



**UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID**

**Proyecto de Innovación**

**Convocatoria 2016/2017**

**Nº de Proyecto: 223**

**Desarrollo de software en entorno Matlab para la generación y  
presentación de sonidos e imágenes 2D y 3D en el aula**

**Dr. Ignacio Serrano-Pedraza**

**Facultad de Psicología**

**Departamento de Psicología Experimental**

## 1. Introducción

El resultado del Proyecto consta de doce programas con más de cien funcionalidades. Cinco están dedicados al estudio del sistema auditivo humano, seis están dedicados a demostraciones para el estudio del sistema visual y un programa está dedicado al análisis y explicación de resultados experimentales analizados de acuerdo con la Teoría de Detección de Señales. En el Anexo de este documento se presentan capturas de los diferentes programas con una breve descripción de los objetivos de cada programa y sus funcionalidades. Los programas pueden generar y presentar de modo controlado sonidos e imágenes 2D y 3D, además, permiten filtrar sonidos e imágenes y así como enmascarar señales auditivas y visuales con diferentes tipos de ruido. Todas las demostraciones han sido probadas en el aula buscando que las demostraciones sean lo más intuitivas posible. Para que los programas funcionen correctamente es necesario tener instalado Matlab (<http://www.mathworks.es>) (prácticamente el 100% de los ordenadores en las aulas de la UCM tienen instalado este programa). La versión más antigua probada funcionando correctamente ha sido la R2011b. Los programas funcionan tanto en sistema Windows como Mac. Respecto al ordenador, si la aplicación Matlab funciona, los programas también lo harán. Los programas que se han generado se pueden hacer ejecutables, aunque se ha preferido hacer público el código fuente para que el usuario pueda ver el código y cambiarlo si lo desea. Todos los programas están sujetos a mejoras que se irán añadiendo en sucesivas versiones. Por último, dado que la terminología científica utilizada en los programas es habitualmente en inglés, todos los programas se han realizado con el texto en inglés. Esto nos ofrece la posibilidad de extender su uso a entornos académicos internacionales.

## 2. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El principal objetivo del Proyecto de Innovación Docente es el desarrollo de un software en Matlab para poder presentar sonidos e imágenes en el aula de modo controlado. Para lograr este objetivo, el desarrollo de este software tiene tres objetivos particulares:

- 1) Permitir la generación de estímulos auditivos incluyendo demostraciones como el filtrado de sonidos.
- 2) Permitir la generación de estímulos visuales (ver ejemplos en el anexo de este documento) incluyendo tanto demostraciones de fenómenos visuales como la

explicación efectiva de los mismos mediante la simulación de los procesos visual iniciales (como, por ejemplo, el procesamiento inicial de ilusiones visuales por el sistema visual humano).

- 3) Permitir la presentación de modo controlado estímulos visuales y auditivos en las aulas.

### **3. Objetivos alcanzados**

Se han conseguido todos los objetivos propuestos. Se han desarrollado doce programas con más de 13,000 líneas de código en Matlab que abordan diferentes demostraciones de estímulos y fenómenos fundamentales para el entendimiento del funcionamiento del sistema visual y auditivo humano. Además, estos programas se pueden utilizar en otras áreas científicas (Ciencias Biológicas, Veterinaria, Otorrinolaringología, y Oftalmología entre otras) debido a que se presentan demostraciones con un carácter transversal, como la que tiene como contenido la exposición de modo intuitivo del análisis y síntesis de Fourier aplicado a imágenes. Debido a la gran aceptación que han tenido estos programas entre nuestros alumnos, en un futuro cercano pensamos seguir incrementando el número de demostraciones e ir mejorando las funcionalidades de los programas actuales y futuros. Para ello, se pretende solicitar otro Proyecto de Innovación Docente como continuación de éste.

### **4. Metodología empleada en el proyecto**

El 90% del Proyecto se ha basado en la programación propia de librerías utilizando Matlab y el 10% restante se ha dedicado a la corrección de errores y a la mejora de la usabilidad de los programas. Cada programa combina diferentes librerías en un solo software dotándolo de un interfaz gráfico que permite usarlo a cualquier persona aún sin conocimientos de programación (ver anexo de este documento). Dos razones han aconsejado la utilización del software matemático Matlab: la principal es que todas las aulas de la UCM constan de un ordenador con Matlab instalado, pero también es importante notar la razón secundaria de que es el software utilizado habitualmente en la mayoría de los laboratorios. Tras la programación de cada programa, este fue distribuido a los miembros del proyecto para probarlo, encontrar posibles errores y sugerir mejoras respecto a su usabilidad. Tras la inclusión de estas mejoras, los programas fueron testados en el aula durante el curso 2017/2018, en particular, en las clases de la asignatura Psicología de la Percepción (Facultad de Psicología) con el objetivo de incorporar posibles mejoras en

los programas. Una vez terminados los programas el siguiente objetivo será dar difusión a los programas para que estos sean utilizados por aquellos profesores cuyas asignaturas requieran la presentación de imágenes y sonidos de modo controlado. En principio el objetivo es establecer reuniones con los profesores de Psicología que estén interesados en el uso de esta metodología docente donde se les impartirá un seminario introductorio explicando el entorno Matlab y la utilización de nuestro software.

## 5. Recursos humanos

El equipo humano que ha trabajado en este proyecto está compuesto por cuatro profesores del Departamento de Psicología Experimental (Facultad de Psicología, UCM) un becario FPI y una Becaria FPU:

- 1) El Dr. Ignacio Serrano Pedraza (Profesor Titular de Universidad) ha sido la persona responsable de la programación de todos los programas. Cuenta con más de 20 años de experiencia en la programación de del software matemático Matlab dentro del campo de la investigación psicofísica del sistema visual humano y cuenta con experiencia en la enseñanza de este software en asignaturas como *Psicología de la Percepción, Análisis de señales en visión y audición y Arquitectura funcional de la Mente y Procesos* donde las prácticas son realizadas utilizando Matlab.
- 2) El Dr. Vicente Sierra Vázquez (Catedrático de Universidad) es un experto en Teoría de la Señal aplicada a Visión y Audición, cuenta con una larga experiencia docente en asignaturas como *Psicología Matemática, Psicología de la Percepción y Análisis de señales con aplicaciones en visión y audición*. Su participación en el proyecto ha sido muy importante para la verificación formal (ecuaciones, filtrado, etc) de los programas desarrollados.
- 3) El Dr. José Javier Campos Bueno (Profesor Titular de Universidad y coordinador del Campus Virtual en la Facultad de Psicología) cuenta con una gran experiencia en el diseño de páginas web e interfaces visuales. Su amplia experiencia en el Campus Virtual desde 2003 ha sido muy útil en la usabilidad de los programas.
- 4) El Dr. Luis Enrique López Bascuas (Profesor Titular de Universidad) ha participado de modo exitoso en 6 proyectos de innovación docente, es un experto en Psicoacústica con más de 20 años impartiendo asignaturas como *Psicología de la Percepción, Arquitectura funcional de la Mente y Procesos, y Análisis de señales con aplicaciones en visión y audición*. Su conocimiento del sistema auditivo humano

has sido muy útil para testar los programas dedicados a la generación y presentación de sonidos.

- 5) Raúl Luna del Valle, doctorando de Ignacio Serrano-Pedraza, es investigador FPI con cargo al proyecto PSI2014-51960-P, cuenta con experiencia en programación en entorno Matlab y está realizando la tesis sobre mecanismos visuales inhibitorios en la percepción del movimiento ha participado testando los programas con el objetivo de probar su usabilidad y detectar errores.
- 6) Sandra Arranz Paraíso, investigadora FPU y doctoranda de Ignacio Serrano-Pedraza, cuenta con experiencia en el estudio del sistema visual humano y en programación en entorno Matlab. Ha participado testando los programas con el objetivo de probar su usabilidad y detectar errores.

## **6. Desarrollo de las actividades**

El cronograma y plan de trabajo se ha dividido en tres fases:

Primera fase: Los primeros 12 meses se han dedicado exclusivamente a la programación de las librerías y de unos interfaces gráficos elementales. En esta primera fase sólo se tuvo en cuenta el buen funcionamiento de las librerías. Durante esta fase se decidió el número de programas para que los aspectos básicos del proyecto quedasen cubiertos con los programas desarrollados.

Segunda fase: Los siguientes tres meses se han dedicado a la mejora de los interfaces gráficos. Los objetivos de esta fase son: a) que la organización de las ventanas sea lo más didáctico posible; b) que la información presentada en los programas sea la necesaria para entender las demostraciones; c) que el tamaño del texto y las imágenes sean claramente visibles en el aula; d) que la selección de imágenes y sonidos en las demostraciones sea lo más completa posible para que las demostraciones cubran diferentes aspectos del procesamiento visual y auditivo.

Tercera fase: Los últimos seis meses se han dedicado a probar el software, corregir errores, mejoras en el diseño intentando que el software fuese visible en diferentes plataformas (Windows, Mac) con diferentes pantallas, versiones de Matlab, etc. También se llevaron los programas al aula el objetivo de mejorar los programas en lo posible y hacerlos didácticos y usables. En las aulas se probó la calidad de las imágenes presentadas, la calidad de los sonidos, la visibilidad de los números y el texto, etc.

## 7. Anexos

A continuación, se describen los programas que forman parte del Proyecto de Innovación Docente. Se mostrarán capturas de pantalla de cada programa y se realizará una pequeña descripción de sus funcionalidades. En la actualidad estamos redactando un manual muy detallado para su uso. En la siguiente página web:

<https://www.ucm.es/serranopedrazalab/software-1> se pueden ver animaciones del funcionamiento de algunos programas. Nuestro objetivo es que los futuros usuarios lo puedan descargar desde esta dirección donde mantendremos actualizados los programas en caso de que surjan errores no detectados en la versión actual.

### 7.1 Menú principal

El programa tiene un menú principal (ver Figura 7.1) que controla la apertura de los programas. Presionando cada botón nos abrirá el programa correspondiente. Como se puede ver el menú principal nos da acceso a doce programas.

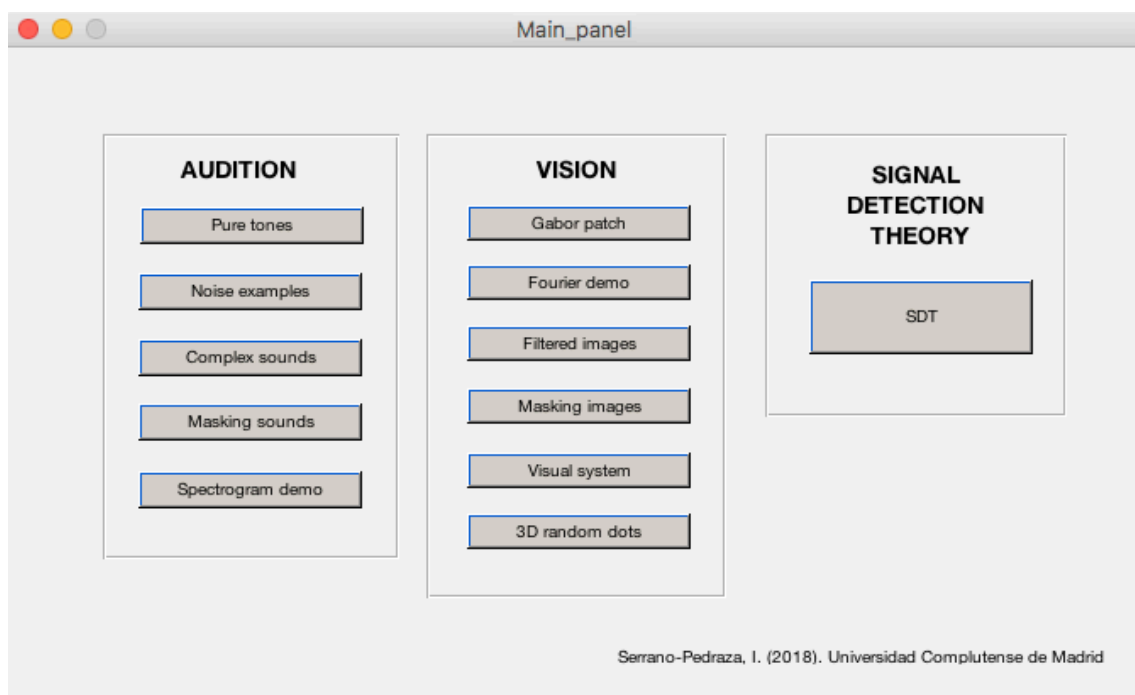


Figura 7.1. Captura de pantalla del menú principal.

### 7.2 Generación de tonos puros

El siguiente programa nos permite generar tonos puros, sonidos habitualmente utilizados tanto el estudio experimental del Sistema Auditivo Humano como en la determinación de la Curva de Audibilidad y el audiograma (ver Figura 7.2). Este programa nos permite generar los tonos puros variando sus diferentes parámetros (frecuencias temporal, fase y amplitud). También nos permite cambiar la duración la frecuencia de muestreo del sonido. El mismo programa nos representa el tono puro en el tiempo, así como sus respectivos espectros de amplitud y de fase.

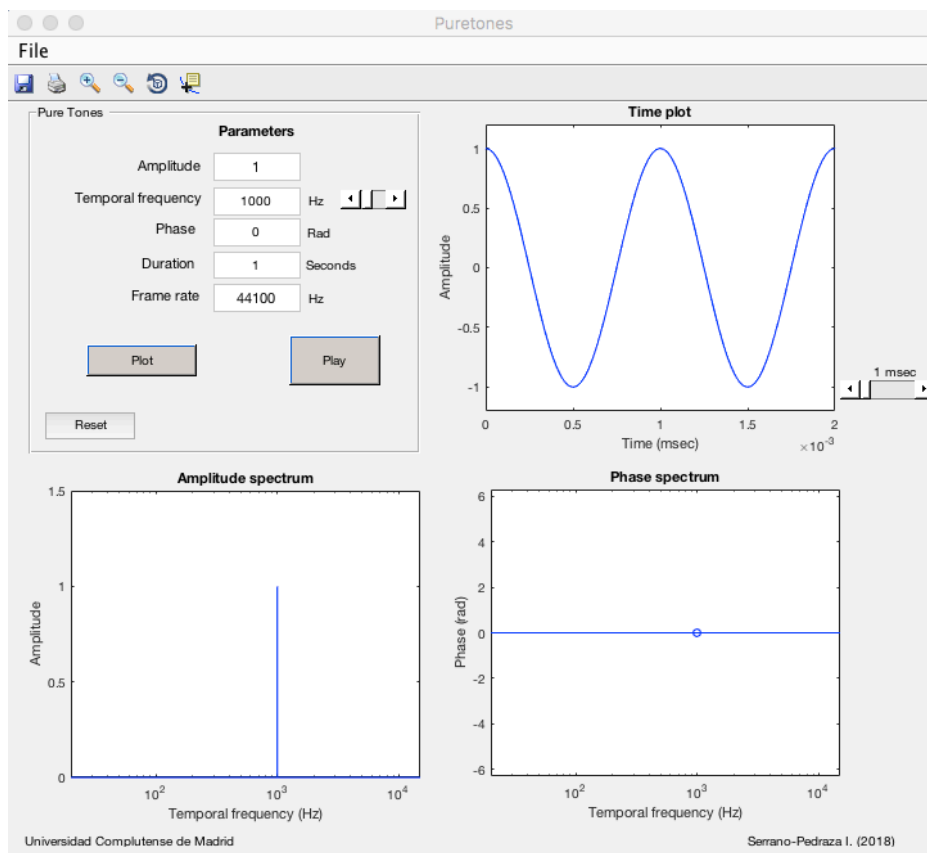


Figura 7.2. Captura de pantalla del programa “Pure tones”.

### 7.3 Generación de ruido acústico

Este programa está diseñado para la generación de diferentes tres tipos de ruido acústico (ver Figura 7.3). En particular, genera dos tipos ruidos blancos, uno con distribución de presión sonora gaussiana y otro con distribución uniforme. El tercer tipo de ruido tiene el espectro de amplitud de Fourier  $1/f$ , también llamado ruido rosa. Esta aplicación nos permite reproducir ruidos acústicos con diferente amplitud, duración y frecuencia de

muestreo. Aparte de ofrecer la posibilidad de reproducir los sonidos, el programa nos proporciona tres gráficos donde se nos representa las presiones sonoras en función del tiempo, se nos representa el espectro de amplitud del ruido, y por último, un histograma de la distribución de presiones sonoras del ruido.

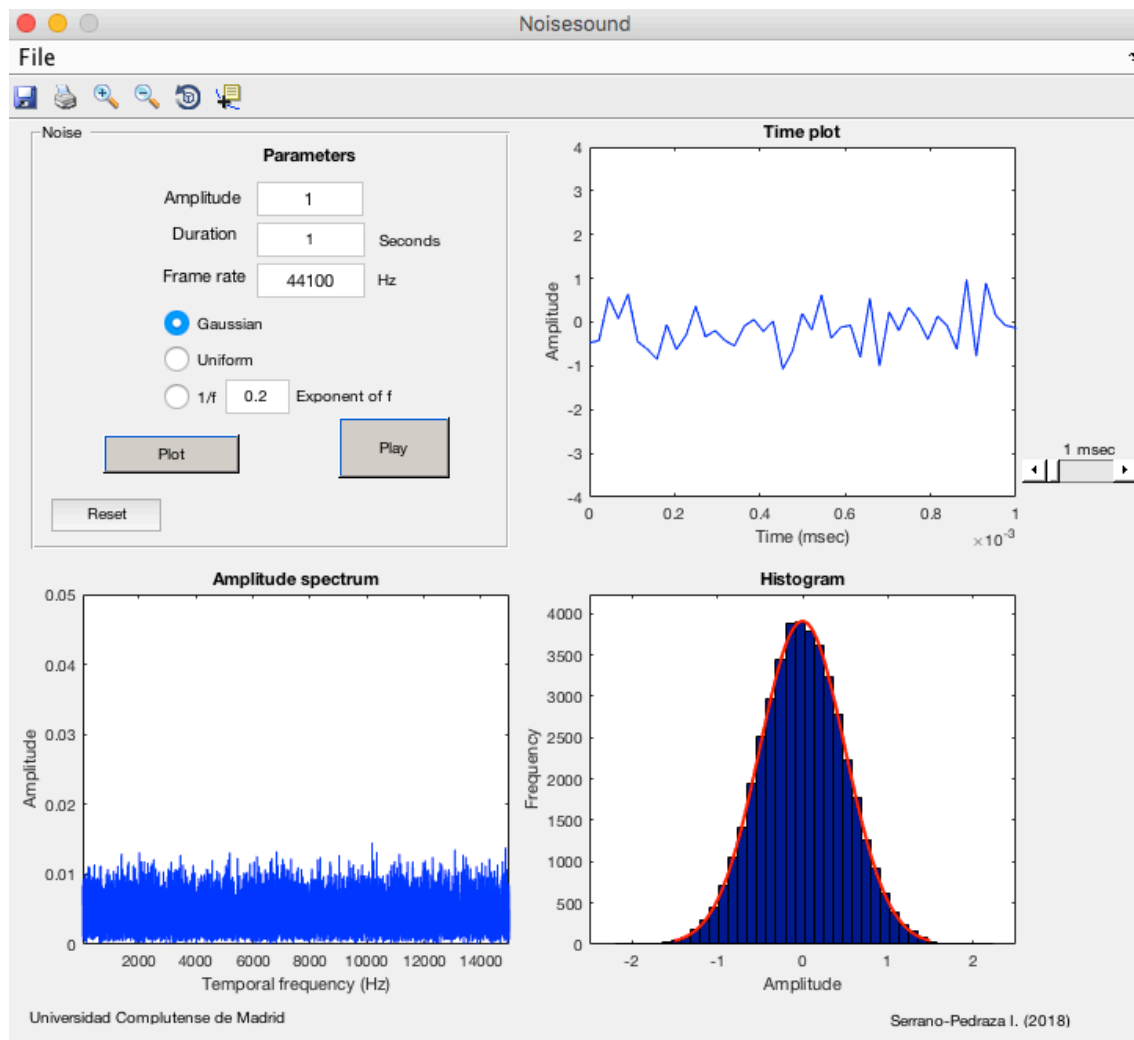


Figura 7.3. Captura de pantalla del programa “Noise examples”.

#### 7.4 Generación de estímulos complejos sumando tonos puros

El siguiente programa nos permite sumar hasta cinco tonos puros diferentes que pueden variar en amplitud, frecuencia temporal y fase (ver Figura 7.4). Es un programa ideal para explicar de un modo sencillo el teorema de Fourier aplicado a sonidos y la Ley acústica de Ohm-Helmholtz. El alumno puede ver y oír como un sonido complejo está formado por tonos puros y como el ser humano puede percibir todos los tonos puros de forma separada siempre que la distancia en frecuencia temporal entre los tonos supere un cierto valor

crítico. El programa reproduce los sonidos, representa la presión sonora del sonido en función del tiempo, y su espectro de amplitud

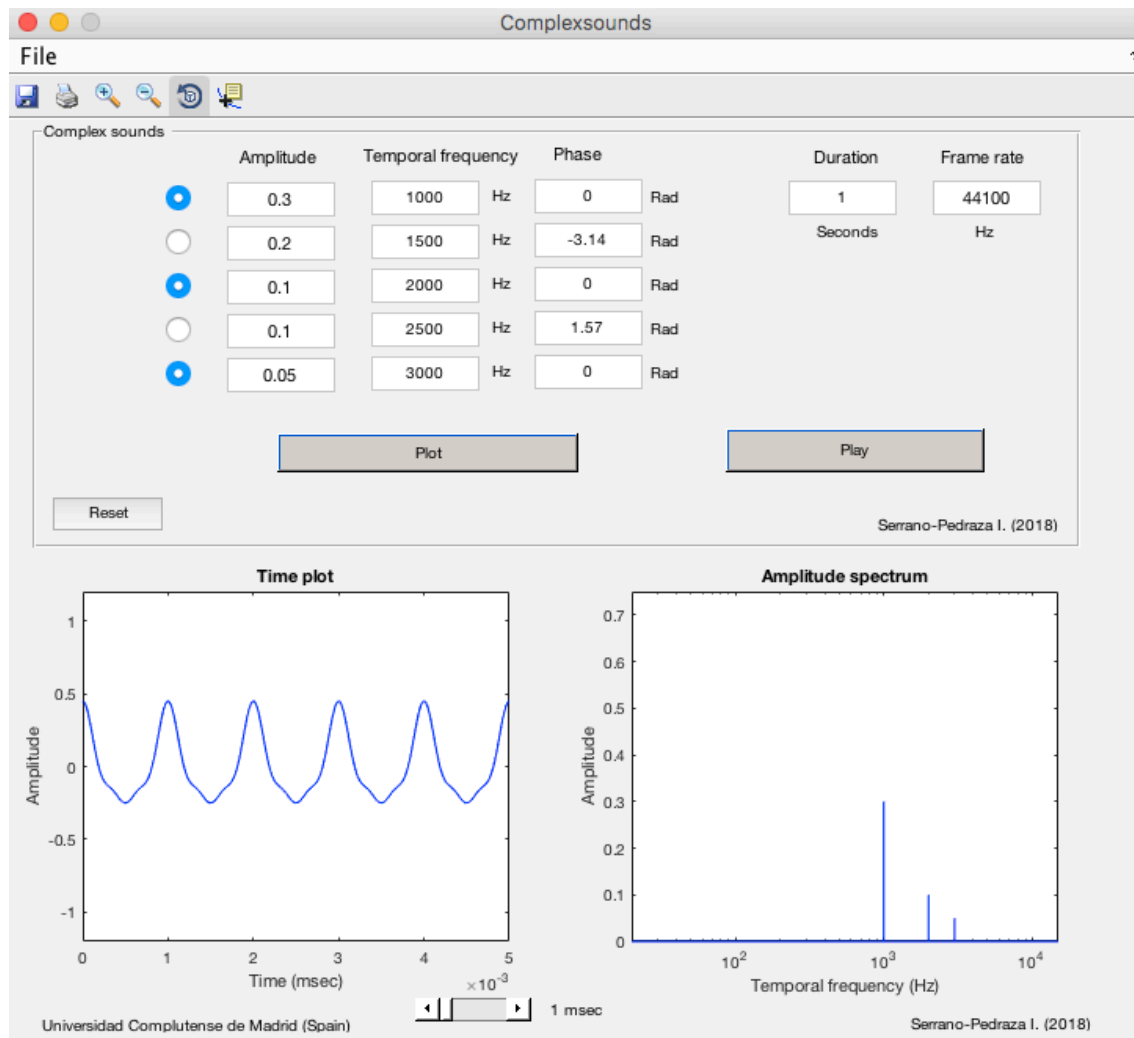


Figura 7.4. Captura de pantalla del programa “Complex sounds”.

### 7.5 Enmascaramiento de sonidos

El siguiente programa nos permite mostrar de modo sencillo la técnica de enmascaramiento de sonidos (ver Figura 7.5). El programa puede presentar tonos puros y ruidos máscara por separado y sumados. El programa nos permite filtrar el ruido acústico utilizando filtros ideales paso-bajo, paso-banda, paso-alto y filtro con muesca espectral (notch). El programa genera ambos tipos de sonido y los representa gráficamente utilizando una representación temporal (presión sonora en función del tiempo) y su espectro de amplitud. De esta manera es más intuitivo el enmascaramiento y el alumno puede ver la parte del espectro que pertenece al ruido y la que pertenece a la señal. El programa permite

manipular los parámetros de estos filtros para poder demostrar de modo sencillo la existencia de canales auditivos en el ser humano. En particular, permite mostrar la existencia de las llamada “bandas críticas” en audición.

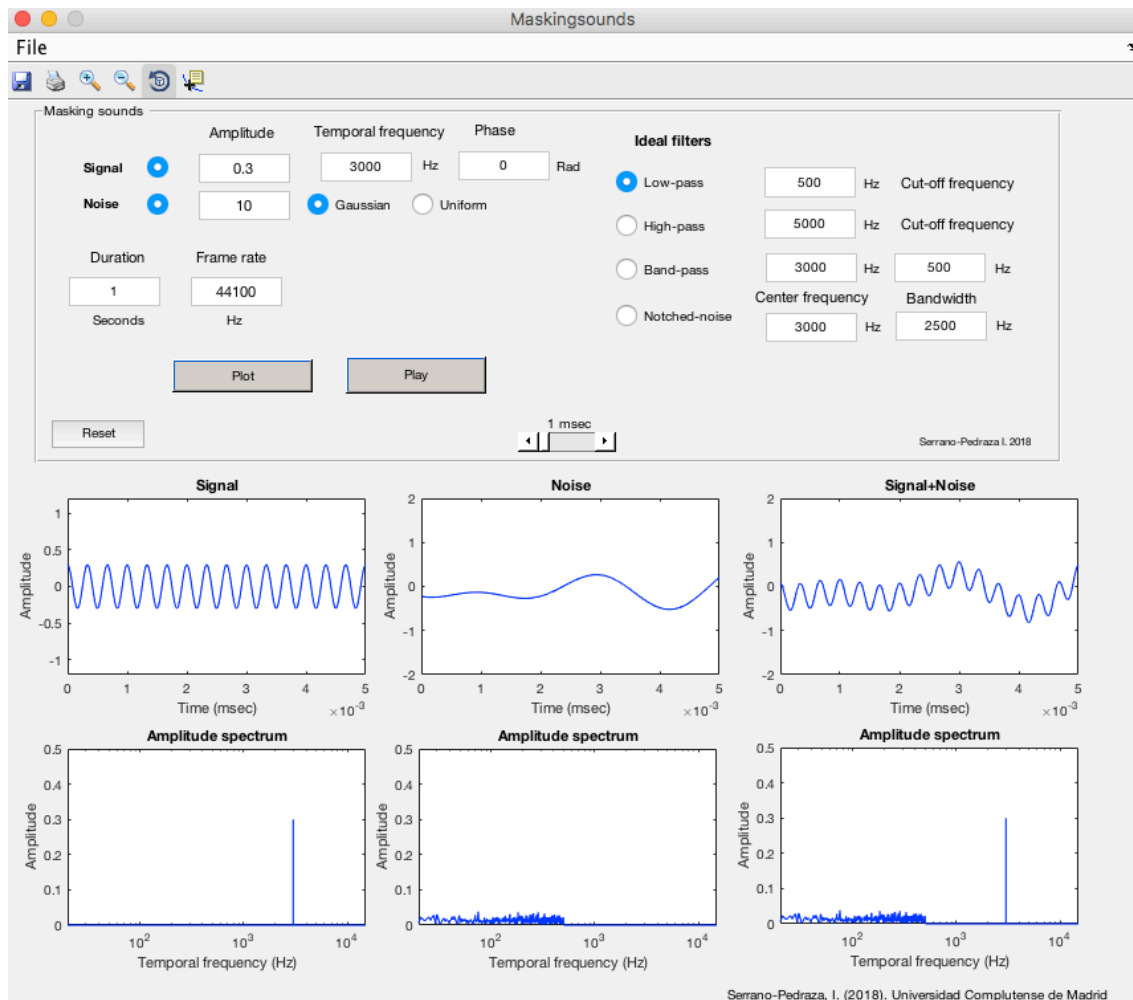


Figura 7.5. Captura de pantalla del programa “Masking sounds”.

### 7.6 Espectrograma de sonidos

El objetivo fundamental de este programa es mostrar al alumno de un modo sencillo el concepto de espectrograma y su importancia para el estudio del sistema auditivo humano (ver Figura 7.6). El siguiente programa nos permite representar el espectrograma de sonidos de habla humana (vocales y palabras), tonos puros, tonos compuestos, pulsaciones (beats), ruidos, chirps, y una secuencia de sonido sintetizado presente en una canción de música pop. El programa a su vez permite filtrar estos sonidos utilizando filtros Butterworth y tanto sus parámetros, como el orden o las frecuencias de corte, pueden cambiarse de un modo sencillo. El mismo programa reproduce los sonidos tanto los originales como su versión filtrada.

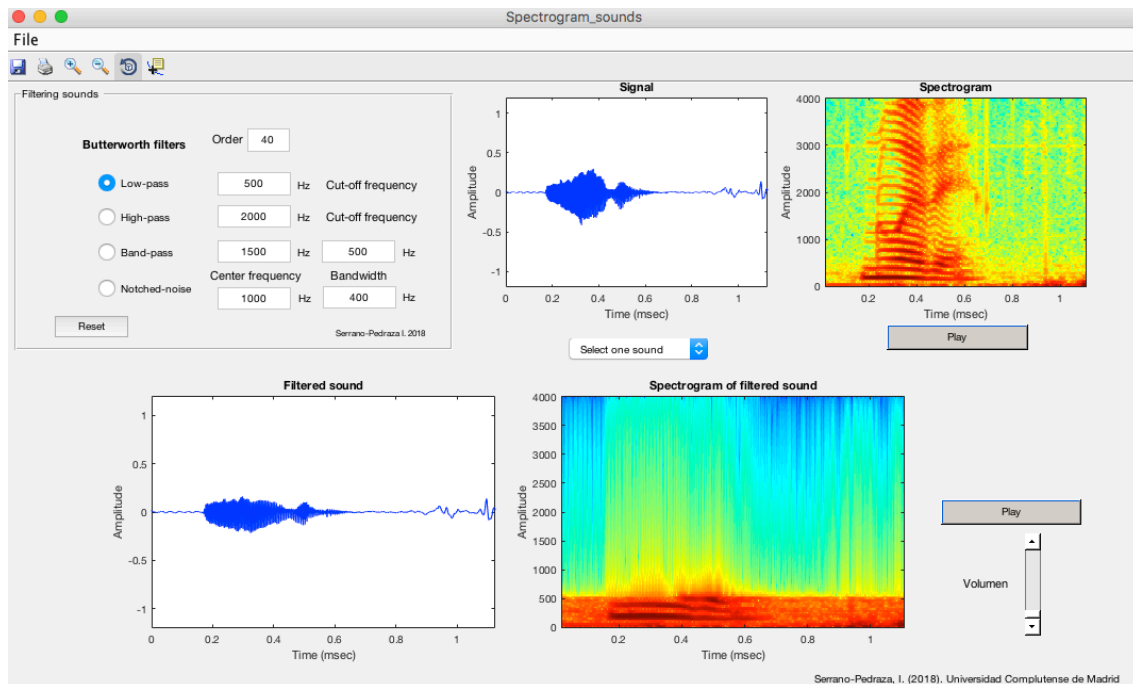


Figura 7.6. Captura de pantalla del programa “Spectrogram demo”.

## 7.7 Generación de funciones de Gabor 2D

El siguiente programa pertenece a la serie de demostraciones dedicadas al estudio del Sistema Visual Humano (ver Figura 7.7). Este programa es útil para mostrar los estímulos actualmente utilizados en el estudio del sistema visual. Estos estímulos, llamados funciones de Gabor bidimensionales (2D), son el resultado de multiplicar un enrejado sinusoidal y una función gaussiana bidimensional. Las funciones de Gabor 2D tienen parámetros fácilmente configurables en el programa: amplitud, frecuencia espacial, orientación y fase. El mismo programa presenta la imagen del estímulo, el perfil de luminancia, una representación 3D del estímulo para mostrar al alumno las características del estímulo, y por último presenta el espectro de amplitud. El espectro de amplitud es configurable para que presente los valores en escala logarítmica o lineal.

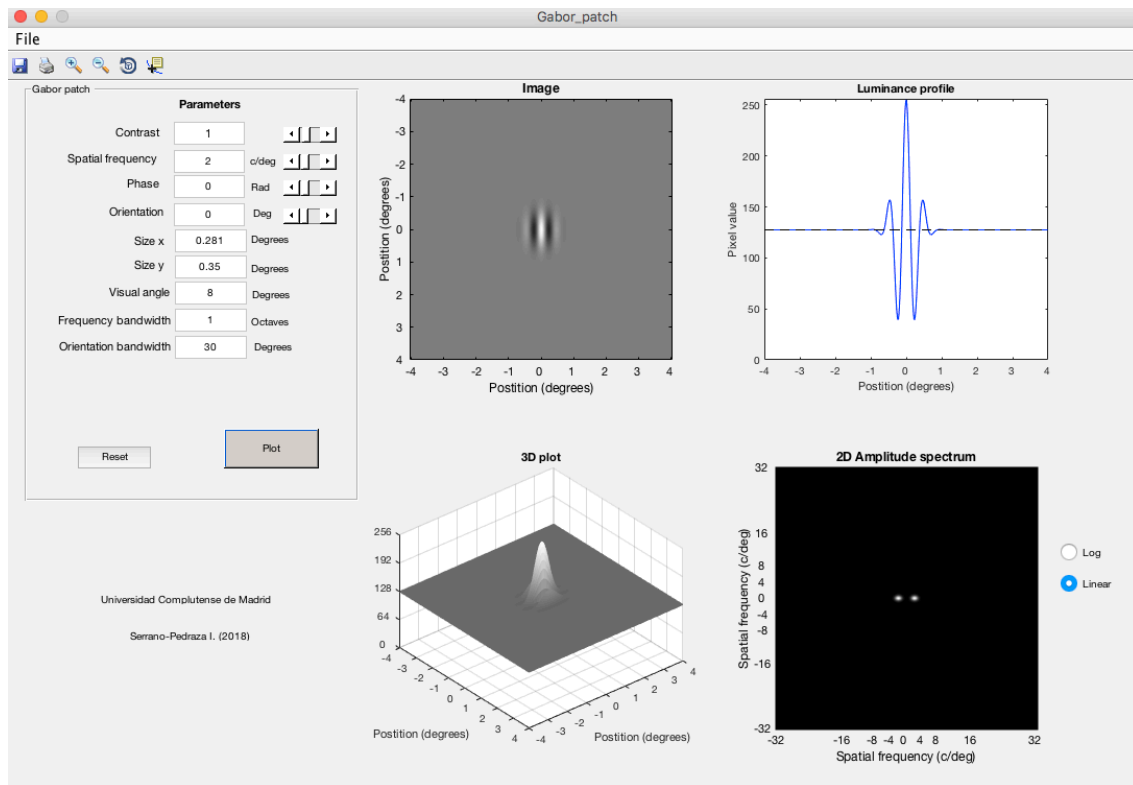


Figura 7.7. Captura de pantalla del programa “Gabor patch”.

### 7.8 Demostración del análisis de Fourier aplicado a imágenes.

El siguiente programa está diseñado para facilitar al alumno la comprensión del concepto de análisis y síntesis de Fourier aplicado a imágenes (ver Figura 7.8). La idea básica es que cualquier imagen se puede analizar en un conjunto de infinitos enrejados sinusoidales que varían en amplitud, frecuencia espacial, orientación y fase. A la vez, el programa muestra que, conocidos sus espectros de amplitud y de fase, toda imagen puede sintetizarse sumando infinitos enrejados sinusoidales que varían en amplitud, frecuencia espacial, orientación y fase. El programa nos permite seleccionar diecisiete imágenes diferentes tanto naturales como sintéticas. Para cada imagen seleccionada se presenta el espectro de amplitud de Fourier de ésta. Por otro lado, en la parte inferior izquierda del programa aparece una imagen en negro donde el alumno (o el profesor) tiene que presionar con el ratón encima de la imagen. Cada vez que se presiona el ratón el punto donde se encuentra el cursor corresponde a un enrejado sinusoidal con una frecuencia, amplitud y orientación determinada (que aparece en la imagen central de la parte inferior). Por último, cada enrejado que es seleccionado se va añadiendo a los anteriores de modo que al final, sumando todos los enrejados seleccionados se va recuperando la imagen original (que es

la imagen que aparece en la parte inferior derecha). La demo hace intuitivo el concepto de escala espacial (o resolución) y del tipo de información espacial que transporta cada región del espectro de Fourier de una imagen (conceptos que serán completados en los tres programas siguientes).

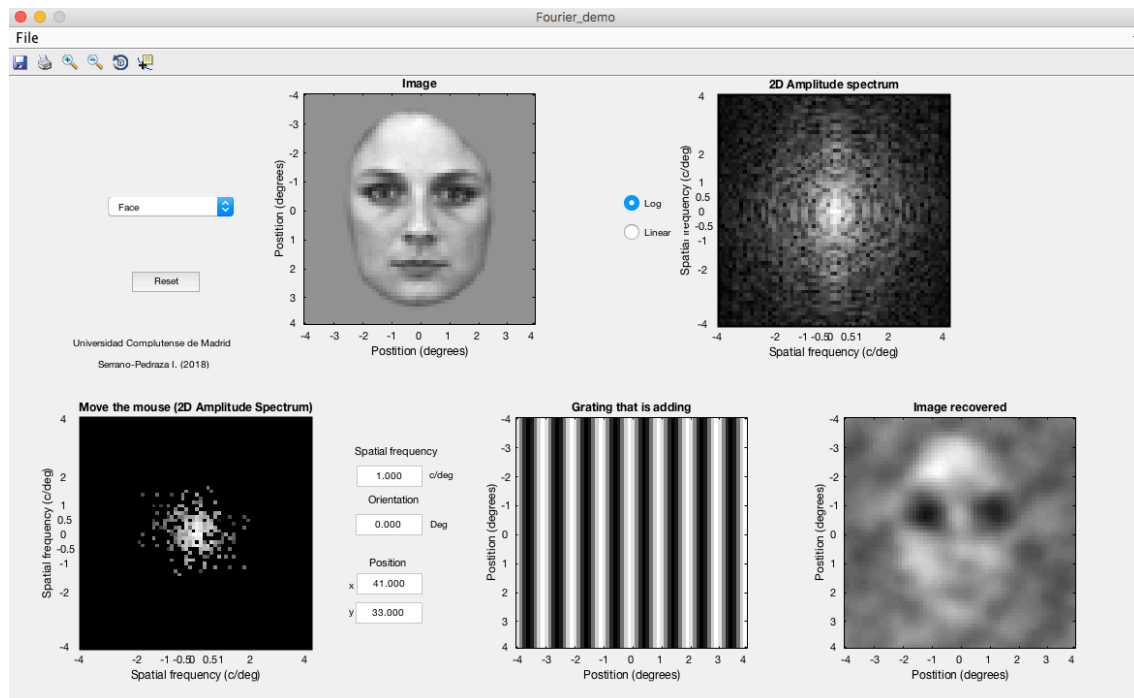


Figura 7.8. Captura de pantalla del programa “Fourier demo”.

### 7.9 Demostración de filtrado de imágenes.

En esta demostración se pretende enseñar el efecto perceptivo que tiene el filtrado de una imagen (ver Figura 7.9). Este programa completa la demo anterior para ayudar al usuario a entender los distintos niveles de resolución de una imagen y para hacer demostraciones acerca del contenido informativo de cada escala. Se han programado dos tipos de filtros (ideales y Butterworth) con cuatro tipos de función de transferencia de modulación (paso-bajo, paso-alto, paso-banda, y filtro con muesca espectral). El programa permite modificar las frecuencias de corte de los filtros, la anchura de banda de los filtros paso-banda y muesca espectral, y también el orden de los filtros Butterworth. Se pueden analizar las diecisiete imágenes del programa anterior de un modo sencillo. El programa tiene varias ventanas donde se muestra la imagen, su espectro de amplitud, el espectro de fase, el espectro de la imagen filtrada y la imagen filtrada. Para los espectros de amplitud se puede seleccionar si se desea ver los valores de amplitud logarítmicos o en escala lineal.

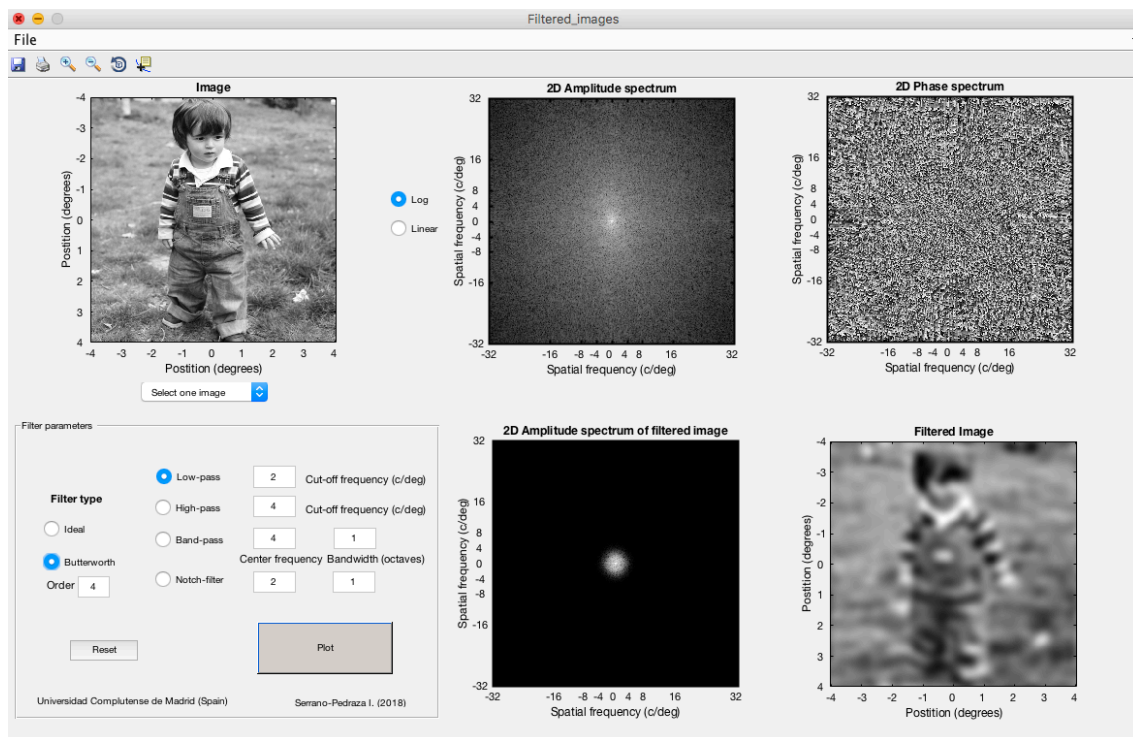


Figura 7.9. Captura de pantalla del programa “Filtered images”.

### 7.10 Demostración del enmascaramiento visual.

La técnica de enmascaramiento espacial es una de las más utilizadas en el estudio del sistema visual humano (ver Figura 7.10). Esta demostración muestra ejemplos de enmascaramiento simultáneo, donde el ruido máscara y la señal aparecen a la vez. La lógica subyacente del paradigma de enmascaramiento es que, si el ruido máscara interfiere en la detección o reconocimiento de una señal, entonces las características espaciales del ruido y señal son analizadas por un mismo mecanismo visual. En caso contrario, si no hay enmascaramiento, entonces ruido y señal son analizados de modo independiente y en paralelo por mecanismos visuales diferentes. El paradigma de enmascaramiento ha proporcionado un amplio conocimiento acerca de la arquitectura funcional del sistema visual y ha proporcionado múltiples evidencias a favor de la Teoría Multicanal de la Visión Espacial Humana. Por eso esta demostración es fundamental para que el alumno compruebe de un modo sencillo el efecto que tienen diferentes tipos de ruido máscara en el reconocimiento de imágenes y pueda entender sin dificultad la Teoría Multicanal.

El programa permite seleccionar por un lado imágenes diferentes (naturales o sintéticas) y por otro, diferentes tipos de ruido. Para facilitar las demostraciones de enmascaramiento, el programa permite filtrar tanto la imagen como el ruido. De esta

manera se puede comprobar que cuando la imagen está en una escala espacial y el ruido visual en otra (alternativamente, tienen sus espectros en diferentes regiones del dominio de Fourier), no se produce enmascaramiento, sin embargo, cuando ruido y señal comparten la escala espacial (alternativamente, la misma región en el dominio de Fourier), entonces el reconocimiento de la imagen se ve gravemente afectado. El programa permite configurar de modo independiente los filtros (ideal y Butterworth) aplicados a la señal y al ruido. Nos muestra las imágenes de la señal y del ruido sin filtrar, filtradas junto su espectro de amplitud, y por último la suma del ruido y la señal con su espectro de amplitud.

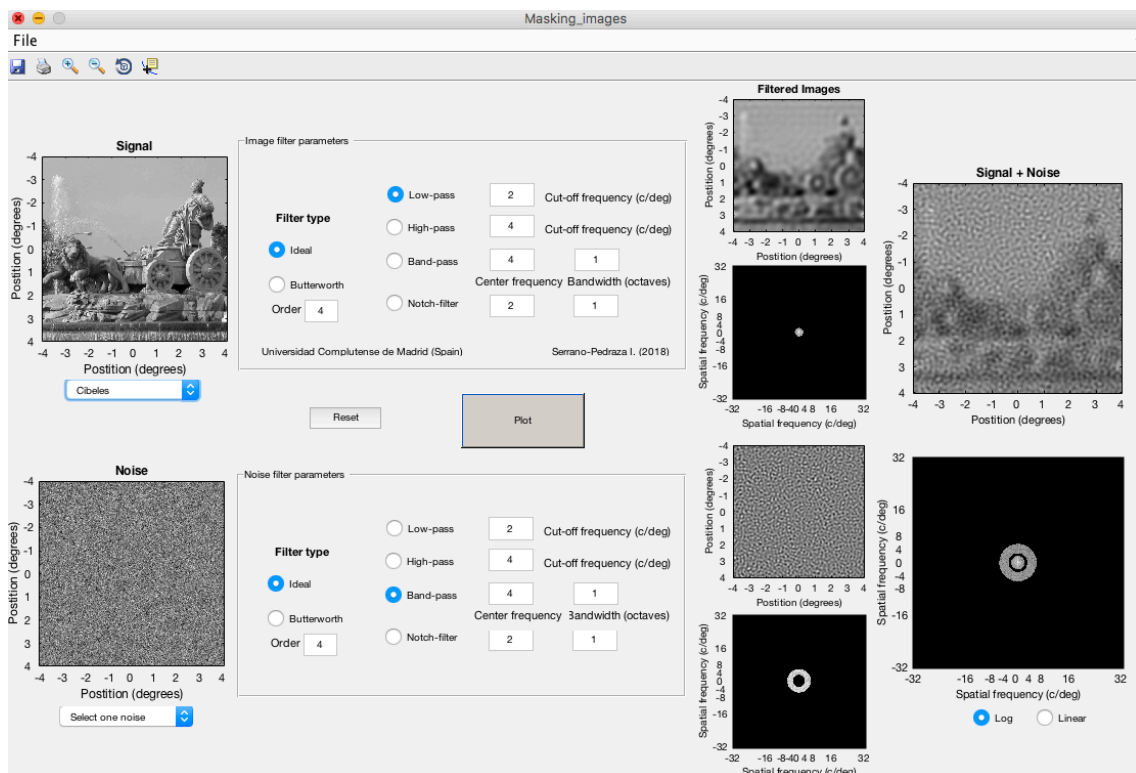


Figura 7.10. Captura de pantalla del programa "Masking images".

### 7.11 Procesamiento de imágenes utilizando canales visuales espaciales

De acuerdo con la Teoría Multicanal de la visión espacial humana, el Sistema Visual Humano está compuesto un conjunto de canales visuales espaciales sintonizados a un rango relativamente estrecho de frecuencia espaciales y orientaciones que actúan en paralelo. El objetivo de este programa es demostrar de un modo sencillo el procesamiento de una imagen por diferentes canales visuales espaciales (ver Figura 7.11). El programa consta de treinta y seis canales totalmente configurables. Se puede cambiar su anchura de

banda, tanto en frecuencia espacial como en orientación. También se puede cambiar la frecuencia espacial de sintonía y la orientación de cada canal. El programa ofrece la posibilidad de activar un solo canal espacial o los treinta y seis de modo independiente. Este programa es óptimo para mostrar el modo como nuestro sistema visual procesa inicialmente las imágenes de acuerdo con la Teoría Multicanal. Las ventanas del programa nos muestran: la imagen original, su espectro de amplitud, la función de dispersión del punto del canal o canales seleccionados, la función de transferencia de modulación del canal o canales seleccionados, la imagen procesada y espectro de amplitud.

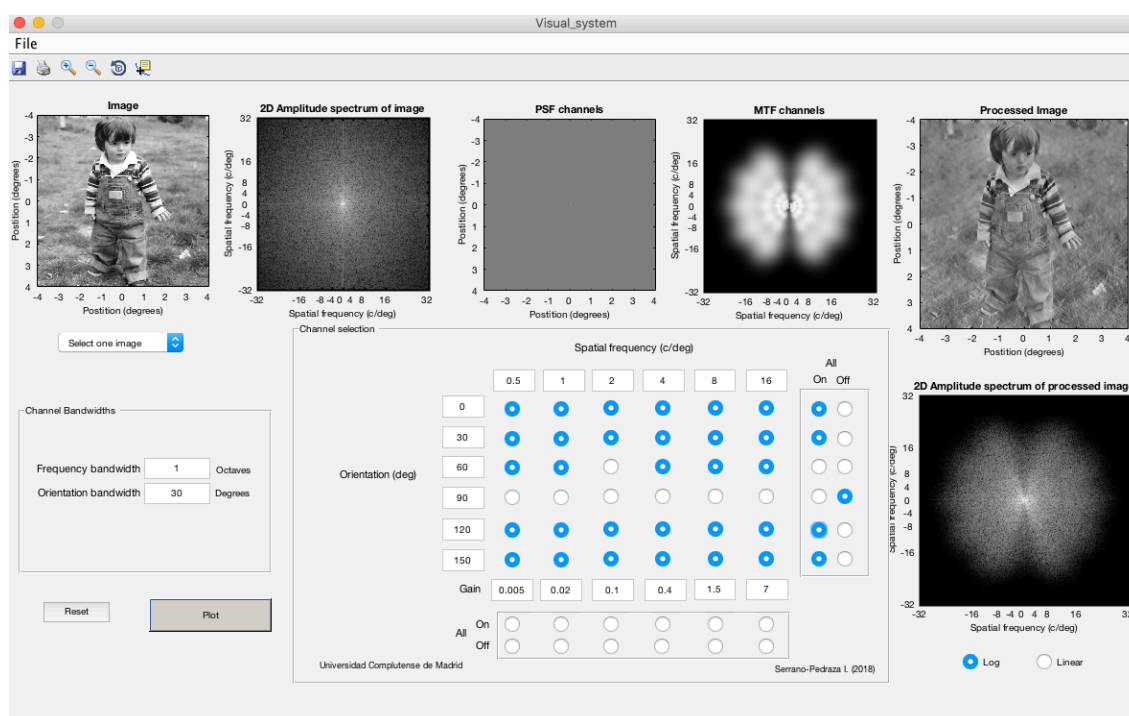


Figura 7.11 Captura de pantalla del programa “Visual system”.

### 7.12 Generación de estímulos 3D utilizando estereogramas de puntos aleatorios

El último programa dedicado al sistema visual humano es básico para entender el concepto de disparidad, estereograma y corrugaciones sinusoidales (ver Figura 7.12). Conceptos imprescindibles para entender el funcionamiento de la visión estereoscópica humana. Para que la demostración sea correcta es necesario que los alumnos lleven puestas unas gafas 3D polarizadas (gafas con un filtro rojo y un filtro verde o azul). El programa genera corrugaciones sinusoidales donde se pueden manipular nueve parámetros como la disparidad, frecuencia espacial, orientación fase, etc. El programa tiene tres ventanas, en una presenta el mapa de disparidades, en otra una versión 3D de lo que se va a percibir utilizando las gafas 3D. Por último, en la tercera ventana presenta el estereograma de puntos aleatorios. Para generar el estereograma se han utilizado gaussianas de tal manera

que se pueden conseguir disparidades subpixel (disparidad < 1 pixel). Por ello, aunque no es un programa 100% calibrado se puede utilizar de modo aproximado para determinar umbrales estereoscópicos. También el programa permite determinar el número de puntos (gaussianas) que queremos que tenga el estereograma. Por otro lado, el estereograma se ha diseñado para que los puntos (gaussianas) no se solapen. Para la correcta observación del estereograma hay que poner el filtro rojo enfrente del ojo izquierdo.

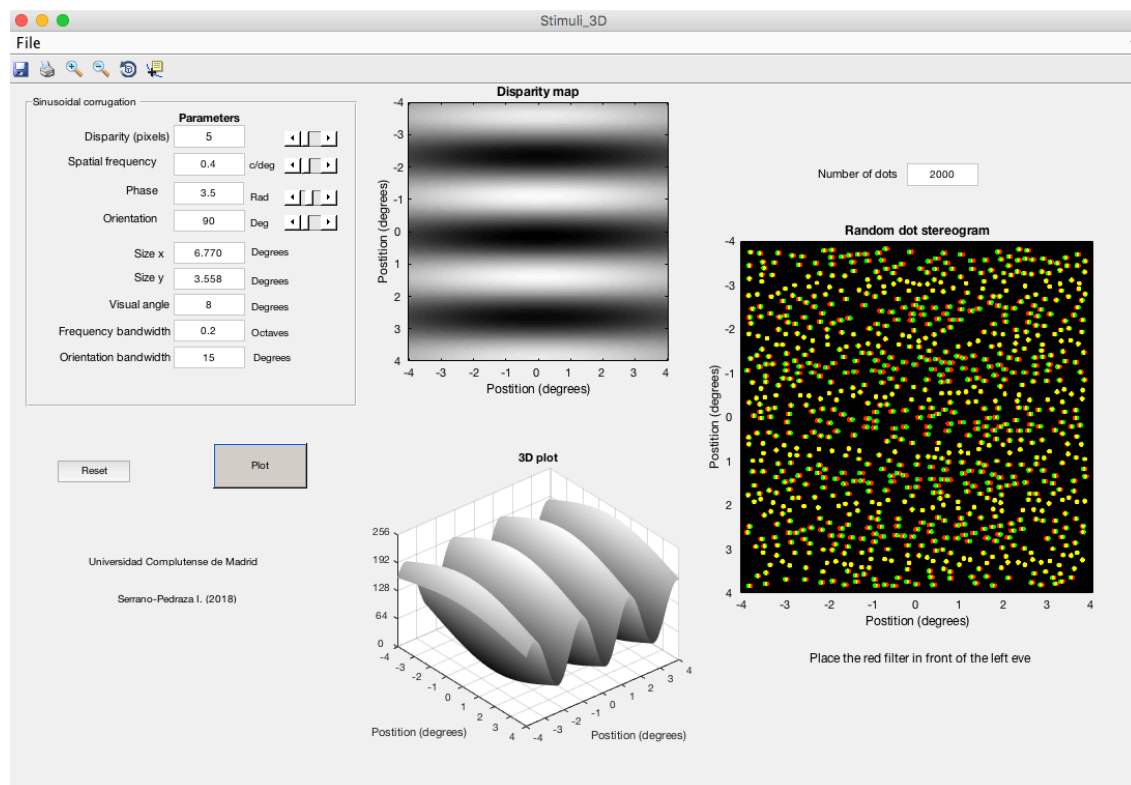


Figura 7.12 Captura de pantalla del programa “3D random dots”.

### 7.13 Análisis de datos según la Teoría de Detección de Señales

El objetivo fundamental de este programa es mostrar de modo sencillo el cálculo del índice de sensibilidad ( $d'$ ), los índices de medida del criterio de respuesta (beta y C) y mostrar también las curvas de isosensibilidad e isocriterio para diferentes resultados experimentales (ver Figura 7.13). El programa está diseñado para el análisis de resultados experimentales en tareas SI/NO (Y/N) donde en cada ensayo pueden presentarse dos tipos de estímulos, señal inserta en ruido máscara ( $s+n$ ) o el ruido máscara presentado sin señal ( $n$ ). El programa nos permite comparar los resultados de dos sujetos (o dos experimentos) pudiendo utilizar la matriz de resultados directos o la matriz de probabilidades. Por otro lado, el programa permite modificar de modo manual (moviendo los gráficos con el ratón) los parámetros de las funciones de densidad de probabilidad gaussianas para  $s+n$  (líneas

verdes) y también el criterio de respuesta (líneas verticales discontinuas). Para mejorar la explicación de la Teoría y del análisis, el programa también permite mover el resultado dentro del gráfico “ROC Plot” tanto para el sujeto A como para el B, pudiéndose activar las curvas ROC correspondientes y las dos curvas de isocriterio correspondientes a Beta y a C. El programa también nos muestra un gráfico con la representación en puntuaciones típicas (Double Probability Plot). Finalmente, hay que indicar, que cuando los gráficos se mueven manualmente, los resultados y las probabilidades se calculan automáticamente.

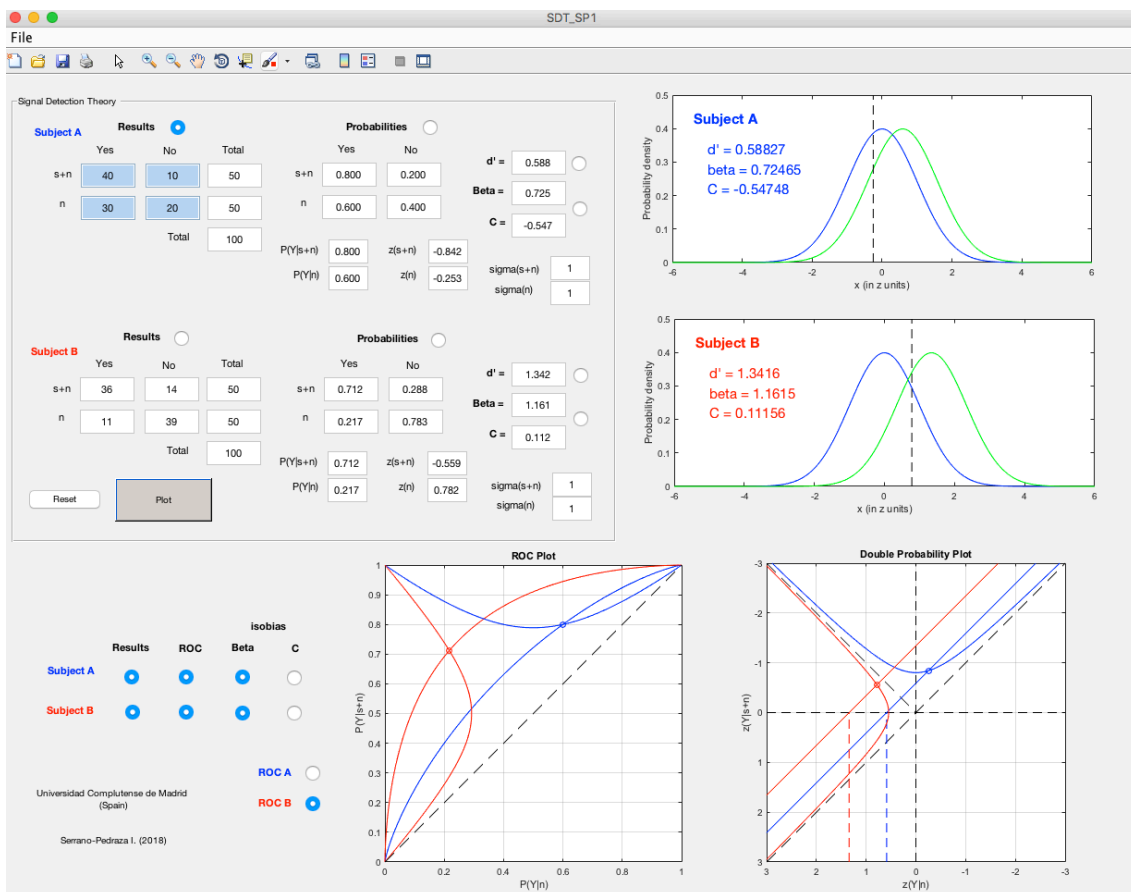


Figura 7.13 Captura de pantalla del programa “SDT”.