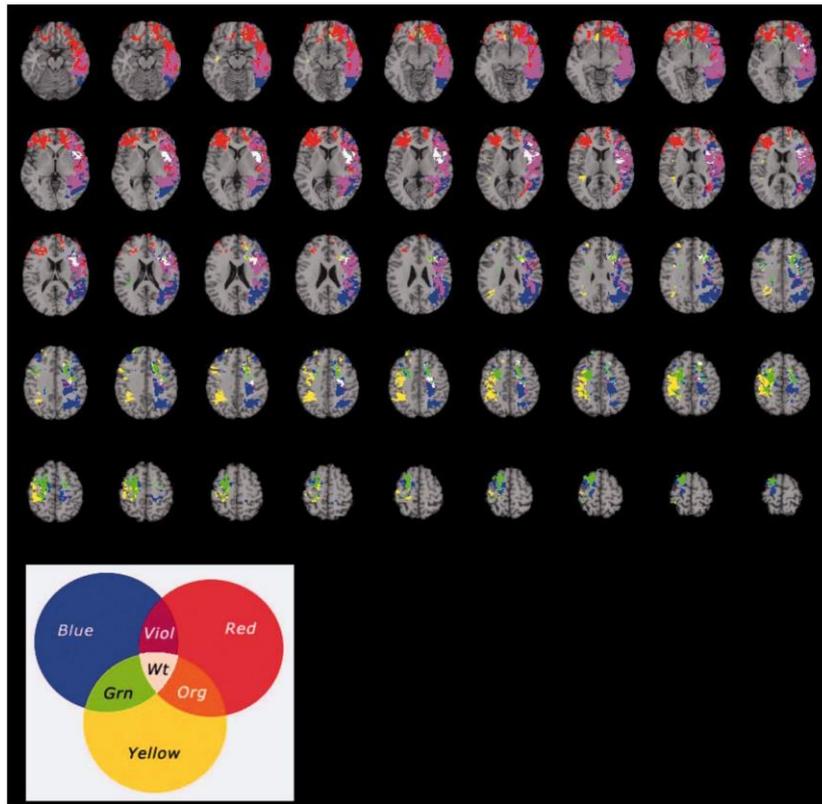


Fig.110. Mapa de síntomas extraídos del libro *Brain, A Journal of Neurology* de Dimitri M. Kullmann, extraído de Oxford University Press Journals

Como introductorio al siguiente apartado partamos de dos sentimientos antagónicos, alegría y tristeza, en un estado violento de alegría estaría el éxtasis, un estado relajado de tristeza podría considerarse apatía, y un estado intermedio entre alegría y tristeza sería melancolía; la idea al sonificar será proporcionar en la composición un claro patrón de alegría o tristeza basándonos en una escala mayor o menor, acentuar el énfasis de esa sensación basándonos en la amplitud sonora tiempo de notación musical, la evolución de estos estados en el patrón temporal y la tensión en la dispersión estructural del rango de frecuencias en la composición (marcando altos contrastes de alturas entre unas notas y otras, generando picos de tensión, como sucede por ejemplo en la música del cine de suspense o terror). Veremos si un sentimiento es agradable o desagradable y si es excitante o tranquilizante respectivamente.

6.1. CARACTERÍSTICAS

Schopenhauer afirmó que "la música puede ser comparada con una lengua universal, cuya cualidad y elocuencia supera con mucho a todos los idiomas en la tierra".

Como se ha dicho anteriormente, es obvio partir del hecho de que, de poder escuchar emociones, no podrían sonar igual la alegría más intensa que la pena más profunda.

Las bases generales de la relación entre la estructura musical y las emociones humanas han estado vigentes en nuestra sociedad y han sido usadas por innumerables músicos, durante siglos, desde la época Barroca en Europa hasta la actualidad (en la actualidad, sin tener en cuenta la música clásica, con distintos matices).

Podemos afirmar de manera flagrante cosas como que claves mayores y tiempos rápidos causan alegría y que claves menores y tiempos lentos producen tristeza o que la disonancia produce un sentimiento de ansiedad, malestar o miedo, esto no es motivo de discusión.

Aquí por ejemplo podemos apreciar una clara diferencia que puede ser asociada a tristeza o alegría dentro de la música clásica:

- Fragmento de audio correspondiente a "Tristan und Isolde Prelude (Abridged)" de Richard Wagner interpretado por la Boston Symphony Orchestra, dirigida por Leonard Bernstein:

Audio: http://webs.ono.com/pfg_sonif/Wagner.mp3

- Fragmento de audio correspondiente al Concierto para flauta "Il gardellino" de Antonio Vivaldi interpretado por el flautista Horacio Franco y la Orquesta Filarmónica de la Universidad Nacional Autónoma de México:

Audio: http://webs.ono.com/pfg_sonif/Vivaldi.mp3

Un ejemplo en estos últimos tiempos podría ser claramente la música en la cultura del cine, aquí exponemos otros dos ejemplos que claramente corresponden intencionadamente a diferentes estados emocionales:

- Fragmento de audio correspondiente a Polymorphia, compuesto por William Friedkin, interpretado por The National Philharmonic Orchestra, dirigida por Leonard Slatki, perteneciente a la banda Sonora de la película “The exorcist”.

Audio: http://webs.ono.com/pfg_sonif/Polymorphia.mp3

- Fragmento de audio correspondiente al tema principal de la película “Indiana Jones”, compuesto por John Williams e interpretado por la Orquesta Sinfónica de Londres:

Audio: http://webs.ono.com/pfg_sonif/Williams.mp3

En el primer diseño se explicaba como percibíamos el sonido, a continuación vamos a ver como percibimos la música.

6.1.1. PERCEPCIÓN MUSICAL

Partiendo de la percepción del sonido descrita en los anteriores diseños, describiremos procesos cognitivos de la memoria especializada en la diferencia estructural de patrones musicales.

- Estructura melódica. Una melodía es una sucesión de cosas, puede haber una melodía de objetos, una melodía de timbres, incluso una sucesión de acordes podría ser considerada, en cierto modo, como una melodía de acordes, pero, normalmente, la melodía se entiende en su concepto más restrictivo: una sucesión de sonidos y silencios organizados de tal forma que suministren coherencia, entidad y sentido propio. Dicho esto, una estructura melódica atañe a la percepción temporal de los elementos aislados (notas) que ascienden, descienden o permanecen, como contornos melódicos. Dentro de los contornos melódicos tenemos el ámbito (distancia entre la nota más aguda y más grave),

estructura interválica (movimiento en conjunto o por separado) y la forma (ascendente, descendente, en forma de arco, en forma de arco invertido, horizontal, ondulada o quebrada).

- Estructura armónica. El sonido proviene de aquellas vibraciones transmitidas a través del aire y capaces de dar lugar a una sensación auditiva (cuando cumplen determinados requisitos de frecuencia, intensidad, etc.). Las vibraciones pueden presentar caracteres muy diferentes, la vibración que tiene lugar en un diapasón es prácticamente un tono puro o una vibración armónica simple (o senoidal) mientras que para cualquier instrumento musical la vibración no es nunca simple sino una mezcla de diversas formas de vibración (que llamamos parciales) cuyas frecuencias constituyen habitualmente valores múltiplos de una frecuencia llamada fundamental, los parciales se denominan armónicos y forman una “serie armónica”. Relacionado con armonías de tonos aislados y de los compuestos y los timbres.
- Estructura temporal. Este elemento tiene que ver con la percepción de ritmos y métricas. Se puede afirmar que puede existir ritmo sin melodía pero no al contrario, melodía sin ritmo. El ritmo es inherente a la melodía, tanto es así, que las mismas notas tocadas con ritmos diferentes producirán melodías distintas.
- Estructura dinámica. Marca las relaciones entre volúmenes dentro de un sonido y la evolución del volumen en los sonidos consecutivos.

6.1.2. LA PROGRESIÓN MUSICAL COMO ESTÍMULO

Las escalas más utilizadas dentro de la música occidental son, marcando una amplia separación, la escala mayor y la menor. Las notas se distribuyen según relaciones entre sus frecuencias. Para las 12 notas de una octava, en las escalas mayores, los semitonos aparecen después de la tercera y la séptima nota y, en las escalas menores, los semitonos aparecen en la segunda y quinta nota.

Por la ubicación de estos semitonos, la tercera es la primera nota que va a revelar el tipo mayor o menor de una escala. La nota tercera en una escala es mayor cuando está dos tonos (cuatro semitonos) por encima de la tónica (la primera nota). La tercera es

menor cuando tenemos tres semitonos por encima de la tónica. Esto es lo que utilizaremos para la composición de escalas en la composición algorítmica.

Como ya hemos dicho anteriormente, los oídos tienden a percibir contrastes entre las notas mayores y menores. La escala mayor será percibida como algo positivo y la menor como algo negativo.

Aplicaremos mayor o menor tensión o relajación a ese estado positivo (feliz) o negativo (triste) con el uso de octavas por encima (más altas, más tensión) o por debajo (más bajas, más relajación).

La progresión temporal nos indicará, de manera complementaria también, en la progresión, como evoluciona esa sensación y con la mezcla de canales (instrumentos en este caso) ponderaremos las intensidades de estos.

6.2. PROCESO

Para relacionar los parámetros entre el patrón musical, la estructura dentro del diseño y la analogía interpretativa a la que este corresponde, se expone la siguiente tabla:

PATRÓN MUSICAL	ESTRUCTURA EN DISEÑO	ANALOGÍA CON EL SISTEMA
ESTRUCTURA MELÓDICA	COMPOSICIÓN ALGORÍTMICA, EN BASE A LAS ESCALAS MAYOR O MENOR	ESTADO DE ANIMO
PREDICCIÓN DE LA MELODIA (DISPERSIÓN DE LA COMPOSICIÓN)	RANGO DE FRECUENCIAS DE LA COMPOSICIÓN	TENSIÓN, DISPERSIÓN, CONTRASTES
ESTR. ARMÓNICA	GENERACIÓN DE OCTAVAS	MATIZ CÁLIDO (OCT. MÁS GRAVE) O FRIO (OCT. MÁS AGUDA)
TIEMPO	TEMPO	VITALIDAD
RITMO	RITHM	INTENSIDAD DE LA ACTIVIDAD
TIPO DE ATAQUE	STACCATO/LEGATO	MATIZ DE CONTINUIDAD

TIMBRE	INSTRUMENTO	ATRIBUCIONES PERSONALES
ESTR. DINÁMICA	MEZCLA	DINÁMICA

Tabla 4. Relación de parámetros musicales con el sistema de comunicación y elemento de la estructura de bloques. Elaboración propia.

La composición algorítmica, que será aleatoria dentro de un rango de frecuencias delimitado por las escalas mayor o menor, el rango de frecuencias (el cual delimitará el abanico de notas que participarán en la composición) y octavas (ascendentes o descendentes correspondiente a la nota que saldría por ese flujo de datos en ese instante) forman parte del bloque Pitch.

El bloque Rhythm estará formado por el tipo de ataque, estacato o legato, el cual se implementará dentro de la mezcla Dynamics al controlar los bloques con Max/MSP, y las estructuras tempo y rhythm. El bloque denominado programa MIDI realizará la comunicación con el instrumento y el control de volúmenes a la salida de los canales se realizará mediante el bloque Mezcla (el cual corresponde a la estructura dinámica).

Para realizar este diseño de la manera más eficiente posible teniendo en cuenta el flujo de datos entre bloques se ha trabajado con Pure Data ya que permite trabajar fácilmente con procesos en paralelo y la dirección de los datos es bastante intuitiva ya que viene determinada por la conexión entre los objetos a través de cables, permitiendo redireccionarlos en tiempo de ejecución.

Los objetos para conectarse entre sí poseen entradas y salidas (llamados inlets y outlets respectivamente) que permiten que la información pase de un objeto a otro u otros. Para la mayoría de los objetos la entrada de la izquierda es la "hot inlet", debido a que el objeto sólo devuelve información cuando recibe algo en esta entrada. El resto de las entradas, por lo general, solamente guardan los datos a ser procesados, pero la operación sólo se resuelve en el momento en que la entrada izquierda es activada. Es importante decir que el flujo de datos es siempre de arriba hacia abajo, en la parte superior de los objetos se encuentran las entradas, y por debajo las salidas.

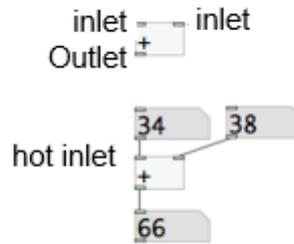


Fig.111. Aquí tenemos un ejemplo de estructura

Haciendo una comparación con los lenguajes de programación orientados a objetos, las cajitas son en realidad objetos o funciones implementados dentro de un objeto gráfico.

Los elementos que Pure Data utiliza para la programación van desde objetos, mensajes, números, símbolo, comentarios u objetos gráficos. Vamos a establecer unos conceptos básicos de cada elemento con sus correspondientes símbolos⁴:

- Objeto: Su comportamiento dependerá del texto que tenga introducido en él mismo. El programa tiene unos objetos predefinidos, programados por terceras personas en diferentes lenguajes como puede ser C. El Pd reconoce el tipo de objeto y esa caja ya se comporta como tal.

 Aquí tenemos el símbolo de la caja de objeto en la que tenemos que seleccionar el tipo de objeto, line,+, osc~, noise...

- Números: Su utilidad puede ser diversa, desde la de controlar el valor que tiene la señal en diferentes puntos del patch, hasta la de inicializar valores que se pasan a objetos que controlan, por ejemplo, un nivel de opacidad de una imagen.

 Aquí tenemos el símbolo de la caja de número en la que se pueden cambiar valores en tiempo de ejecución

- Mensajes: Están provistos de información que se pasa a los objetos.

 Aquí tenemos la caja de mensajes en la que debemos elegir dentro de la caja el mensaje que va a ser enviado a otro objeto, desde variables a datos

⁴ Los símbolos con su explicación y las estructuras han sido extraídos de Pure Data, las imágenes son de elaboración propia y por no repetir la información ya que en algunos casos como el de los símbolos estaríamos repitiendo constantemente la información, a partir de este momento serán tratados como texto informativo y no figuras, ya que pese al formato aluden a información textual, ya que son códigos, lo que pasa es que poseen entorno gráfico.

- Símbolo: Este objeto guarda un símbolo hasta que recibe un [bang] u otro símbolo. Es entonces cuando este símbolo sale del objeto, por la parte inferior de la caja. Estos objetos se ofrecen sólo en Pd si tienes descargada y correctamente instalada la biblioteca apropiada. No tienen porqué existir en las bibliotecas sencillas, aunque acostumbran a estar incluidas en los archivos de instalación.

Dentro de los tipos de datos tenemos:

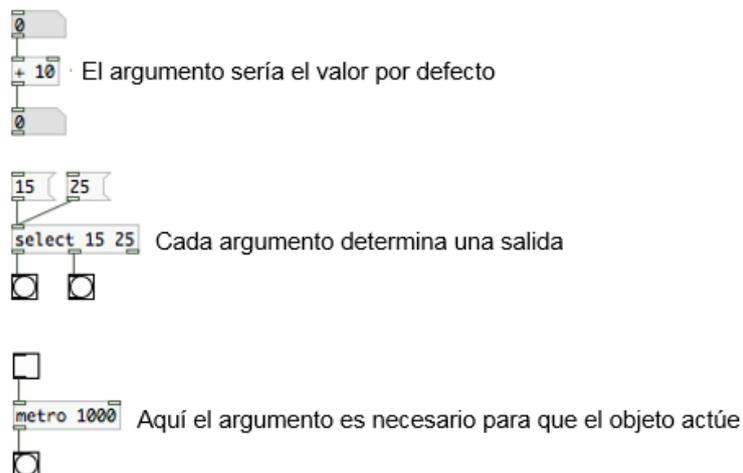
 13.2 Float, numero flotante (32 bits), podemos alterar la parte decimal con shift

 hola symbol, cadena de caracteres

 12 7 9.3 hola bang list, listas

 bang  Mensaje propio de Pure Data que significa algo asi como "acción"

Los argumentos son valores iniciales, o por defecto, que determinan el comportamiento del objeto, las entradas del objeto sirven para modificar el valor inicial del argumento. En ese caso el dato que vale es el último que entró y el argumento queda sin efecto.



Dentro de los objetos más importantes tenemos:

- El Oscilador. El objeto [osc~] nos genera una señal sinusoidal. La frecuencia de oscilación dependerá del valor que se introduzca en la entrada que tiene el objeto en la parte superior izquierda. Siempre que coloquemos un oscilador, tenemos que colocar también un multiplicador y un convertidor digital analógico (dac~). Esto se hace porque el "osc~" por defecto posee la amplitud máxima en 1, por

eso la multiplicamos por 0.01 para reducir su amplitud y luego enviarla al “dac~”. El objeto “dac~” tiene dos entradas que hacen referencia a los dos canales de salida de la tarjeta de sonido de tu máquina.

- Bang. Un [bang] tiene como función la activación de la acción que tiene inmediatamente conectada después.
- metro_pd. Metro, envía series de [bang] periódicamente. Lo crearemos escribiendo la palabra “metro” dentro de un objeto. Este objeto tiene dos entradas, la de la izquierda acepta [bangs]. Hace que el metro empiece a funcionar; asimismo acepta mensajes con el texto “stops”, deteniendo el funcionamiento del metro. También podemos enviarle cualquier número diferente de cero para activarlo. Si se le envía un cero el metro deja de enviar [bangs]. En la entrada de la derecha le introducimos el número que rige la periodicidad del envío de bangs, la unidad de este valor son los milisegundos. Dentro de la misma caja de [metro], después de la palabra metro y seguido de un espacio se introduce un número que el objeto ya lo entiende como el periodo.
- Start, ejecuta los objetos del patch que tiene conectado a él mismo.

Para unificarlo todo utilizaremos Max/MSP por la interfaz gráfica y el control sobre el flujo de datos que permite durante la conectividad de bloques.

6.2.1. COMPOSICIÓN ALGORÍTMICA

Situado dentro del bloque Pitch, pero mostrado como elemento externo por su valor como parámetro expresivo, tenemos la composición musical, en la que, en el conjunto total del bloque Pitch, se generan los saltos a los que cargamos el tipo de escala permitiendo añadir posibles notas a la composición y la posibilidad de octavas integradas a la composición por arriba y por debajo. Técnicamente no estamos dentro de una composición algorítmica puramente representativa ya que simplemente estamos delimitando el recinto de notas posibles aleatorias en una reducida zona delimitada por los cambios pertinentes entre una escala mayor o menor, por lo que, como concepto

estricto sí que estaríamos dentro de este campo pero meramente como herramienta no como estudio de composición ya que no realizamos muchos cambios dentro de estas bases ni adentraremos en el estudio puesto que esta fuera del ámbito del proyecto.

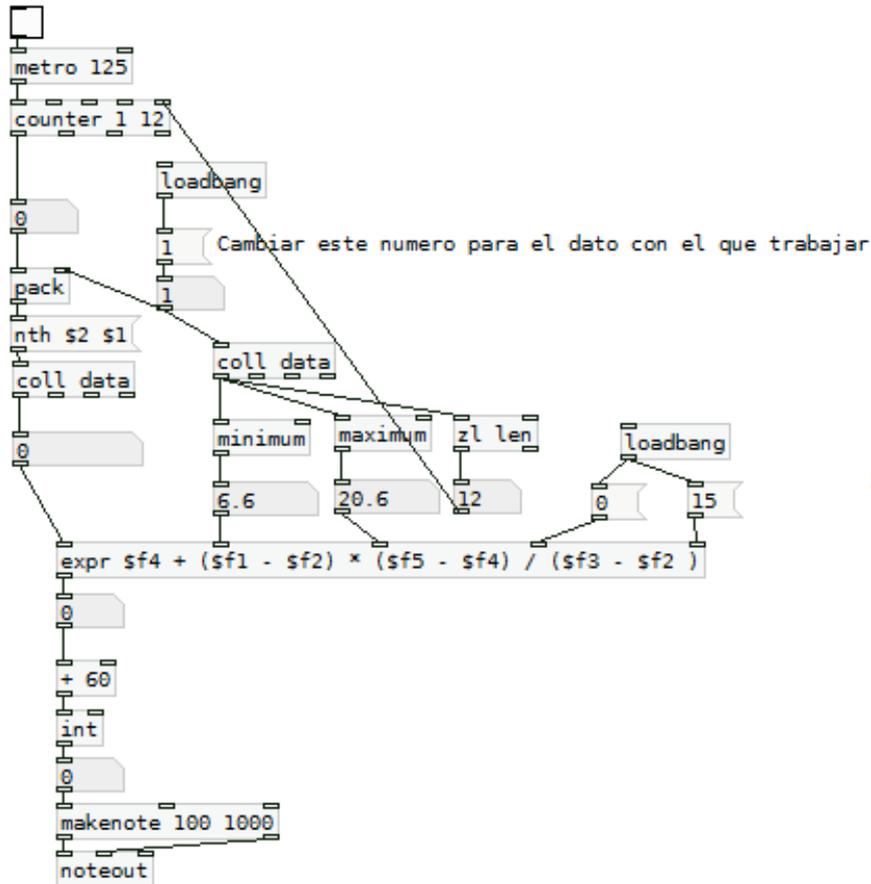
A esta rutina se le cargan los valores de las listas, abriendo el rango de valores abrimos el umbral de posibilidades.

La definición de escalas corresponde a este bloque:



Se ha utilizado el criterio expuesto anteriormente en el apartado de generación de escalas, para las escalas mayores, los semitonos aparecen después de la tercera y la séptima nota y, en las escalas menores, los semitonos aparecen en la segunda y quinta nota.

El bloque genérico de Pitch está conectado con el bloque de octavas (se verá a posteriori, muy similar a este pero con la opción de octavar la nota resultante) y el bloque de escalas, el contenido del bloque principal sería:



6.2.2. PROGRAMA MIDI

Para usar el protocolo MIDI de comunicaciones utilizaremos los objetos midiin y midiout. Habilitaremos 4 instrumentos posibles para poder ofrecer distintos matices en la composición algorítmica. Todos estos instrumentos participaran dentro de la misma estructura temporal rítmica pero cada uno podrá tener diferente nivel de pulso métrico (duración de las notas), que podremos cambiar manualmente.

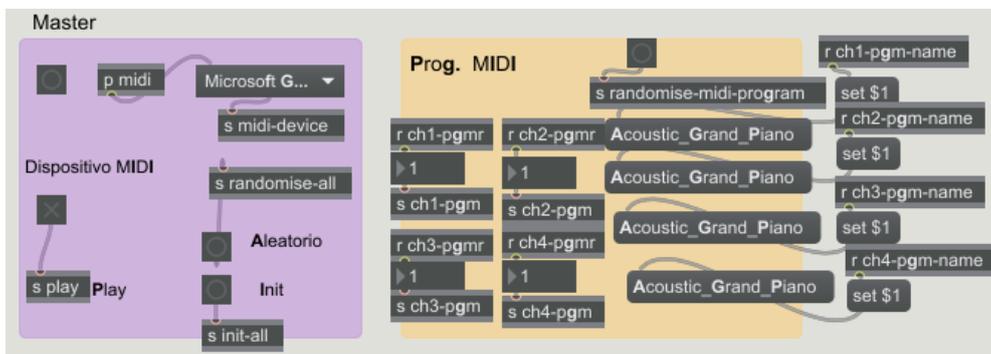


Fig.112. Representación del bloque MIDI y control en Max/MSP

Para exponer el comportamiento de la composición empezaremos utilizando el grand piano para simplificar y ya a posteriori, dándoles un contexto, cambiaremos de instrumento.

Véase lista de instrumentos MIDI en Anexo.

6.2.3. RYTHM

Una vez marcado un tiempo vamos marcando las salidas de esas notas en función de la duración de las notas, 4 redondas, 2 blancas, 1 negras, 0.5 corcheas, 0.25 semicorcheas y 0.125 fusas

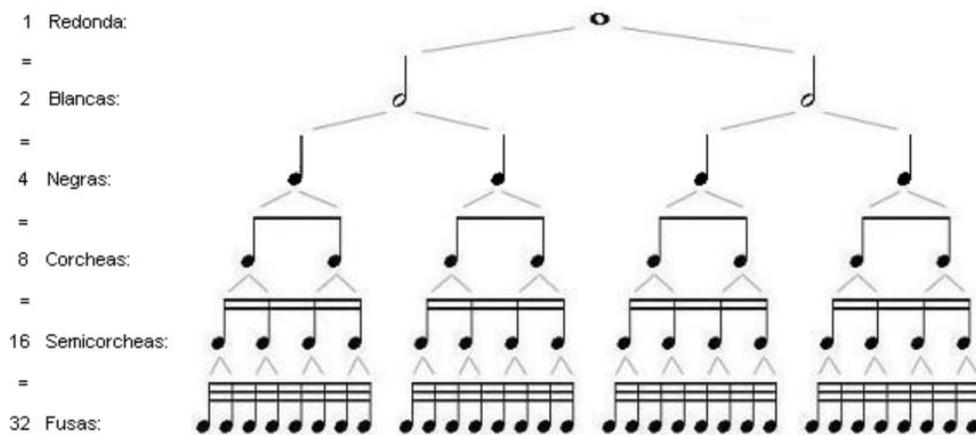


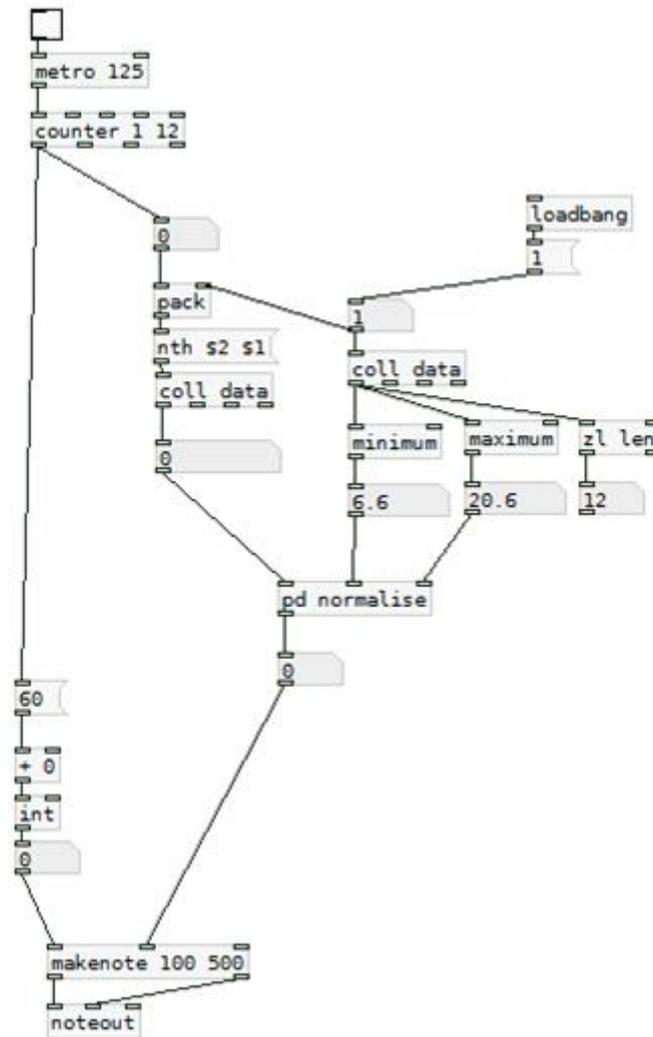
Fig.113. Aquí podemos ver la descomposición musical de las notas musicales en base a la duración, tomando a la negra como unidad de tiempo. Imagen extraída de la escuela musical de cornetas y tambores de Castilleja de Guzmán.

En primer lugar se cargan los valores de tiempo y posteriormente en el bloque de velocidad lo que haremos será desmembrar ese campo en los pulsos para emitir las notas.

```
loadbang
{
  .
  rhythm-values-16th 0 125 250 375 500 625 750 875;
}
```

```
table rhythm-values-16th
```

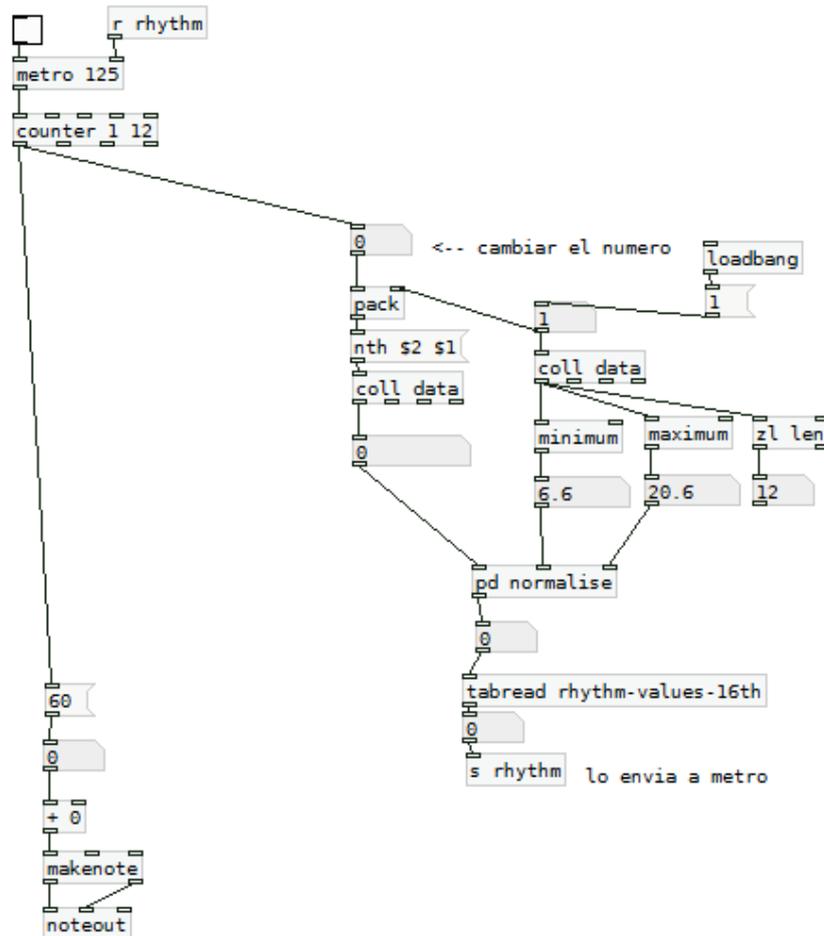
En el bloque de velocidad contamos los eventos posibles en función de la longitud y mantiene el flujo de notas durante ese evento de tiempo. El bloque correspondiente a este apartado es:



TEMPO

El tiempo marcará la velocidad de toda la estructura, correspondiente a los cuatro instrumentos ya que no podemos mezclar tiempos puesto que estamos hablando de usar el concepto musical como elemento de sonificación, aunque también resulta interesante mostrar arritmia, generando una disonancia entre elementos para indicar que algo no va bien, ya que es bastante perceptible al oído.

Con este bloque delimitamos el flujo de dato dentro de un mismo marco para que cuando se aumente la velocidad se mantenga la negra de referencia. El bloque que corresponde a esta regulación del flujo de datos es el siguiente:



STACCATO/LEGATO

Esta parte la realizamos al montar los dispositivos con Max/DSP. Con Max/DSP podemos controlar de manera más sencilla el flujo de datos de manera jerárquica, interconectando los moldes mediante la interfaz gráfica, Pure Data puede ser considerado por algunos un método de pseudoprogramación por el control de bloques mediante interfaces gráficas y en el caso de Max/DSP este matiz se lleva hasta el extremo ya que está enfocado a un uso más comercial, lo que genera menos control a la hora de diseñar, pero, pese a parecer

contradictorio, en combinación, a la hora de montar los bloques, permite controlar elementos de esa cadencia en el flujo de datos que independientemente no se podría realizar.

El staccato (en italiano "despegado") en notación musical es un signo de articulación que indica que la nota se acorta respecto de su valor original, es decir, atendiendo a la interpretación, que resulta separada de la nota que va a continuación por un silencio.

El legato (en italiano, "ligado") en notación musical es un signo de articulación representado mediante la ligadura, la cual indica el modo de ejecución de un grupo notas musicales de diferentes alturas, interpretadas sin articular una separación entre ellas mediante la interrupción del sonido.

Por lo que staccato y legato son dos cosas totalmente distintas, y eso nos interesa.

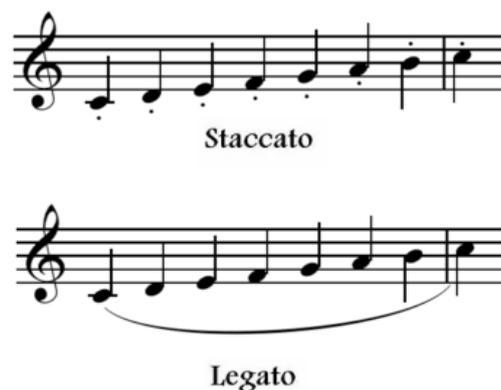


Fig.114. Escala diatónica de Do, en staccato y legato. Imagen elaboración propia a partir de recortes en Wikipedia.

En el mundo real, físico, la técnica interpretativa variará en función del instrumento musical que deba ejecutar el signo de articulación pero aquí no.

Al tener localizados los puntos de salida por separado será en esa parte del sistema en la que realizaremos la prolongación de notas o acortamiento en seco y el balance de amplitudes posterior, denominado "mezcla", por canales individuales y en conjunto total (master).

El bloque estructural correspondiente a este apartado en la conexión mediante Max/MSP es el siguiente:

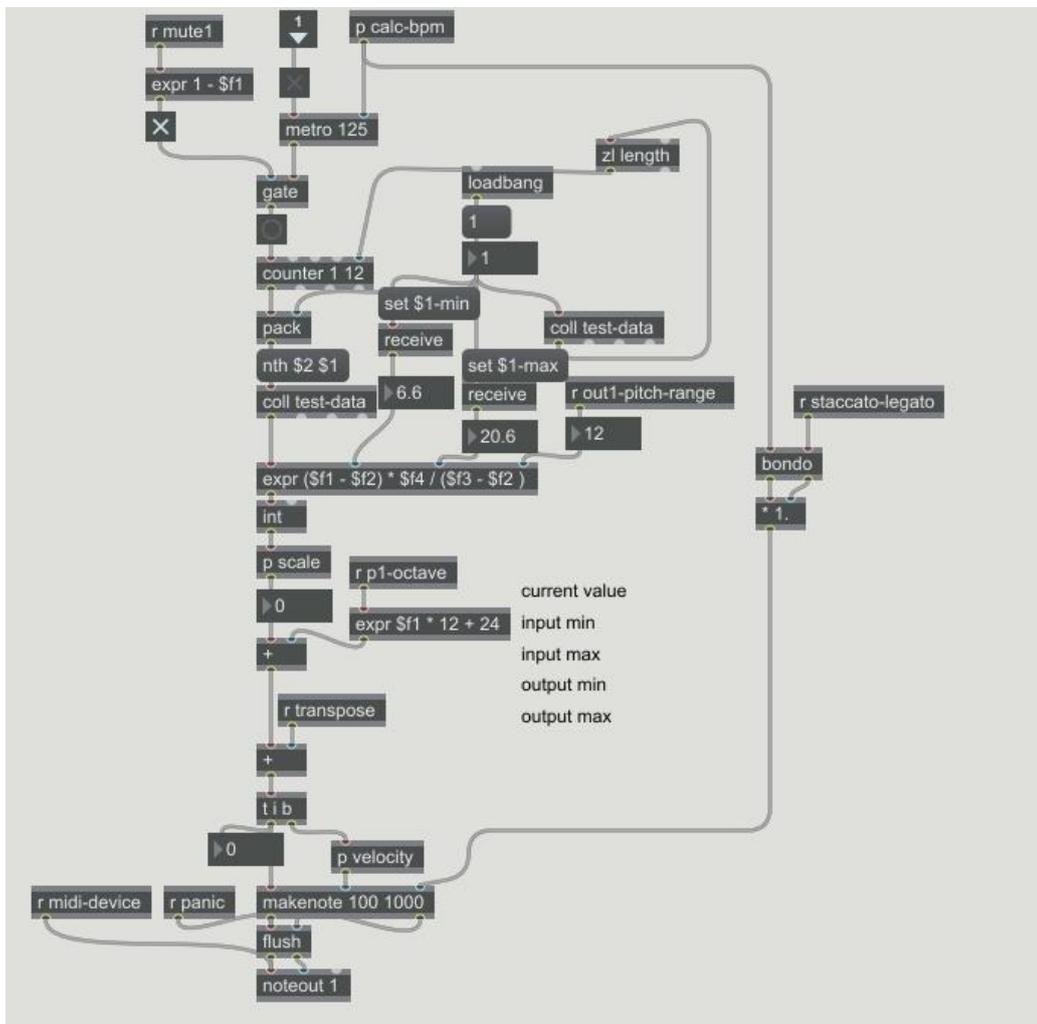


Fig.115. Interconexión de módulos en Max/MSP

Max/DSP permite introducir multitud de paneles interactivos para realizar un entorno más dinámico pero hay que tener cuidado ya que posteriormente hay que programar esas conexiones y pueden dar algún error ya que no tenemos un control absoluto sobre el flujo de datos puesto que a veces el sistema no interpreta correctamente los elementos y decide cargar muchas variables con información predefinida, lo que genera un tremendo caos a tener en cuenta. También puede desarrollarse manualmente pero este sistema ofrece muchos recursos a modo de “widgets” que, utilizados bien resultan muy cómodos.

En la siguiente imagen tenemos el bloque Rhythm al completo.

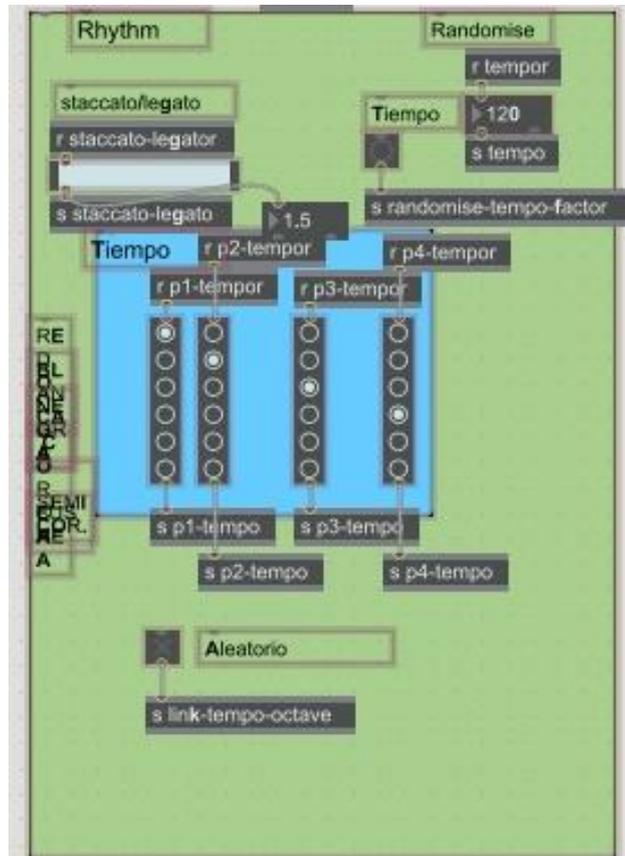


Fig.116. Representación final del bloque Rhythm en Max/MSP.

El tiempo que se aplicará a todo el conjunto y a partir de este parámetro se puede ver como se estructurarán los cuatro elementos que corresponderán a los cuatro instrumentos en ese bloque azul. Aquí se descompondrán las notas musicales en función de su duración de menor a mayor número de pulsaciones, es decir, que empezaremos de arriba abajo por redondas, blancas, negras, corcheas, semicorcheas y fusas. El último bloque que queda es el staccato/legato en el que podemos simular este efecto (que aunque esté puesto como slider sólo acepta dos posiciones).

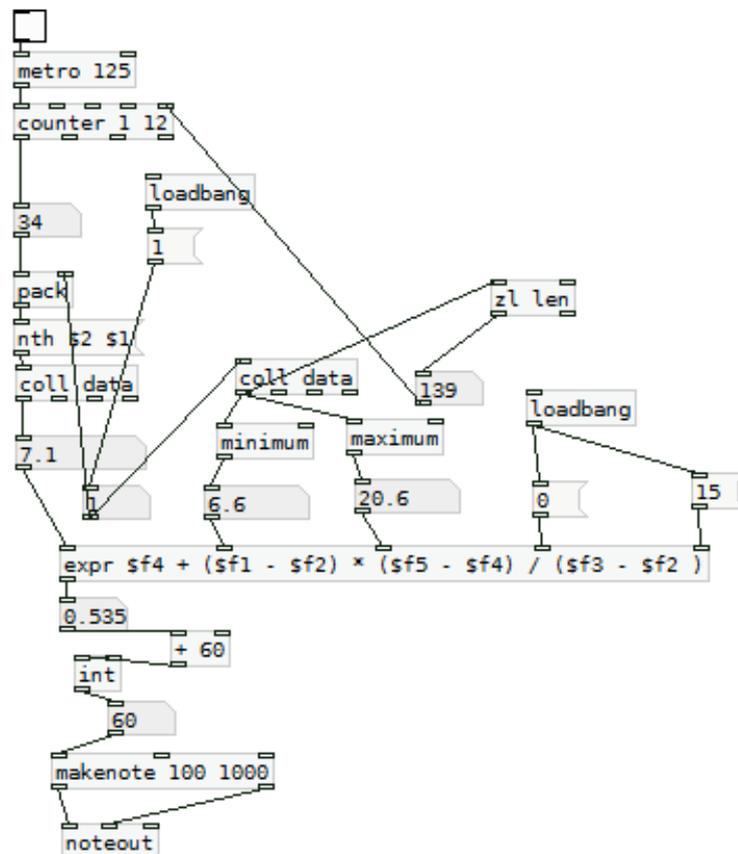
6.2.4. PITCH

Anteriormente en el apartado de composición algorítmica no entramos estrictamente en el proceso de generación de octavas ya que en el contexto de sonificación este proceso forma parte del Pitch. Esta parte en conjunto con la composición algorítmica es la que permite pasar de una octava a otra de manera independiente y marcar el abismo que se deja frecuencialmente entre instrumentos.

ESCALA

En el bloque de Pitch-scale se contempla el rango de valores frecuenciales entre los que se dirigirá el flujo, delimitado por las escalas. Conforme más frecuencias entren más abanico de notas tendrá la melodía. Se necesita un mínimo margen para poder generar suficientes notas para apreciar una escala concreta.

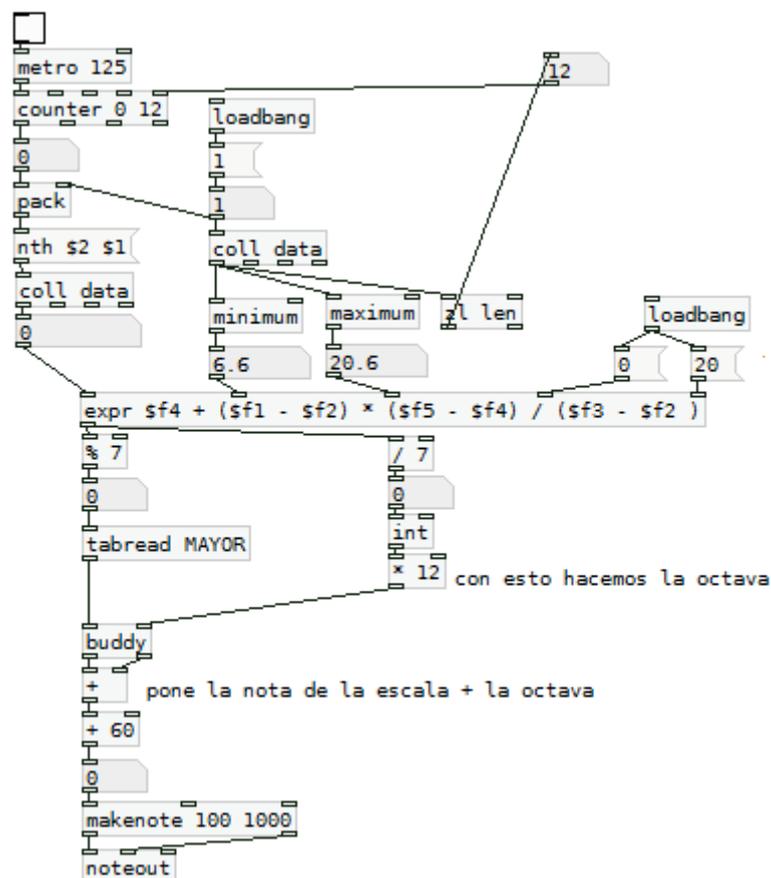
El bloque correspondiente a este apartado es:



OCTAVA

En el bloque denominado Pitch-scale-octav se encuentra el mismo proceso anterior de Pitch pero multiplicando el valor que sale del bloque de composición para realizar la octava. Dependiendo de si subimos o bajamos esa frecuencia respecto a la que debe de salir a lo largo de sus múltiplos fundamentales estaremos cambiando la nota que resulta en una octava superior o inferior.

La estructura de flujo correspondiente a este bloque es la siguiente:



El bloque final de Pitch interconectado mediante Max/DSP dispondrá de varios elementos relacionados con el control de este parámetro. Con pitch-range establecemos el umbral de frecuencias que se establece para la composición algorítmica y que atañe a los cuatro instrumentos por separado. Esto establece las notas que entran en la composición, si el rango de frecuencias es uno estaremos emitiendo una composición aleatoria sobre un solo elemento a elegir, si pasamos a dos, tendremos dos notas para elaborar una melodía. Es obvio que para que tenga unos matices de escala mayor o menor hacen falta un mínimo de notas que son las mínimas necesarias para decantarnos por una escala u otra. En este

bloque también podemos cambiar de la escala mayor a la menor. En el bloque central se han establecido unos controles para pasar de una octava a otra, en función de los múltiplos de frecuencia, conectando el bloque anterior.

El resultado de los módulos conectado con Max/DSP es el siguiente:

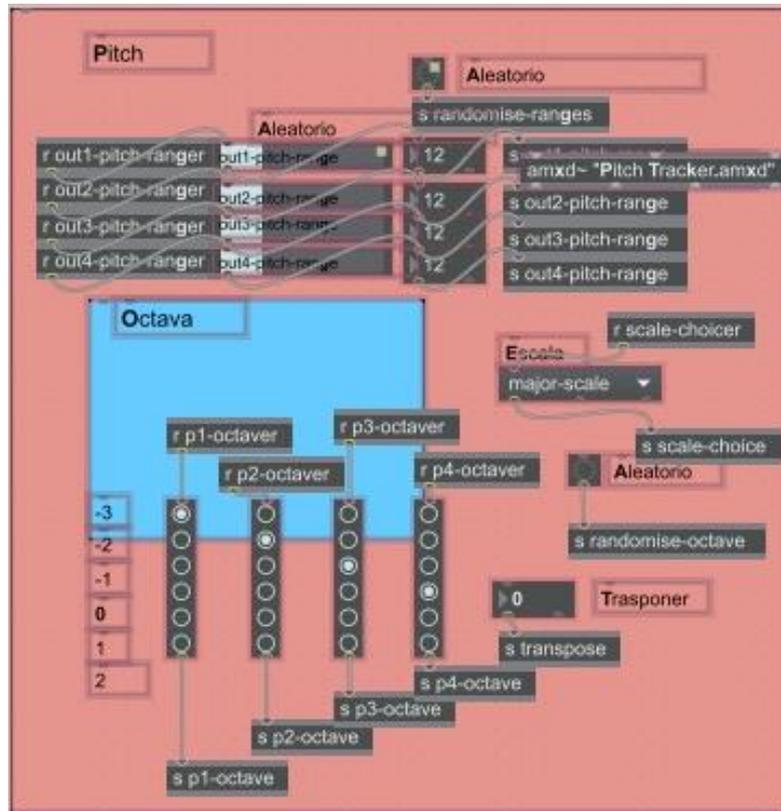


Fig.117. Representación final del bloque Pith en Max/MSP.

6.2.5 MEZCLA

Este apartado es una de las claves por las que se usó la versión comercial de Pure Data, Max/DSP, ya que nos permite muy cómodamente controlar el nivel de flujo y nivel sonoro de todos los instrumentos de manera individual y en conjunto de una manera compacta y visual.

Esto resulta relevante para poder ajustar el nivel de intensidad de lo que podría ser la actividad cerebral que se desarrollase en el paciente ya que, por ejemplo, teniendo cada

instrumento jugando en una división de tiempos musicales diferentes podríamos ir ponderando niveles y generando niveles de estabilidad o inestabilidad conforme esa actividad fuese desarrollándose.

El bloque que corresponde a este apartado conectado mediante las salidas con Max/MSP es el siguiente:

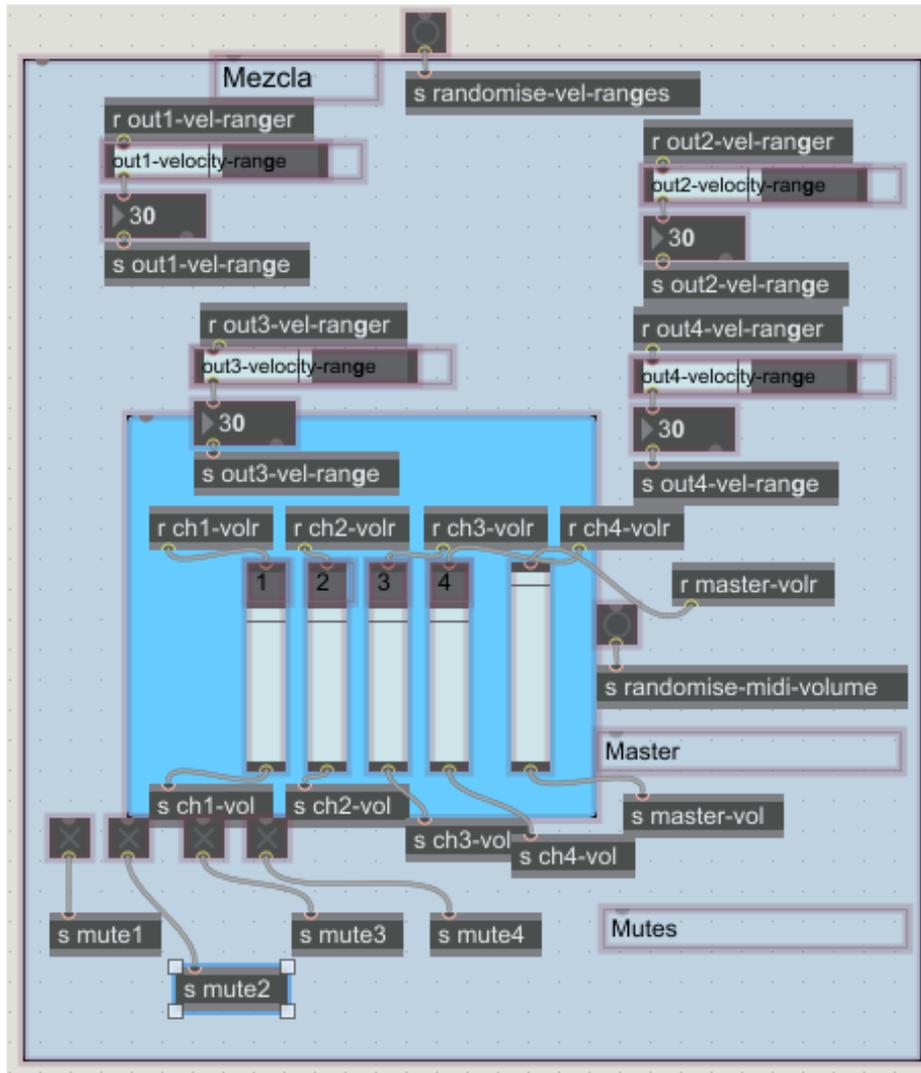


Fig.118.Representación final del bloque Mezcla en Max/MSP.

6.3. RESULTADOS

Para entender bien los resultados vamos a empezar por notas sueltas, con un solo instrumento. El resultado final será la superposición de muchos factores que, como en el diseño anterior, sin una ejemplificación escalonada, puede resultar algo difuso.

Vamos a empezar con el tiempo musical, normalmente trabajaremos a una velocidad de 100 BPM, hay que recordar que estamos hablando de música, ya no son sonidos cualesquiera, el rango operativo tiene que estar sujeto al solfeo, las redondas son 4 tiempos, las blancas 2, negras 1, corcheas 0.5, semicorcheas 0,25 y fusas 0,125.

El tiempo nos va a permitir darle un matiz de actividad, los cuatro instrumentos irán incrementando la velocidad en función de la efusividad de esos datos, la diferencia entre el crecimiento actual y el anterior en un nivel, cuanta más distancia y más pendiente exista, más súbito será.

El propósito no es hacer una banda sonora al enfermo ni que los resultados resulten artísticos (pese a estar hablando de composición musical), esto es importante que quede claro, hay que entender el contexto en el que se encuentran estos resultados. Aquí mostraremos los contrastes más grandes, eso significa que normalmente no se producirán estos niveles de respuesta, ya que nos basamos en una evolución temporal, en la toma de medidas de ese paciente que irá evolucionando en un tiempo y cómo de fuerte o bruscos son estos cambios. Se podrían mostrar evoluciones progresivas de cambios de estado pero esto se realizó inicialmente y resultaba algo confuso entender el objeto final por lo que lo que se muestra al final de los resultados de diferentes estados son los “tramos” representativos de cada cambio. Cabe indicar también que al ser aleatoria la composición en ciertos momentos de esas evoluciones progresivas se producían momentos que, por denominarlos de alguna forma, eran muy inoportunos, ya que un patrón aleatorio a veces, pese a la estadística, puede ser el mismo patrón repetido muchas veces (y esto no tiene que indicar necesariamente que no funcione correctamente la generación aleatoria).

Volviendo al tema del sistema de comunicación para personas con parálisis cerebral, contextualizando, el paciente estable no debería de producir ningún tipo de información relevante, de la misma forma que una persona no emite sonido al no hablar. Calibrar este aspecto y encontrar un umbral idóneo resultaría muy interesante y muy útil para que el resultado sea viable y no resulte molesto o carente de sentido, puesto que también existen mecanismos de comunicación no verbal que contradecirían el hecho de que una persona no emite información al no hablar.

Empezaremos con un solo instrumento y una sola nota que irá acelerándose:

Test 1.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/tiempos.mp3

Comentario: En primer lugar tenemos una nota musical acelerándose, oiremos como pasa de redonda a blanca, de blanca a negra, de negra a corchea, de corchea a semicorchea y de semicorchea a fusa. Tempo de 100 BPM.

Test 1.2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/tiempos2.mp3

Comentario: Mismo ejemplo que el anterior pero con un tiempo de 150 BPM.

Test 1.3

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/ligado.mp3

Comentario: Sobre una redonda vamos a diferenciar el staccato del legato. Con esto podemos establecer un matiz de continuidad o no en la progresión.

El nivel de intensidad irá marcado por la amplitud de cada instrumento, decidiendo si se pondera por separado, respecto a los otros, un instrumento, velocidad o dispersión de rango de frecuencias en la composición en concreto, generando esto diferentes situaciones en función de la intensidad del estado o mezcla de estados que se requiera, puesto que al ser independientes los instrumentos podemos mezclar en un mismo plano distintos matices.

Vamos a aplicar esta pauta sobre una nota de un instrumento:

Test 2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/amplitud.mp3

Comentario: Vamos a ver ahora el balanceo de amplitud sonora sobre una nota de un instrumento.

Las octavas nos van a permitir tocar la misma nota en distintas alturas, con lo que podremos enfatizar rasgos. Aquí tenemos un ejemplo:

Test 3

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/octavas.mp3

Comentario: Vamos a escuchar el cambio de octava de una nota, empezaremos de más grave a más agudo.

Abrir o cerrar el rango de frecuencias que contiene una escala mayor o menor nos da un matiz de dispersión. El nivel de intuitividad de la composición se irá perdiendo y generará campos más difusos, inesperados, impredecibles o borrosos, resultando para algunas personas hasta incómodos ya que no dan la tranquilidad que ofrece quizás el tener una melodía delimitada en un rango de valores más pequeño, controlada por así decirlo. Volvemos al tema de que estamos tratando de sonificar con una estructura musical, si se realizan altos cambios en la música de manera brusca resulta molesto o si esos cambios bruscos no se mantienen con una continuidad, hay que mantener una estructura con cierto sentido, por ejemplo, sería como si un tema progresivo de jazz empezase directamente con los solos instrumentales sin antes marcar el terreno, sería percibido de manera extraña o incompleta.

Vamos a ver cómo funciona el algoritmo de composición en función de los recursos que le facilitamos:

Test 4.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/comp2.mp3

Comentario: hasta este momento la composición algorítmica no ha existido, ahora vamos a abrir el rango de valores que puede tomar ese primer instrumento. En primer lugar con sólo 2 notas posibles (posiblemente la composición más sosa del mundo). Para simplificar continuamos con 100 BPM y negras. He de decir que al ser aleatorio el resultado de composición entre dos notas puede ser 30 veces la misma nota y 1 la otra, explotando a veces la estadística debido posiblemente a elementos internos del sistema.

Test 4.2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/comp4.mp3

Comentario: Ahora con un rango de 4 notas posibles para ese primer instrumento. Tempo de 100 BPM, negras. Aquí ya toca decir aunque aún no sea relevante que estamos en una escala mayor.

Test 4.3

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/comp8.mp3

Comentario: Ahora con un rango de 8 notas posibles para ese primer instrumento. Tempo de 100 BPM, negras.

Test 4.4

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/comp16.mp3

Comentario: Ahora con un rango de 16 notas posibles para ese primer instrumento. Tempo de 100 BPM, negras.

Test 4.5

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/comp32.mp3

Comentario: Ahora con un rango de 32 notas posibles para ese primer instrumento. Tempo de 100 BPM, negras. Aquí ya se aprecia bastante que hemos abierto el rango de valores, resulta más molesto, menos predecible, intuitivo, más dispersivo.

Test 5.1

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/instr2.mp3

Comentario: vamos a escuchar ahora a 2 instrumentos, primero aparecerá uno tocando blancas y el segundo tocando corcheas, como si se tratase de un acompañamiento en un tiempo de 100 BPM.

Test 5.2

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/instr4.mp3

Comentario: vamos a escuchar ahora a 4 instrumentos, para que no resulte confuso, el primero tocará blancas, el segundo negras, el tercero corcheas y el cuarto semicorcheas e irán en este orden entrando, todo en un tiempo de 100 BPM.

Vamos a comentar ahora la importancia de la distancia entre un instrumento y otro. Lo normal al tocar el piano, por poner un ejemplo sencillo ya que se usan ambas manos y así podemos hacer una analogía con dos instrumentos, es mantener cierta distancia, pudiendo esta incrementarse o alejarse en función de la intensidad evolutiva de la estructura. Si empezamos con una distancia pequeña podemos dar más matices al alejarnos que si empezamos con una distancia grande al acercarnos.

Vamos a escuchar en las siguientes dos muestras de audio el mismo tipo de composición (tiempo y escala) pero tocada por dos instrumentos que, en primer lugar se mantienen en un rango de frecuencias muy separadas y en segundo lugar en un rango más cercano. La estabilidad o fragilidad de la composición es distinta:

Test 5.3

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/tens.mp3

Comentario: Observamos como produce tensión si dos instrumentos tocan en un rango de frecuencias muy distintas. Nota, continuamos estando en una escala mayor, no estamos hablando aún de composición estrictamente. Vamos a tocar 2 blancas, una de cada instrumento, para que distinguir que esto no depende de la velocidad, en el mismo tiempo de 100 BPS, el primer instrumento en el extremo más bajo del rango de frecuencias y el segundo en el más alto.

Test 5.4

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/tranq.mp3

Comentario: Observamos como produce continuidad, compactación, tranquilidad o estabilidad escuchar dos instrumentos que tocan en un rango de frecuencias cercanas.

Nota: es el mismo ejemplo que el anterior, el Test 5.3, pero acercando el rango de frecuencias entre los dos instrumentos en lugar de alejarlo.

Es interesante también aprovechar que el sistema de comunicación MIDI puede integrarse con distintas herramientas, hasta este punto hemos utilizado el grand piano puesto que es el instrumento más “directo” o sencillo para evaluar la composición pero, subjetiva y a veces objetivamente, hay instrumentos que poseen, puede que por la cultura, ciertos matices que encasillamos (como es el caso del instrumento de theremin, que siempre ha sido asociado al miedo por culpa de la cultura del cine de terror):

Test 6

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/respir.mp3

Comentario: cada instrumento corresponde a un instrumento material en el sistema de comunicación MIDI, por lo que es interesante también aprovechar esta oportunidad para trabajar, hemos visto ejemplos con el grand piano para facilitar la comprensión, ahora podemos ver como hay instrumentos más agradables que otros (por ejemplo, tenemos el instrumento flauta (74), que, realizando grandes saltos frecuenciales en la composición, con muchos contrastes, resulta especialmente más molesto que otros). Aquí por ejemplo veremos una simulación de la aceleración respiratoria.

Llegados a este punto, toca hablar de la composición mayor y menor, ¿Podemos distinguir un estado positivo de uno negativo? vamos a adentrarnos en la composición, la estructura entre notas.

Es importante para empezar, al igual se hizo en el anterior diseño, establecer unos resultados muy definidos al principio para poder percibir bien el trabajo. Vamos empezar con dos ejemplos puros para separar claramente lo que aplicamos para un sentimiento positivo de uno negativo y luego estableceremos matices (estos matices son antagónicos en tiempo ya que una cadencia rápida implica movimiento, alegría o vida y una cadencia lenta implica tristeza o muerte). Al mostrar los dos pilares extremos, el abanico que separa estas dos composiciones, podría decirse que van a ser el resto de los matices en los que descompondremos las emociones.

Sentimiento negativo

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/negativo.mp3

Comentario: Tristeza, apatía.

Sentimiento positivo

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/positivo.mp3

Comentario: Alegría, movimiento.

Como se ha dicho anteriormente, conforme mayor dispersión de rango de frecuencias permitamos en la composición más efusivos serán los sentimientos ya que crean muchos sobresaltos e inestabilidad o por el contrario un sentimiento de calma.

Vamos a intentar diferenciar diversos matices de sentimientos en función de la rítmica, desde el éxtasis o euforia en un sentimiento de alegría a melancolía o pánico dentro de un matiz de tristeza.

Vamos a empezar con lo que consideraremos una expresión de un sentimiento negativo, una escala menor a la que incrementaremos progresivamente la velocidad de las notas manteniendo contrastes altos de frecuencias para simular un estado de intranquilidad.

Sentimiento negativo, lento

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/neg_lento_sin_oct.mp3

Comentario: triste, desanimado y monótono.

Sentimiento negativo, lento con octavas

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/neg_lento.mp3

Comentario: triste y desanimado pero con momentos de tensión.

Sentimiento negativo, rápido

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/neg_rap.mp3

Comentario: Romántico, melancólico.

Sentimiento negativo, rápido y con octavas

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/neg_rap_oct.mp3

Comentario: Miedo. Recuerda, saltándonos el contexto, a videojuegos antiguos, como el Castlevania, con un claro estilo gótico, para Game Boy de 1989.

Ahora vamos a proceder con lo que consideraremos una expresión de un sentimiento positivo, una escala mayor en la que incrementaremos progresivamente la velocidad de las notas.

Sentimiento positivo, lento

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/alegria lenta.mp3

Comentario: principio de alegría, podemos apreciar cómo se incluyen contrastes de octavas muy altos para hacer alusión al principio de un cambio de estado más activo, hacia el siguiente estado.

Sentimiento positivo, rápido

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/alegria rap.mp3

Comentario: alegría, podemos apreciar cómo se va incrementando la actividad a una alegría más desatada

Sentimiento positivo, rápido y con octavas

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/alegria rap octava.mp3

Comentario: éxtasis, nos encontraríamos en una situación con mucha actividad positiva.

Sentimiento positivo, saturado

Sonido: http://webs.ono.com/pfg_sonif/locura.mp3

Comentario: locura, estado inestable. Éste supondría un estado de máxima actividad, el estado más extremo.

7. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto era desde un principio mostrar las posibilidades que ofrecen las técnicas de sonificación más representativas dentro del campo de investigación actual. Durante el desarrollo de la memoria se ha intentado ofrecer una estructura lo más dinámica posible, mostrando un equilibrio entre teoría y práctica, incluyendo referencias y ejemplos sonoros tanto de las simulaciones realizadas como de otros sistemas de sonificación.

Se han expuesto las bases de esta técnica, el trabajo con distintas herramientas de simulación en función de las necesidades del sistema de sonificación, las cualidades del sonido a tratar y la percepción y sensibilidad humana que tenemos de estos parámetros.

Se ha centrado la atención en dos campos en desarrollo, con sistemas con un planteamiento totalmente distinto, el primero extrae información a partir de imágenes y el segundo se basa en la evolución de una serie de valores, por lo que merecen ser tratados por separado.

Respecto al diseño propuesto para una sonificación mapping contamos con muy buenos resultados de simulación. La parte de pre-proceso correspondería al tratamiento de imagen, el cual resulta especialmente interesante ya que es la clave para que este proceso tenga sentido. Puesto que resulta complicado generalizar este proceso, se ha ofrecido un estándar del protocolo de actuación en función de la imagen que se quiera proceder a sonificar. Esta parte de tratamiento de imagen permite orientar al lector en la búsqueda de elementos interesantes a resaltar, con el fin de realzar la información y eliminar toda la parte que sea redundante para nuestro objetivo, puesto que la sonificación es un proceso para obtención de sonido a partir de datos, la técnica en su propia definición no cuenta con un criterio concreto para detectar qué parte de estos datos corresponde a información, por razones obvias este proceso varía en función del campo en el que trabajemos y nuestra labor es la de contextualizar estos datos, esto genera que pese a estar tratando la imagen o el sonido, el trabajo se realice constantemente en un campo multidisciplinar, y esa ha sido el alma del proyecto.

La parte del proceso que corresponde al tratamiento de sonido se ha realizado desde el punto de vista cognitivo, intentando que resulte lo más intuitivo posible. Se han buscado los parámetros representativos y han sido utilizados y representados de la manera más compacta posible, cumpliendo con la metodología correspondiente a este tipo de proceso de sonificación.

Los resultados de la simulación de este proceso de mapeo sonificando, resultan bastante contundentes. Partiendo de las imágenes de Test comprobamos el funcionamiento de esta herramienta y avanzamos para interpretar imágenes más complejas y situaciones interesantes. Posteriormente, acorde con el desarrollo actual de esta técnica, enfocamos el diseño a un sistema de refuerzo para invidentes y exponemos en este campo concreto diferentes experimentos actuales o proyectos como el ATAD desarrollado por la Universidad Carlos III de Madrid. Actualmente los sistemas suelen centrarse en innovar en el campo de la visión, ofreciendo mejoras en los elementos de detección. En este proyecto nos centramos en el resalto de bordes pero no en campos de profundidad ya que la idea era simular un diseño y no centrarse en el tratamiento de imagen, que daría para otro proyecto.

Respecto al diseño del sistema de comunicación alternativa para personas con parálisis cerebral se ha expuesto un proceso basado en la estructura temporal, atendiendo a su evolución dentro de un contexto musical. El sistema de simulación basado en el flujo de datos resulta bastante sencillo pero permite claramente interpretar cómo esta técnica podría servir de sistema de comunicación (entendiendo que en este proyecto se han expuesto los casos más extremos para evidenciar mejor los contrastes entre diferentes emociones). Hay que entender estos resultados en el contexto en el que están, pese a que sea música no pretenden ser artísticos, simplemente expresar cambios. Se ha simulado un diseño basado en los utilizados en investigación de estructuras de proteínas en cadenas de ADN, y, pese ser un procedimiento de obtención de variables totalmente distinto, comparte el mismo modus operandi de detección de cambios.

Concluyendo con que se muestran los ejemplos más representativos en el campo de la sonificación, generalizando estos desarrollos posiblemente adaptables a distintos campos de estudio y teniendo en cuenta que se han mostrado de forma clara y simulada, comparándolos con el estado actual de desarrollo en estos campos, la conclusión es que se ha cumplido el propósito del proyecto, mostrar la metodología.

8. LISTADO DE AUDIOS EN SERVIDOR

- [1] Geiger calma, correspondiente al contador Geiger en estado de no detección de radiación
- [2] Geiger alerta, correspondiente al contador Geiger en estado de detección de radiación
- [3] Higgs, sonificación de variaciones en energía de una partícula a partir de datos obtenidos del Bosón de Higgs
- [4] ADN, sonificación de la composición de una estructura de ADN, en función de las combinaciones de proteínas
- [5] Son1, espacial virtual del experimento de Galileo Galilei "The law of falling bodies"
- [6] 10, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 1.0 (Fig.55)
- [7] 11, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 1.1 (Fig.56)
- [8] 20, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 2.0 (Fig.57)
- [9] 21, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 2.1 (Fig.59)
- [10] 30, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 3.0 (Fig.62)
- [11] 31, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 3.1 (Fig.63)
- [12] 40, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 4.0 (Fig.64)
- [13] 41, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 4.1 (Fig.65)
- [14] 50, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 5.0 (Fig.67)
- [15] 51, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 5.1 (Fig.68)
- [16] 60, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 6.0 (Fig.69)
- [17] 61, sonido sonificación correspondiente a la imagen Test 6.1 (Fig.70)
- [18] Garymirando, sonido sonificación correspondiente a la imagen umbralizada con Morfología Matemática e invertida (Fig.72).
- [19] Garymorfo, sonido sonificación correspondiente a la imagen umbralizada con Morfología Matemática e invertida con más morfología matemática (Fig.73).
- [20] Gato, sonido sonificación correspondiente a la imagen umbralización 2 (Fig.74).
- [21] Cosasenlamesa, sonificación correspondiente a la imagen segmentación 1 (fig.76).
- [22] Clips, sonificación correspondiente a la imagen segmentación 2 (Fig.77).
- [23] Croma, sonificación correspondiente a la imagen segmentación 3,CROMA (Fig.78).
- [24] Garygris, sonificación correspondiente a la imagen escala grises (Fig.79).
- [25] Garygrisinv, sonificación correspondiente a la imagen escala grises negativo (Fig.80).
- [26] Cubo, sonificación correspondiente a la imagen "cuadro del artista Piet Mondrian, Komposition mit Rot, Gelb, Blau und Schwarz, 1926, en el museo Den Haag, (Fig.81).
- [27] Pollok, sonificación correspondiente a la imagen "cuadro del artista Pollok, "5", 1948, MoMA"(Fig.82).
- [28] Master, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, imagen "tipo" utilizada generalmente en ámbitos de visión artificial (Fig.83).

- [29] Girado, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, imagen anterior pero situados espacialmente en el otro extremo.(Fig.85).
- [30] Dos, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, nos hemos situado enfrente de la puerta (Fig.86).
- [31] Tres, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, más cerca (Fig.87).
- [32] Cuatro, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, cercana desde lado izquierdo (Fig.88).
- [33] Cinco, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, cercano desde lado derecho (Fig.89).
- [34] Seis, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, vistazo superior (Fig.90).
- [35] Siete, sonificación correspondiente a la imagen Puerta, vistazo inferior (Fig.91).
- [36] Wagner, fragmento de audio correspondiente a “Tristan und Isolde Prelude (Abridged)” de Richard Wagner interpretado por la Boston Symphony Orchestra, dirigida por Leonard Bernstein.
- [37] Vivaldi, fragmento de audio correspondiente al Concierto para flauta “Il gardellino” de Antonio Vivaldi interpretado por el flautista Horacio Franco y la Orquesta Filarmónica de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- [38] Polymorphia, fragmento de audio correspondiente a Polymorphia, compuesto por William Friedkin, interpretado por The National Philharmonic Orchestra, dirigida por Leonard Slatki, perteneciente a la banda Sonora de la película “The exorcist”.
- [39] Williams, fragmento de audio correspondiente al tema principal de la película “Indiana Jones”, compuesto por John Williams e interpretado por la Orquesta Sinfónica de Londres.
- [40] Tiempos, sonificación correspondiente al Test 1.1, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [41] Tiempos2, sonificación correspondiente al Test 1.2, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [42] ligado, sonificación correspondiente al Test 1.3, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [43] Amplitud, sonificación correspondiente al Test 2, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [44] Octavas, sonificación correspondiente al Test 3, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [45] Comp2, sonificación correspondiente al Test 4.1, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [46] Comp4, sonificación correspondiente al Test 4.2, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [47] Comp8, sonificación correspondiente al Test 4.3, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [48] Comp16, sonificación correspondiente al Test 4.4, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [49] Comp32, sonificación correspondiente al Test 4.5, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.

- [50] Instr2, sonificación correspondiente al Test 5.1, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [51] Instr4, sonificación correspondiente al Test 5.2, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [52] tens, sonificación correspondiente al Test 5.3, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [53] tranq, sonificación correspondiente al Test 5.4, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [54] respir, sonificación correspondiente al Test 6, del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [55] negativo, sonificación correspondiente a “Sentimiento negativo” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [56] Positivo, sonificación correspondiente a “Sentimiento positivo” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [57] Lento sin oct, sonificación correspondiente a “Sentimiento negativo,lento” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [58] Neg lento, sonificación correspondiente a “Sentimiento negativo, lento con octavas” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [59] Neg rap, sonificación correspondiente a “Sentimiento negativo, rápido” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [60] Neg rap oct, sonificación correspondiente a “Sentimiento negativo, rápido y con octavas” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [61] Alegría lenta, sonificación correspondiente a “Sentimiento positivo, lento” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [62] Alegría rap, sonificación correspondiente a “Sentimiento positivo, rápido” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [63] Alegría rap octava, sonificación correspondiente a “Sentimiento positivo, rápido y con octavas” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.
- [64] Locura, sonificación correspondiente a “Sentimiento positivo, saturado” del diseño propuesto para sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral.

9. LISTADO DE FIGURAS

- [1] Imágenes del sistema de comunicación utilizado con los extraterrestres en la película Close Encounters of the Third Kind, de 1977, mediante tonos musicales, colores y mediante el lenguaje de signos alterado.
- [2] Imagen ilustrativa del sistema de ecolocalización de un delfín y dibujo del experimento de ubicación de un murciélago a través de aberturas en paredes. Imágenes obtenidas de la Universidad de Valladolid, del LPI (laboratorio de procesado de imagen), trabajo sobre la percepción del sonido en animales.
- [3] Imágenes del contador Geiger. Modelo soviético DP-5V, una de las primeras versiones, el cual sólo detectaba partículas alfa, inventado en 1908 por el físico alemán Hans Geiger y su compañero neozelandés, el científico Sir Ernest Rutherford (creador un modelo atómico, con el que probó la existencia del núcleo atómico). Imagen obtenida de recortes en la web científica la pizarra de Yuri, concretamente del artículo del 6 de junio de 2011, "De paseo por Valencia con un contador Geiger soviético" en relación al accidente nuclear de Fukushima.
- [4] Señal Wow sacado de los archivos de la NASA. En concreto esta señal no fue detectada sonificando pero, por eso mismo, podemos observar el farragoso proceso manual que debía de suponer el análisis de estas señales percibidas.
- [5] Ejemplo de procedimiento que se realiza al aplicar la convolución rápida. Extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Señal.
- [6] Ejemplo gráfico de la convolución de espectros, convolución de los espectros de las componentes sinusoidales dan un espectro que se integra de la suma y la resta de ambas componentes sinusoidales, centrando una copia del espectro de uno sobre cada componente de frecuencia del otro.
- [7] Recreación del dispositivo experimental de Galileo Galilei para experimentos de la ley de la caída de los cuerpos, imagen extraída del Museo científico de Florencia.
- [8] Distribución del nivel, paneo y contenido del sonido. Generación propia.
- [9] Clips, imagen genérica utilizada segmentación, imagen original.
- [10] Imagen clips segmentada azul.
- [11] Imagen clips segmentación brillo.
- [12] Imagen genérica Clips segmentada rosa.
- [13] Imagen representativa de la escala de color mediante un cubo, cada eje del cubo representa los valores de rojo, verde o azul en el rango de 0 a 255.
- [14] Imagen ejemplo original a color, elaboración propia.
- [15] Imagen ejemplo en escala de grises, elaboración propia.
- [16] Imagen original para ejemplo negativo, elaboración propia.
- [17] Imagen invertida, elaboración propia.
- [18] Ejemplo de dispersión de valores en el histograma de una imagen. Elaboración propia a partir de diapositivas de la asignatura de tratamiento de imagen en la UPV.

- [19] Imagen original, "Cameraman", utilizada comúnmente para en el tratamiento de imagen.
- [20] Imagen "Cameraman" umbralizada.
- [21] Imagen original, elaboración propia.
- [22] Imagen umbralizada, elaboración propia.
- [23] Imagen invertida umbralizada, elaboración propia,
- [24] Ejemplo de caso de umbralización múltiple en un histograma. Elaboración propia a partir de diapositivas de la asignatura de tratamiento de imagen en la UPV.
- [25] Imagen de pieza de referencia original, modelo en el que nos basaremos para aplicar Morfología Matemática, inspirada en modelos de ejemplos extraídos de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.
- [26] Ejemplo proceso dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.
- [27] Ejemplo proceso 2 dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.
- [28] Ejemplo proceso 3 dilatación. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen de la UA.
- [29] Figura de pieza de referencia dilatada.
- [30] Ejemplo proceso erosión. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital.
- [31] Ejemplo proceso erosión 2. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital.
- [32] Figura de pieza de referencia erosionada
- [33] Proceso apertura 1. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen
- [34] Proceso apertura 2. Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen
- [35] Figura de pieza de referencia apertura,
- [36] Proceso cierre .Imagen extraída de la asignatura Tratamiento Digital de la Imagen.
- [37] Figura de referencia cierre.
- [38] Cameraman proceso de Morfología Matemática 1.
- [39] Cameraman proceso de Morfología Matemática 2
- [40] Imagen filtrada Sobel.
- [41] Imagen Filtrada Sobel anterior y posteriormente Dilatada.
- [42] Imagen filtrada Sobel y dilatada anterior erosionada (es decir, he realizado una apertura).
- [43] Imagen suavizado. Podemos observar el efecto de suavizado producido por el filtrado Gaussiano.
- [44] Imagen de referencia ideal para máscara.
- [45] Proceso general de tratamiento sobre imagen 1.
- [46] Proceso general de tratamiento sobre imagen 2.
- [47] Frecuencias correspondientes a notas de la escala musical y posiciones en piano. Extraída y adaptada de los apuntes de la asignatura de Síntesis Digital del Sonido de la UA.
- [48] Esquema del procedimiento de asignación del oscilador a cada píxel en el cual en función de su posición se le asigna una frecuencia y en función a su intensidad de píxel se multiplicará por una amplitud. Elaboración propia.

- [49] Imagen distribución de frecuencias. Se observa cómo se amplía progresivamente la amplitud de la membrana basilar desde la base (20 kHz) hasta el ápex (20 Hz). Imagen obtenida a través del centro auditivo GAES.
- [50] Esquema del procedimiento de asignación de la amplitud por la que se multiplicará cada oscilador en función del nivel de intensidad de cada píxel. Elaboración propia.
- [51] Imagen que representa la ley de Newton Inverse Square, obtenida de la asignatura de Física I del grado en telecomunicaciones en imagen y sonido de la UA.
- [52] Sistema de implementación del par estéreo mediante ganancias. Imagen obtenida de la asignatura TDA del grado en telecomunicaciones en imagen y sonido de la UA.
- [53] Representación orientativa del proceso de lectura de la imagen en el sistema. Elaboración propia.
- [54] Representación orientativa para la comprensión del paneo estéreo, posicionamiento horizontal sobre una imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.
- [55] Test 1.0.
- [56] Test 1.1.
- [57] Test 2.0.
- [58] Análisis de la señal de audio en la que se aprecia la correlación entre la amplitud de la señal y la ponderación entre el canal izquierdo y el derecho, respecto a la imagen.
- [59] Test 2.1.
- [60] Igual que en el caso anterior, analizando la señal de audio se aprecia la correlación entre la amplitud de la señal y la ponderación entre el canal izquierdo y el derecho, respecto a la imagen.
- [61] Representación orientativa para la comprensión del sistema de distribución de frecuencias, posicionamiento vertical sobre una imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.
- [62] Test 3.0.
- [63] Test 3.1.
- [64] Test 4.0.
- [65] Test 4.1.
- [66] Representación orientativa para la comprensión del parámetro de amplitud, nivel de intensidad, es decir, profundidad de un elemento sobre la imagen, dentro del sistema de sonificación mapping.
- [67] Test 5.0.
- [68] Test 5.1.
- [69] Test 6.0.
- [70] Test 6.1.
- [71] Imagen de referencia original.
- [72] Imagen umbralizada con Morfología Matemática e invertida.
- [73] Imagen anterior pero con más morfología matemática.
- [74] Imagen Umbralización 2.
- [75] Imagen Pillsect.

- [76] Segmentación 1.
- [77] Segmentación 2.
- [78] Segmentación 3. CROMA.
- [79] Imagen escala grises.
- [80] Imagen escala grises negativo.
- [81] Cuadro del artista Piet Mondrian, Komposition mit Rot, Gelb, Blau und Schwarz, 1926, en el museo Den Haag.
- [82] Cuadro del artista Jackson Pollock, "5", 1948, MoMA.
- [83] Imagen tipo utilizada generalmente en ámbitos de visión artificial.
- [84] Análisis de la señal de audio. Analizando la señal de audio con respecto a la imagen se visualizan 4 etapas anteriores.
- [85] Puerta, imagen anterior pero situados espacialmente en el otro extremo.
- [86] Puerta, nos hemos situado enfrente de la puerta.
- [87] Puerta, más cerca.
- [88] Puerta, cercana desde lado izquierdo.
- [89] Puerta, cercano desde lado derecho.
- [90] Puerta, vistazo superior.
- [91] Puerta, vistazo inferior.
- [92] Ejemplo anterior comparando la señal(canales L y R respectivamente) respecto a la imagen en la que podemos apreciar como mantiene en el plano central un vacío en nivel de intensidad que representa el hueco por el que pasar.
- [93] Mapa de sentidos sobre las zonas del cerebro. Imagen obtenida del artículo "the incredible adaptability of the brain with the loss of one or more senses", del NDA International Conference, en el año 2009.
- [94] Zonas del cerebro se activan en una persona ciega hace poco para paliar el vacío sensorial que deja la invidencia, obtenida del artículo "Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex" del libro Brain a journal of neurologt por Dimitri. M. Kulluman y han sido adaptadas para simplificarlas ya que el resto de información no entra dentro del objeto del proyecto.
- [95] Percepción de cambios en el Pitch, obtenida del artículo "Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex" del libro Brain a journal of neurologt por Dimitri. M. Kulluman y han sido adaptadas para simplificarlas ya que el resto de información no entra dentro del objeto del proyecto.
- [96] Diferentes zonas en función de la tarea que se esté llevando a cabo.
- [97] Imagen representativa del proceso utilizado en la medición de estas tomas, para entender mejor de dónde salen las muestras.
- [98] Proceso de aprendizaje que sufre una persona los primeros días de permanecer privado del sentido de la vista.Imagen extraída del proyecto "The Blindfold Experiment" de Pascual-Leone, 2003.

- [99] Interpretaciones de modelos por invidentes. Obtenidas de “Picture and Pattern Perception in the Sighted and the Blind: The Advantage of the Late Blind”. M. A. Heller in Perception.
- [100] DOOM, breve ejemplo de su particular sistema de mapas.
- [101] Sistema de funcionamiento de AudioDOOM, de Jaime Sanchez, de la Universidad de Santiago de Chile.
- [102] Imagen de ejemplo del sistema de mapeado del programa AbES para el centro de ayuda a discapacitados visuales Carrol.
- [103] Rutina para ir a clase en el sistema AbES.
- [104] Proceso de estereovisión del proyecto Assistive Technology for Autonomous Displacement (ATAD), diseñado en la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), Imagen obtenida de la UC3M, proyecto Assistive Technology for Autonomous Displacement (ATAD).
- [105] Prototipo usado en el proyecto ATAD.
- [106] Imagen del experimento “Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound”, extraídas de las sesiones experimentales del proyecto financiado por la NSF, 0946035, titulado "Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound" en el año 2010, ejecutado por MetaModal LLC en Pasadena, California.
- [107] Imagen del segundo experimento “Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound”, extraídas de las sesiones experimentales del proyecto financiado por la NSF, 0946035, titulado "Viability of a sensory substitution device giving blind users sight through sound" de 2010, ejecutado por MetaModal LLC en Pasadena, California.
- [108] Diferentes estados de consciencia. Imagen obtenida de “Breakdown of within- and between-network resting state functional magnetic resonance imaging connectivity during propofol-induced loss of consciousness”, apartado “Anesthesiology”, Boveroux, P., Vanhaudenhuyse, A., Bruno, M. A., Noirhomme, Q., Lauwick, S., Luxen, A., Degueldre, C., Plenevaux, A., Schnakers, C., Phillips, C., Brichant, J. F., Bonhomme, V., Maquet, P., Greicius, M. D., Laureys, S., and Boly, M. (2010).
- [109] Imagen obtenida de “elpais.com”, a través del casco, que se llama Enobio y se conecta con el organismo mediante electrodos, los científicos miden la actividad cerebral y cardíaca del paciente. Los sensores calculan las emociones a partir de los patrones cerebrales, cardíacos, musculares y de acelerometría que se generan en el organismo ante un determinado sentimiento.
- [110] Mapa de síntomas extraídos del libro Brain, A Journal of Neurology de Dimitri M. Kullmann, extraído de Oxford University Press Journals.
- [111] Ejemplo de estructura con Pd.
- [112] Representación del bloque MIDI y control en Max/MSP.
- [113] Descomposición musical de las notas musicales en base a la duración, tomando a la negra como unidad de tiempo. Imagen extraída de la escuela musical de cornetas y tambores de Castilleja de Guzmán.
- [114] Escala diatónica de Do, en staccato y legato. Imagen elaboración propia a partir de recortes en Wikipedia.

- [115] Interconexión de módulos en Max/MSP.
- [116] Representación final del bloque Rhythm en Max/MSP.
- [117] Representación final del bloque Pith en Max/MSP.
- [118] Representación final del bloque Mezcla en Max/MSP.

10. LISTADO DE TABLAS

- [1] Clasificación de los parámetros de trabajo. Elaboración propia
- [2] Propiedades de las funciones de ventana en Matlab. Elaboración propia.
- [3] Relación de parámetros visuales en una imagen respecto al sonido que se pretende generar. Generación propia.
- [4] Relación de parámetros musicales con el sistema de comunicación y elemento de la estructura de bloques. Elaboración propia.

11. ARTÍCULOS DE PRENSA RELACIONADOS CON LOS DISEÑOS

En este apartado mostramos artículos de prensa actuales relacionados con el dispositivo Brain Polyphony desarrollado por Jessica Mouzo Quintáns en conjunto con el CRG (Centre for genomic Regulation) y la Universitat de Barcelona, correspondiente al sistema del que partimos para el diseño "Sistema de comunicación alternativo para personas con parálisis cerebral mediante sonificación" y el proyecto ATAD (Assistive Technology for an Autonomous Displacement), de Pablo Revuelta Sanz, por la Universidad Carlos III de Madrid, en el que nos basamos para centrar la aplicación del sistema de sonificación mapping, ya que, aunque hemos mostrado sus características, hemos profundizado a un nivel básico relevante para el proyecto, ya que indagar con más profundidad no estaba dentro del ámbito del proyecto, estos dispositivos han sido expuestos como puntos de partida o referencias pero, aparte de que resultan muy interesantes, también sirven para contextualizar muy bien el ámbito de este proyecto. Se incluyen también los enlaces de los artículos en cuestión para facilitar su lectura.

- [1] Artículo de prensa "Un dispositivo para convertir las emociones en sonido, un equipo científico diseña un sistema que conecta el cerebro con un software que traduce las ondas cerebrales" de Jessica Mouzo Quintáns, Barcelona, 8 Julio 2015, EL PAÍS virtual :

Enlace: http://elpais.com/elpais/2015/07/08/ciencia/1436365941_292625.html

- [2] Noticia en portada "Brain Polyphony: neurociencia, tecnología, informática y creatividad al servicio de las personas con discapacidad" de la Universitat de Barcelona, Barcelona, 9 de Julio de 2015, firmado por "Universitat de Barcelona":

Enlace: http://www.ub.edu/web/ub/es/menu_eines/noticies/2015/07/019.html

- [3] Artículo de prensa "Logran que una persona con parálisis cerebral convierta sus emociones en sonido" por Antonio Moreno, el 8 de Julio de 2015, publicado en El Mundo:

Enlace:

<http://www.elmundo.es/economia/2015/07/08/559d0a1822601dd5208b45a0.html>

- [4] Artículo de prensa "Emociones sonoras para que personas con parálisis puedan comunicarse", por Cristina Sáez, el 8 de Julio de 2015 para el periódico La vanguardia:

Enlace: <http://www.lavanguardia.com/ciencia/cuerpo-humano/20150708/54433302485/casco-traduce-ondas-cerebrales-emociones-sonidos.html>

- [5] Artículo de prensa "Neurociencia, tecnología, informática y creatividad, juntas al servicio de las personas con discapacidad", el 10 de julio de 2015 por el CGR(Centre for genomic Regulation),del periódico virtual AlphaGalileo :

Enlace: <http://www.alphagalileo.es/ViewItem.aspx?ItemId=154608&CultureCode=es>

- [6] Del archivo de la Universidad Carlos III de Madrid, ATAD: Assistive Technology for an Autonomous Displacement, de Pablo Revuelta Sanz:

Enlace: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17890>

- [7] Artículo de Kurzweil News, "A low-cost sonification system to assist the blind" del 15 de Junio del 2014, por Kurzweil accelerating intelligence:

Enlace: <http://www.kurzweilai.net/a-low-cost-sonification-system-to-assist-the-blind>

12. BIBLIOGRAFÍA

En primer lugar, antes de proceder con la Bibliografía, pese a ser obvio que he utilizado conocimientos adquiridos durante mis estudios universitarios, especialmente han aportado en el desarrollo de este proyecto:

- Transparencias, apuntes y resúmenes de las asignaturas del grado en ingeniería en telecomunicación de la Universidad de Alicante:
 - Fundamentos de Programación y Orientación a Objetos (Juan Manuel Sáez Martínez)
 - Tratamiento Digital de la Señal (Encarnación Gimeno Nieves)
 - Tratamiento Digital de Audio (Sergio Bleda Pérez)

- Tratamiento Digital de la Imagen (Tomas Martínez Marín)
- Síntesis Digital del Sonido (José Manuel Iñesta Quereda)
- Acústica (Santiago Heredia Avalos)
- Procesadores Digitales de Señal (Francisco Colomb)

En segundo lugar, antes de entrar en la bibliografía, quisiera también destacar diversas fuentes, la mayoría disponibles online, del tipo blogs especializados en sonificación, talleres de programas, tutoriales no oficiales, webs de consulta oficiales y cursos gratuitos de programación orientada que han sido de ayuda y sería injusto no mencionar:

- El blog Design Rhythmics Sonification Research Lab (DRSRL), en el que se pueden escuchar sonificaciones desde señales solares a estructuras moleculares y ejemplos de multitud de eventos científicos y artísticos en lo que denominan “museos para transformar información en datos y estos datos en música”, : <http://drsrl.com>
- FLOSS Manuals by FLOSS Manuals Community Members, will always be available for free in HTML and PDF from the FLOSS Manuals Website, <http://www.flossmanuals.net>, FLOSS Manuals is a non-profit foundation and community creating free manuals about free software.
- Página oficial del lenguaje de programación Pure Data: <https://puredata.info/>
- Introductory exercises, tutorials and materials for MaxMSP de Peter Batchelor, del dominio: www.peterbatchelor.com
- Taller de SuperCollider Básico, Posted in Cursos SuperCollider, en basicsupercollider, el June 3, 2009 por Alexandra Cárdenas.
- Getting Started With SuperCollider by Scott Wilson and James Harkins (SUPERCOLLIDER BOOK OFICIAL).
- Yagiz Mungan, Introduction to Algorithmic Composition and Pure Data, Marzo-15.
- Apuntes Pak, de Ing. Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia por Francisco José Rodríguez Fortuño, concretamente los documentos de Tratamiento Digital de Audio, Tratamiento Digital de la Imagen e Imagen y Sonido.

Una vez mencionados estos dos grupos anteriores, ahora ya podemos proceder con la Bibliografía:

- [1] Thomas Hermann, Andy Hunt, John G. Neuhoff , “The Sonification Handbook”, concretamente han sido de gran ayuda los capítulos:
- Theory of Sonification ,by Bruce N. Walker and Michael A. Nees
 - Psychoacoustics by Simon Carlile
 - Perception, Cognition and Action in Auditory Displays by John G. Neuhoff
 - Sonic Interaction Design by Stefania Serafin, Karmen Franinovic, Thomas Hermann, Guillaume Lemaitre, Michal Rinott, Davide Rocchesso
 - Statistical Sonification for Exploratory Data Analysis by Sam Ferguson, William Martens and Densil Cabrera
 - Sound Synthesis for Auditory Display by Perry R. Cook
 - Laboratory Methods for Experimental Sonification by Till Bovermann, Julian Rohrhuber and Alberto de Campo
 - Interactive Sonification by Andy Hunt and Thomas Herman
 - Audification by Florian Dombois and Gerhard Eckel
 - Parameter Mapping Sonification by Florian Grond, Jonathan Berger
 - Model-Based Sonification by Thomas Hermann
- [2] David Cottle’s SC tutorial, Computer Music with examples in Supercollider, David Michael cottle (2006).
- [3] Johannes Kreidler, Programming Electronic Music in Pure Data, editado por Wolke Verlagsges.
- [4] T. Bower, “Blind babies see with their ears,” New Scientist, 7 de Febrero de 1997.
- [5] Rutten, G. J. M., Sitskoorn, M. M., Dautzenberg, G. and Ramsey, N. F., “Activation of striate cortex in the absence of visual stimulation: An fMRI study of synaesthesia,” Neuroreport, 2001.
- [6] Araujo, D.B., Ribeiro, S., Cecchi, G.A., Carvalho, F.M., Sanchez, T.A., Pinto, J.P., de Martinis, B.S., Crippa, J.A., Hallak, J.E. and Santos, A.C. “Seeing with the eyes shut: Neural basis of enhanced imagery following ayahuasca ingestion,” Human Brain Mapping, 2011. Abstract available online.

- [7] Azoulay, S. and Ramachandran, V., "Blind patients 'see' their moving hand in darkness (synesthesia)," *Journal of Vision*, available online (PDF file), 2005.
- [8] Gonzalo, D. and Büchel, C., "Audio-visual associative learning enhances responses to auditory stimuli in visual cortex," Chapter 11 in *Functional Neuroimaging of Visual Cognition - Attention and Performance XX*, Eds. N. Kanwisher and J. Duncan, Oxford University Press 2004.
- [9] Lamme, V.A.F., "Why visual attention and awareness are different," *Trends in Cognitive Sciences*, 2003.
- [10] Ortiz, T., Poch, J., Santos, J. M., Requena, C., Martínez, A. M., Ortiz-Terán, L., Turrero, A., Barcia, J., Nogales, R., Calvo, A., Martínez, J. M., Córdoba, J. L. and Pascual-Leone, A., "Recruitment of occipital cortex during sensory substitution training linked to subjective experience of seeing in people with blindness," *PLoS ONE*, 2011.
- [11] Rao, A., Nobre, A. C., Alexander, I. and Cowey, A., "Auditory evoked visual awareness following sudden ocular blindness: an EEG and TMS investigation," *Experimental Brain Research*, 2006.
- [12] Sheth, B. R. and Shimojo, S., "Sound-aided recovery from and persistence against visual filling-in," *Vision Research*, 2004
- [13] Ward, J. and Meijer, P., "Visual experiences in the blind induced by an auditory sensory substitution device" (PDF file), *Consciousness and Cognition*.
- [14] Ward, J., Maus, G., Meijer, P. and Strahl, S., "Helping the blind to see with sound: A man-made synaesthesia," presentation at the Annual General Meeting and Conference of the UK Synaesthesia Association in Edinburgh, 30 de Marzo de 2008.
- [15] Wilkie, S., Stevens, C. and Dean, R., "Psychoacoustic manipulation of the sound-induced illusory flash," *Book of the Selected Proceedings of the International Computer Music Conference, Copenhagen 2007, LNCS Series*, Springer Verlag.

- [16] Boroojerdi, B., Bushara, K. O., Corwell, B., Immisch, I., Battaglia, F., Muellbacher, W. and Cohen, L. G., "Enhanced Excitability of the Human Visual Cortex Induced by Short-term Light Deprivation," *Cerebral Cortex*, 2000.
- [17] Burle, B. and Bonnet, M., "High-speed memory scanning: a behavioral argument for a serial oscillatory model," *Cognitive brain research*, 2000.
- [18] Chen, Y. C. and Yeh, S. L. "Visual events modulated by sound in repetition blindness," *Psychonomic Bulletin & Review*, 2008.
- [19] Dehaene, S., Sergent, C. and Changeux, J.-P., "A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception," *Proc. Natl. Acad. Sci. (PNAS)*, en Julio de 2003.
- [20] Dreyer, A. and Bertrand Delgutte, B., "Phase Locking of Auditory-Nerve Fibers to the Envelopes of High-Frequency Sounds: Implications for Sound Localization," *Journal of Neurophysiology*, en Febrero de 2006.
- [21] Fingelkurts Al. A. Fingelkurts, An. A., Rytälä, H., Suominen, K., Isometsä, E. and Kähkönen S., "Composition of brain oscillations in ongoing EEG during major depression disorder," *Neuroscience Research*, en 2006.
- [22] Fingelkurts, An. A., Fingelkurts Al. A. and Krause, C. M., "Composition of brain oscillations and their functions in the maintenance of auditory, visual and audio-visual speech percepts: an exploratory study," *Cognitive Processing*, en 2007.
- [23] Moore, F. R. *Elements of computer music* Prentice Hall, New Jersey, USA, 1990.
- [24] J. Brabyn, "Developments in electronic aids for the blind and visually impaired," *IEEE Eng. en Medicine and Biology Magazine*, Diciembre de 1985.
- [25] W. H. Dobbie, M. G. Mladejovsky and J. P. Girvin, "Artificial Vision for the Blind: Electrical Stimulation of Visual Cortex Offers Hope for a Functional Prosthesis," *Science*, 1 de Febrero de 1974.

- [26]** H. Duifhuis, "Current developments in peripheral auditory frequency analysis," en B.A.G. Elsendoorn and H. Bouma, ed. Working models of human perception London: Academic Press, 1989.
- [27]** S. Ferguson and S. D. Ferguson, "High resolution vision prosthesis systems: research after 15 years," J. of Visual Impairment & Blindness, Junio de 1986.
- [28]** R. M. Fish, "An audio display for the blind," IEEE Trans. Biom. Eng., Marzo de 1976.
- [29]** D. D. Greenwood, "Critical Bandwidth and the Frequency Coordinates of the Basilar Membrane," J. Acoust. Octubre de 1961.
- [30]** A. D. Heyes, "Human navigation by sound," Phys. Technol, Diciembre 1983.
- [31]** T. Heyes, "Sonic pathfinder," Wireless World, Abril de 1984.
- [32]** K. Kaczmarek, P. Bach-Y-Rita, W. J. Tompkins and J. G. Webster, "A tactile vision-substitution system for the blind: computer-controlled partial image sequencing," IEEE Trans. Biom, Agosto de 1985.
- [33]** L. Kay, "Electronic aids for blind persons: an interdisciplinary subject," IEE Proc., Septiembre de 1988.
- [34]** F. A. Saunders, "Information transmission across the skin: high-resolution sensory aids for the deaf and the blind," Diciembre de 1993.
- [35]** S. Tachi, K. Tanie, K. Komoriya and M. Abe, "Electrocutaneous communication in a guide dog robot (MELDOG)," IEEE Trans., Julio de 1985.
- [36]** Y. Yonezawa, "Binaural sensitivity to direction cue in an acoustic spatial sensor," Acustica, Febrero de 1986.
- [37]** E. Zwicker, G. Flottorp and S. S. Stevens, "Critical Band Width in Loudness Summation," J. Acoust. Soc. Amer., 1957.

13. ANEXO

Lista de distribución de frecuencias de 500 a 5.000 Hz según el método:

- Método lineal:

f1 = 500 Hz	f26 = 2795.918367346939 Hz
f2 = 591.8367346938776 Hz	f27 = 2887.7551020408164 Hz
f3 = 683.6734693877551 Hz	f28 = 2979.591836734694 Hz
f4 = 775.5102040816327 Hz	f29 = 3071.4285714285716 Hz
f5 = 867.3469387755101 Hz	f30 = 3163.265306122449 Hz
f6 = 959.1836734693877 Hz	f31 = 3255.1020408163267 Hz
f7 = 1051.0204081632653 Hz	f32 = 3346.938775510204 Hz
f8 = 1142.857142857143 Hz	f33 = 3438.7755102040815 Hz
f9 = 1234.6938775510203 Hz	f34 = 3530.612244897959 Hz
f10 = 1326.5306122448978 Hz	f35 = 3622.4489795918366 Hz
f11 = 1418.3673469387754 Hz	f36 = 3714.285714285714 Hz
f12 = 1510.204081632653 Hz	f37 = 3806.122448979592 Hz
f13 = 1602.0408163265306 Hz	f38 = 3897.9591836734694 Hz
f14 = 1693.8775510204082 Hz	f39 = 3989.795918367347 Hz
f15 = 1785.7142857142858 Hz	f40 = 4081.6326530612246 Hz
f16 = 1877.5510204081634 Hz	f41 = 4173.469387755102 Hz
f17 = 1969.3877551020407 Hz	f42 = 4265.306122448979 Hz
f18 = 2061.224489795918 Hz	f43 = 4357.142857142857 Hz
f19 = 2153.0612244897957 Hz	f44 = 4448.9795918367345 Hz
f20 = 2244.8979591836733 Hz	f45 = 4540.816326530612 Hz
f21 = 2336.734693877551 Hz	f46 = 4632.65306122449 Hz
f22 = 2428.5714285714284 Hz	f47 = 4724.489795918367 Hz
f23 = 2520.408163265306 Hz	f48 = 4816.326530612245 Hz
f24 = 2612.2448979591836 Hz	f49 = 4908.163265306122 Hz
f25 = 2704.081632653061 Hz	f50 = 5000 Hz

- Método exponencial:

f1 = 500 Hz	f26 = 1618.728771408822 Hz
f2 = 524.0565670773428 Hz	f27 = 1696.6108859476644 Hz
f3 = 549.2705709937791 Hz	f28 = 1778.2401531115643 Hz
f4 = 575.6976996632237 Hz	f29 = 1863.7968601574698 Hz
f5 = 603.3963203196643 Hz	f30 = 1953.4699685273085 Hz
f6 = 632.427608427648 Hz	f31 = 2047.4575311902129 Hz
f7 = 662.8556827950546 Hz	f32 = 2145.967130064389 Hz
f8 = 694.7477471865689 Hz	f33 = 2249.2163344847227 Hz
f9 = 728.174238750622 Hz	f34 = 2357.433181728697 Hz
f10 = 763.2089835876168 Hz	f35 = 2470.856680661917 Hz
f11 = 799.929359803029 Hz	f36 = 2589.737339615606 Hz
f12 = 838.4164684055041 Hz	f37 = 2714.3377196619304 Hz
f13 = 878.7553124273959 Hz	f38 = 2844.9330145091476 Hz
f14 = 921.034984663358 Hz	f39 = 2981.8116582973216 Hz
f15 = 965.3488644416251 Hz	f40 = 3125.275962636986 Hz
f16 = 1011.7948238625785 Hz	f41 = 3275.6427842977546 Hz
f17 = 1060.4754439600954 Hz	f42 = 3433.244225021501 Hz
f18 = 1111.4982412630973 Hz	f43 = 3598.4283650057596 Hz
f19 = 1164.975905257686 Hz	f44 = 3771.5600316773084 Hz
f20 = 1221.0265472743256 Hz	f45 = 3953.02160545385 Hz
f21 = 1279.773961349768 Hz	f46 = 4143.213864273422 Hz
f22 = 1341.3478976398628 Hz	f47 = 4342.556868756764 Hz
f23 = 1405.8843489871153 Hz	f48 = 4551.490889957609 Hz
f24 = 1473.5258512759056 Hz	f49 = 4770.47738174997 Hz
f25 = 1544.4217982387404 Hz	f50 = 5000 Hz

- Método coclear:

f1 = 500 Hz	f26 = 1710.9477553163563 Hz
f2 = 532.8935639151364 Hz	f27 = 1784.6813069094799 Hz
f3 = 566.6787134080232 Hz	f28 = 1861.43755124351 Hz
f4 = 601.3921963729622 Hz	f29 = 1941.4062499999998 Hz
f5 = 637.072808320951 Hz	f30 = 2024.7933884297522 Hz
f6 = 673.7615370126201 Hz	f31 = 2111.8229470005826 Hz
f7 = 711.5017195261752 Hz	f32 = 2202.7389103899973 Hz
f8 = 750.3392130257802 Hz	f33 = 2297.807551766139 Hz
f9 = 790.3225806451613 Hz	f34 = 2397.3200373948275 Hz
f10 = 831.503294070673 Hz	f35 = 2501.59540523293 Hz
f11 = 873.9359546007295 Hz	f36 = 2610.9839816933645 Hz
f12 = 917.6785346779174 Hz	f37 = 2725.871313672923 Hz
f13 = 962.7926421404683 Hz	f38 = 2846.6827088346517 Hz
f14 = 1009.3438097260564 Hz	f39 = 2973.888496824278 Hz
f15 = 1057.4018126888216 Hz	f40 = 3108.0101486045673 Hz
f16 = 1107.0410177670542 Hz	f41 = 3249.6274217585697 Hz
f17 = 1158.3407671721675 Hz	f42 = 3399.386738213877 Hz
f18 = 1211.3858017691086 Hz	f43 = 3558.011049723758 Hz
f19 = 1266.2667281956624 Hz	f44 = 3726.3115087433926 Hz
f20 = 1323.0805353369337 Hz	f45 = 3905.201342281882 Hz
f21 = 1381.9311663479925 Hz	f46 = 4095.7124296232146 Hz
f22 = 1442.9301533219761 Hz	f47 = 4299.015219337512 Hz
f23 = 1506.1973227565693 Hz	f48 = 4516.44279759148 Hz
f24 = 1571.861581207376 Hz	f49 = 4749.520153550862 Hz
f25 = 1640.0617919670449 Hz	f50 = 5000 Hz

- Método Mel:

f1 = 500.0000000000001 Hz

f2 = 538.7718268284858 Hz

f3 = 578.7963657866532 Hz

f4 = 620.1140918226339 Hz

f5 = 662.7667876242928 Hz

f6 = 706.7975858721101 Hz

f7 = 752.2510128572478 Hz

f8 = 799.1730335089096 Hz

f9 = 847.6110978765287 Hz

f10 = 897.6141891137881 Hz

f11 = 949.2328730129975 Hz

f12 = 1002.519349139919 Hz

f13 = 1057.5275036207518 Hz

f14 = 1114.3129636346553 Hz

f15 = 1172.9331536669213 Hz

f16 = 1233.447353579674 Hz

f17 = 1295.9167585588284 Hz

f18 = 1360.4045409979246 Hz

f19 = 1426.9759143814224 Hz

f20 = 1495.6981992320527 Hz

f21 = 1566.6408911889216 Hz

f22 = 1639.8757312852058 Hz

f23 = 1715.4767784965106 Hz

f24 = 1793.520484633257 Hz

f25 = 1874.0857716528253 Hz

f26 = 1957.2541114696526 Hz

f27 = 2043.1096083439716 Hz

f28 = 2131.739083932528 Hz

f29 = 2223.232165087267 Hz

f30 = 2317.681374490785 Hz

f31 = 2415.1822242202043 Hz

f32 = 2515.8333123340735 Hz

f33 = 2619.7364225799834 Hz

f34 = 2726.9966273237233 Hz

f35 = 2837.7223938040565 Hz

f36 = 2952.0256938205785 Hz

f37 = 3070.022116965571 Hz

f38 = 3191.8309875143627 Hz

f39 = 3317.575485092397 Hz

f40 = 3447.38276924104 Hz

f41 = 3581.384108008089 Hz

f42 = 3719.7150106930226 Hz

f43 = 3862.5153648812297 Hz

f44 = 4009.9295779057966 Hz

f45 = 4162.1067228799 Hz

f46 = 4319.200689447497 Hz

f47 = 4481.370339404725 Hz

f48 = 4648.779667349434 Hz

f49 = 4821.597966521267 Hz

f50 = 5000 Hz

Distribución de instrumentos MIDI:

Pianos

- 1 Gran piano acústico
- 2 Piano brillante acústico
- 3 Gran piano eléctrico
- 4 Piano de cantina
- 5 Piano Rhodes
- 6 Piano eléctrico 2 (Chorus)
- 7 Clavicordio
- 8 Clavecín

Bajos

- 33 Bajo acústico
- 34 Bajo digitado
- 35 Bajo con púa
- 36 Sin trastes
- 37 Bajo slap 1
- 38 Bajo slap 2
- 39 Sinte bass 1
- 40 Sinte bass 2

Percusión cromática

- 9 Celesta
- 10 Carrillón
- 11 Caja de música
- 12 Vibráfono
- 13 Marimba
- 14 Xilófono
- 15 Campanas tubulares
- 16 Salterio

Cuerdas / orquesta

- 41 Violín
- 42 Viola
- 43 Violonchelo
- 44 Contrabajo
- 45 Tremolo cuerdas
- 46 Pizzicato cuerdas
- 47 Arpa sinfónica
- 48 Timbales cromáticos

Órganos

- 17 Órgano Hammond
- 18 Órgano percusivo
- 19 Órgano rock
- 20 Órgano de iglesia
- 21 Armonio
- 22 Acordeón
- 23 Armónica
- 24 Bandoneón

Ensemble

- 49 Cuerdas 1
- 50 Cuerdas 2
- 51 Cuerdas sinte 1
- 52 Cuerdas sinte 2
- 53 Coro "Aah"
- 54 Voces "Uuh"
- 55 Voz sintetizada
- 56 Tutti de orquesta

Guitarras

- 25 Guitarra clásica
- 26 Guitarra acústica
- 27 Guitarra de jazz
- 28 Gt. eléctrica (limpia)
- 29 Gt. eléctrica (mutes)
- 30 Gt. saturada
- 31 Gt. distorsion
- 32 Gt. armónicos

Metales

- 57 Trompeta
- 58 Trombón
- 59 Tuba
- 60 Trompeta sord.
- 61 Trompa
- 62 Brass
- 63 Brass sinte 1
- 64 Brass sinte 2

Maderas (cañas)

- 65 Saxofón soprano
- 66 Saxofón alto
- 67 Saxofón tenor
- 68 Saxofón barítono
- 69 Oboe
- 70 Corno inglés
- 71 Fagot
- 72 Clarinete

Maderas (sopladas)

- 73 Piccolo
- 74 Flauta
- 75 Flauta dulce
- 76 Flauta de pan
- 77 Botella soplada
- 78 Shakuhachi
- 79 Silbido
- 80 Ocarina

Sintetizador (solo)

- 81 Solo 1 (onda cuadrada)
- 82 Solo 2 (diente de sierra)
- 83 Solo 3 (órgano portátil)
- 84 Solo 4 (órgano solista)
- 85 Solo 5 (charanga)
- 86 Solo 6 (voz sintetizada)
- 87 Solo 7 (quintas)
- 88 Solo 8 (bajo + melodía)

Sintetizador (fondos)

- 89 Fondo 1 (new age)
- 90 Fondo 2 (cálido)
- 91 Fondo 3 (polysynth)
- 92 Fondo 4 (coral)
- 93 Fondo 5 (arcos)
- 94 Fondo 6 (metálico)
- 95 Fondo 7 (celestial)
- 96 Fondo 8 (barrido armónicos)

Sintetizador (efectos)

- 97 FX 1 (lluvia)
- 98 FX 2 (banda sonora)
- 99 FX 3 (cristalino)
- 100 FX 4 (atmósfera)
- 101 FX 5 (brillante)
- 102 FX 6 (duendes)
- 103 FX 7 (ecos)
- 104 FX 8 (ciencia-ficción)

Étnicos

- 105 Sitar
- 106 Banjo
- 107 Shamisen
- 108 Koto
- 109 Kalimba
- 110 Gaita
- 111 Violín (arco)
- 112 Shannai

Percusión

- 113 Campanillas
- 114 Agogô
- 115 Steel drum
- 116 Caja china
- 117 Taiko
- 118 Tom melódico
- 119 Caja sinte
- 120 Plato invertido

Efectos especiales

- 121 Guitarra trastes
- 122 Respiración
- 123 Costa de mar
- 124 Pájaros
- 125 Teléfono
- 126 Helicóptero
- 127 Aplauso
- 128 Disparo

