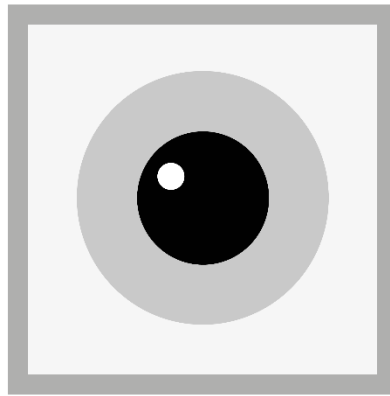


# Manual de usuario de RetINaBox

*Instrucciones para la instalación del hardware y la configuración del software*

**Versión 1.0**



R e t I N a B o x



## **Tabla de contenidos**

1. Introducción
2. Ensamblaje de RetlNaBox
3. Armado de la Herramienta de Estímulo
4. Instalación del Software
5. Conección de RetlNaBox al Raspberry Pi
6. Uso del Software

A1: Anexo 1: Lista de componentes

A2: Anexo 2: Resolución de problemas



## 1. INTRODUCCIÓN

¡Bienvenido al manual de usuario de RetINaBox! Aquí encontrará instrucciones detalladas para la construcción y el montaje de RetINaBox, así como para la instalación y el uso del software. Además, le proporcionamos una lista completa de los componentes necesarios. Si no tiene experiencia en electrónica, no se preocupe: no necesitará soldar nada. Para quienes sí tengan conocimientos básicos de electrónica, el diseño de RetINaBox es bastante sencillo y, siempre que sean compatibles con Raspberry Pi, podrá utilizar otros componentes electrónicos, como LEDs, fotodiodos y resistencias, distintos a los especificados aquí. Finalmente, incluimos una sección de resolución de problemas por si, tras leer el manual, el dispositivo aún no funciona correctamente.

## 2. ENSAMBLAJE DE RetINaBox

RetINaBox está compuesto por una carcasa impresa en 3D que alberga LEDs, fotodiodos y los cables que conectan estos componentes a la Raspberry Pi. La carcasa consta de seis piezas impresas en 3D que se ensamblan mediante tornillos M3 de diferentes longitudes (como se describe a continuación). Si bien el orden de montaje no es estricto, seguir el orden indicado en este manual garantiza un montaje sencillo y eficiente. También se describirá el cableado de los diferentes componentes, que se integrarán en la carcasa durante el proceso de montaje. Antes de comenzar, se recomienda tener a mano todos los componentes y las herramientas necesarias. Los pasos para el montaje son los siguientes:

### a) Cableado

- Cableado de los fotodiodos
- Cableado de los paneles LED
  - Paneles LED infrarrojos
  - Paneles LED blancos
  - Paneles LED de colores

### b) Montaje de la carcasa

- Descripción de las piezas de la carcasa impresas en 3D
- Partes principales de RetINaBox



### c) Conexión electrónicas al GPIO de Raspberry Pi

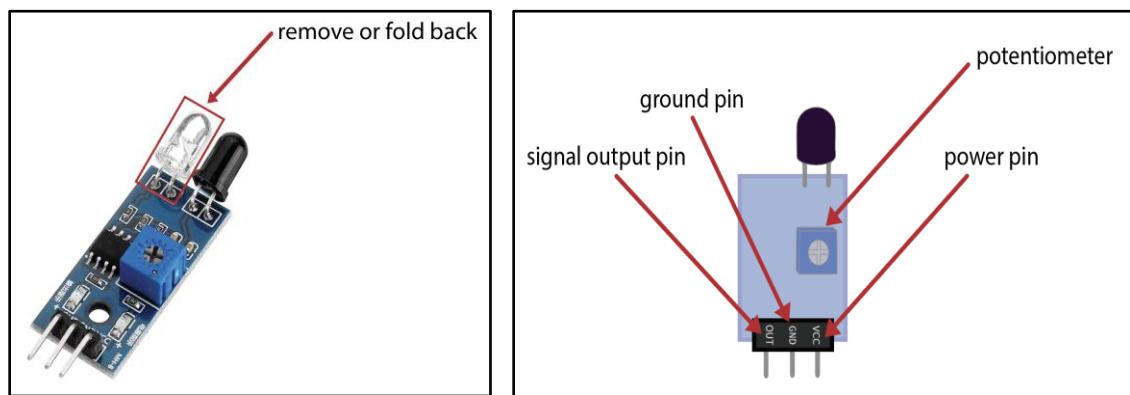
- Conexión de los fotodiodos al GPIO
- Conexión de los pines de salida de 3,3 V al GPIO
- Conexión del buzzer o parlante zumbador (para la lección 2)
- Conexión de los paneles LED al GPIO
  - Panel LED blanco
  - Panel LED de colores

### a) CABLEADO

#### 1. Cableado de los fotodiodos (~30 min)

*Materiales necesarios:* 9 fotodiodos infrarrojos (IR), cables de conexión, cortador de alambre.

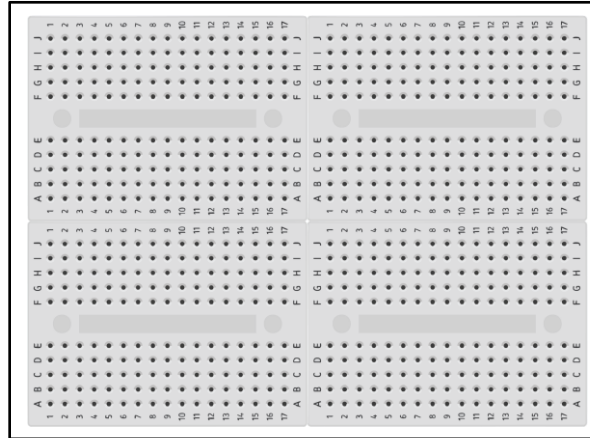
- Tenga 9 fotodiodos a la mano. Retire o doble hacia atrás el LED transparente de cada fotodiodo (**Fig. 1**; estos LEDs no se utilizarán en RetINaBox). Los fotodiodos se alimentarán con un voltaje constante de 3,3 V proveniente de la computadora Raspberry Pi, la cual también leerá de forma independiente la señal de salida de cada fotodiodo (es decir, si el fotodiodo está detectando luz o no). Cada placa del fotodiodo incluye un potenciómetro, que se utilizará para ajustar la sensibilidad a la luz (como se describe a continuación).



**Figura 1.** Fotodiodos infrarrojos (IR).

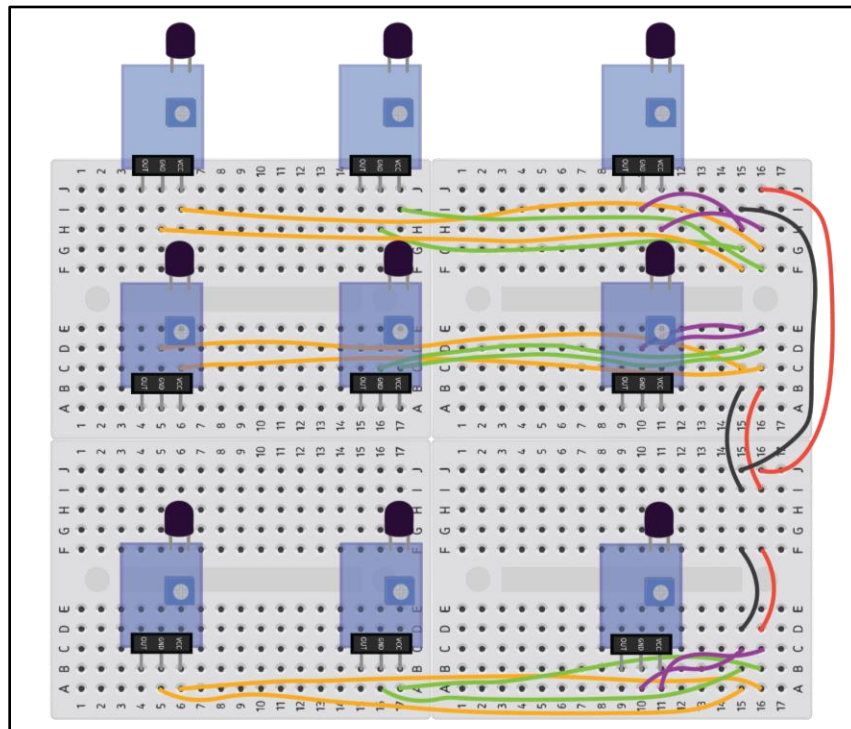


- b. Coloca 4 mini tableros de circuitos siguiendo la orientación del diagrama a continuación (**Fig. 2**).

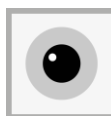


**Figura 2.** 4 mini tableros de circuitos

- c. Coloque los fotodiodos en los tableros de circuitos como se muestra en la figura siguiente (**Fig.3**). Es importante respetar la posición exacta, ya que esto garantiza que los fotodiodos encajen correctamente en la carcasa impresa en 3D. *\*En el caso de la fila central, puede resultar más sencillo colocar primero los cables y luego los fotodiodos.*



**Figura 3:** Colocación de los fotodiodos y cableado local en los tableros de circuitos.

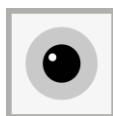
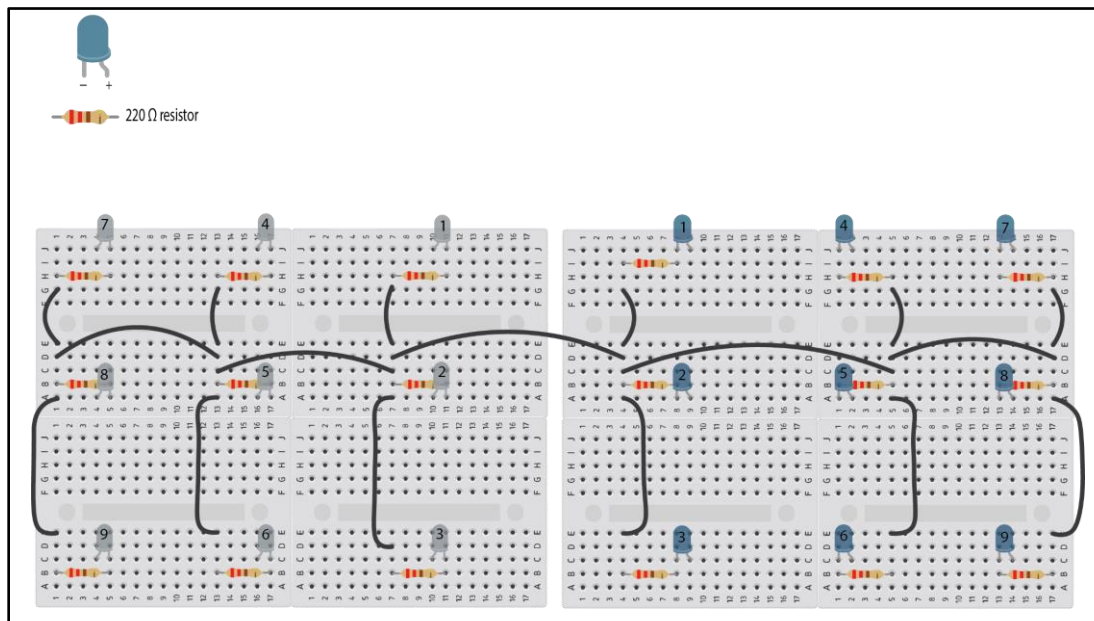


## 2. Cableado de los paneles LED (~45 mins)

**Materiales necesarios:** 9 LEDs blancos, 9 LEDs infrarrojos, cables de conexión, cortador de alambre

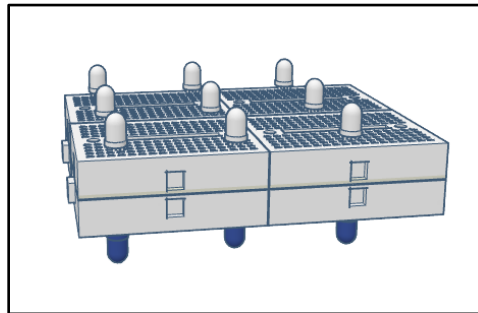
### a. LEDS infrarrojos y blancos

- Coloque dos conjuntos de 4 mini tableros de circuitos, siguiendo la orientación del diagrama (**Fig. 4**). Asegúrese de que la orientación sea exactamente como se muestra, ya que los LEDs infrarrojos y blancos se colocarán uno encima del otro en la carcasa final.
- Con la ayuda del cortador de alambre, corta los extremos del LED de forma que la carcasa de plástico quede ajustada correctamente sobre los tableros de circuitos
- Coloque los LEDs en los mini tableros de circuitos tal como se muestra en la figura. Es importante respetar la posición exacta, ya que esto garantiza que las piezas impresas en 3D que cubren los paneles de LEDs encajen correctamente. *\*Asegúrese de orientar los LEDs con la polaridad correcta (+/-). En la figura 4, los LEDs blancos del tablero de la izquierda tienen el pin positivo a la izquierda, mientras que los LEDs infrarrojos del tablero de la derecha tienen el pin positivo a la derecha.*
- Conecta los LEDs tal como se muestra en la figura. Esta es la primera parte del cableado y debe realizarse con los tableros colocados uno al lado del otro.



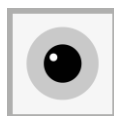
**Figure 4.** Conexiones eléctricas de los LED. En la imagen, las conexiones de los LED blancos se muestran a la izquierda y las de los LED infrarrojos a la derecha. Cabe destacar que se trata de conexiones simétricas, ya que estos dos conjuntos de LED se colocarán uno encima del otro, con los LED blancos orientados hacia arriba y los LED infrarrojos hacia abajo (según la **Fig. 5**).

- v. Retire la etiqueta adhesiva de la base de cada tablero de circuitos. Pegue los dos paneles juntos de manera que el LED blanco 1 y el LED infrarrojo 1 queden alineados verticalmente en la misma posición, pero en lados opuestos del doble panel de tableros.

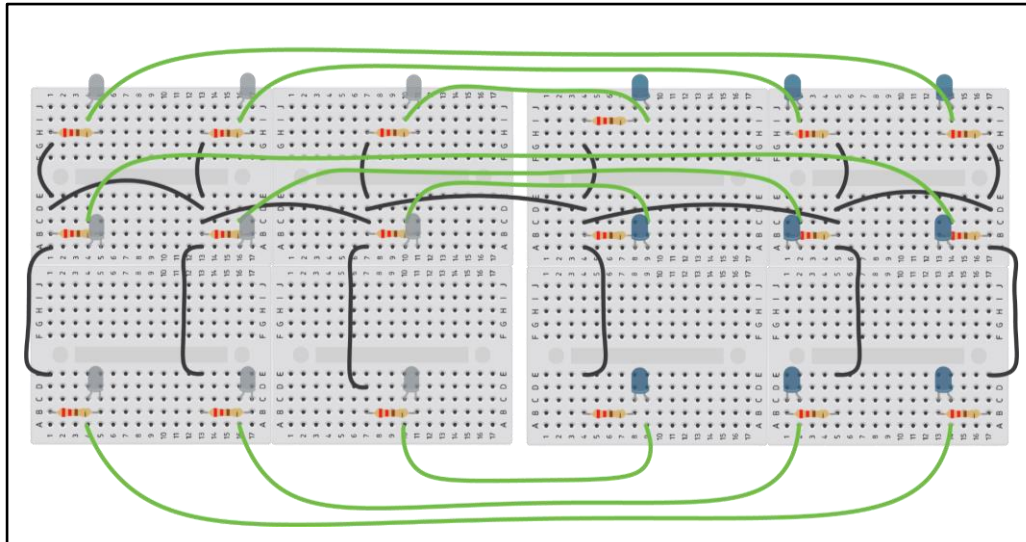


**Figura 5 .** Orientación de los LED blancos y los LED infrarrojos. Tenga en cuenta que, en posición vertical, cada LED blanco tiene un LED infrarrojo correspondiente. \*Por simplicidad, el esquema de cableado no se muestra aquí (para ver el esquema de cableado, consulte la **Fig. 4**).

- vi. Una vez unidos los paneles de LED blancos y los de LED infrarrojos, complete el cableado de los LED, siguiendo el esquema que se muestra en verde **Fig.6**. En la figura, los paneles se muestran uno al lado del otro para facilitar la visualización (por lo que el cableado en verde parece más largo de lo que realmente es). Sin embargo, el cableado debe realizarse con los paneles superpuestos (esto garantizará la estabilidad del mismo). Tenga en cuenta que estos cables (marcados en verde) conectan cada LED blanco al mismo circuito eléctrico que el LED infrarrojo situado justo debajo de él.





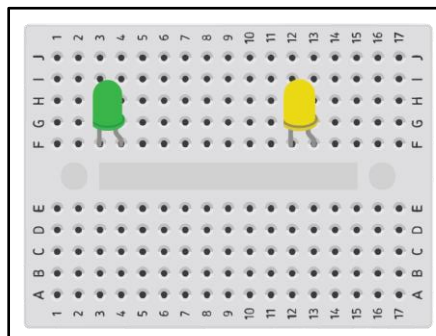


**Figura 6.** Conexión de los cables entre los paneles de LED blancos y los de LED infrarrojos (esta conexión debe realizarse con los dos paneles apilados verticalmente uno encima del otro, como se muestra en la **Fig. 5**).

- b. LEDs de colores (que representan la señal de las dos células ganglionares de la retina)

*Materiales necesarios:* 1 LED amarillo, 1 LED verde, 2 mini tableros de circuitos

- i. Corte los pines de los LED a una longitud de aproximadamente 0,5 cm (esta longitud es mayor que la de los pines de los LED blancos e infrarrojos). Esto es necesario para que los LED queden firmemente sujetos en los orificios correspondientes de la carcasa impresa en 3D.
- ii. Coloque los dos LEDs en un mini tablero de circuitos, tal como se muestra en la **Fig. 7**. Apile este mini tablero sobre otro mini tablero del mismo tamaño. Ambos tableros deben estar orientados hacia arriba; puede fijarlos con cinta adhesiva (el tablero inferior sirve únicamente para elevar el superior, de modo que los LEDs queden correctamente posicionados dentro de la carcasa 3D).





**Figura 7.** Colocación de LEDs de colores en un mini tablero de circuitos. Estos LEDs representarán las señales de salida de las células ganglionares de la retina (RGC) 1 y 2.

#### **b) MONTAJE DE LA CARCASA (~60 mins)**

La carcasa debe imprimirse en 3D antes del montaje (se incluyen los archivos .stl). Ha sido diseñada en 6 partes separadas para facilitar la impresión y el montaje (**Fig. 8 y 9**).

##### ***Descripción de las piezas de la carcasa impresas en 3D:***

P1 - pieza 1: Esta pieza constituye la base de la carcasa. En ella se encuentran la matriz de fotodiodos, los paneles de LED, los pines de salida y la placa de interfaz GPIO.

P2 - pieza 2: Ubicada sobre los fotodiodos, cada fotodiodo debe encajar en uno de los orificios de esta pieza.

P3 - pieza 3: Ubicada debajo del panel de LED infrarrojos. Cada LED infrarrojo debe encajar en uno de los orificios de esta pieza.

P4 - pieza 4: Pieza 4: Se conecta con las piezas 1 a 4 y proporciona soporte estructural, además de cubrir el cableado que atraviesa la parte central de la carcasa.

P5 - pieza 5: Ubicada en la parte superior de la estructura, cubre el panel de LED blanco y los dos LED de color.

P6 - pieza 6: Cierra la abertura en forma de C en el lateral de la carcasa. Esta es la última pieza que se debe colocar. Para la mayoría de las pruebas y la resolución de problemas del sistema RetlNaBox, es necesario retirar la pieza P6.

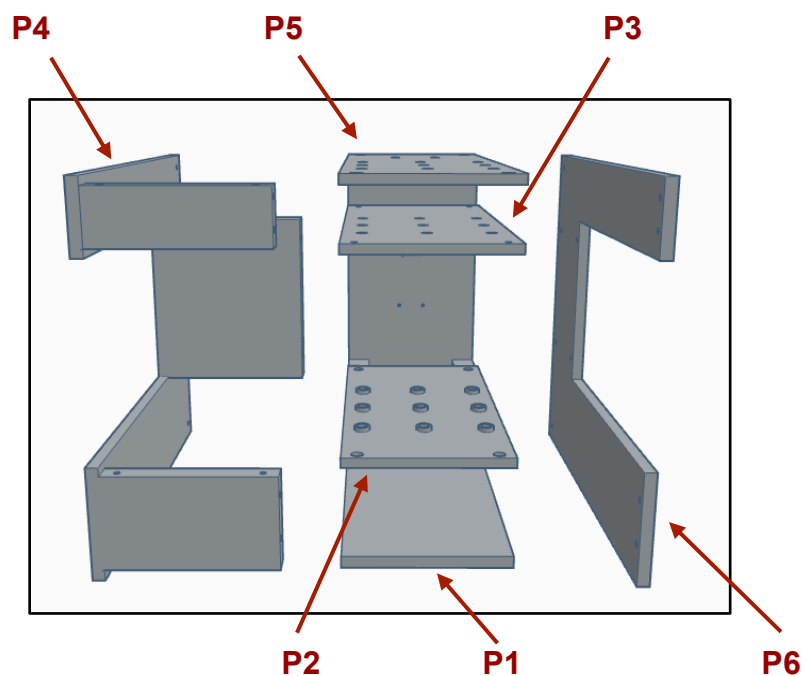
\*Las piezas impresas en 3D se denominarán P1, P2, etc. a lo largo del manual.

\*La pieza P2 es más corta que la P3.

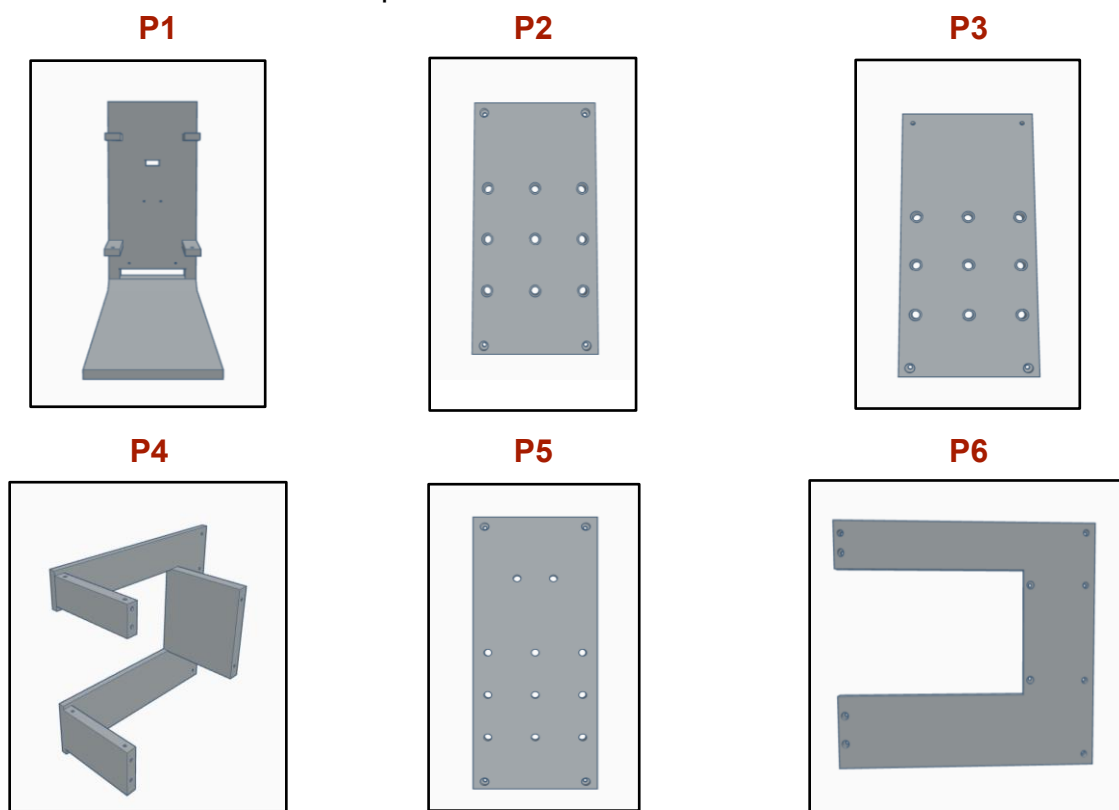
\*Las piezas P2, P3 y P5 se unen a las demás mediante tornillos M3 de 6 mm de longitud.

\*Las piezas P4 y P6 se unen a las demás mediante tornillos M3 de 10 mm de longitud.





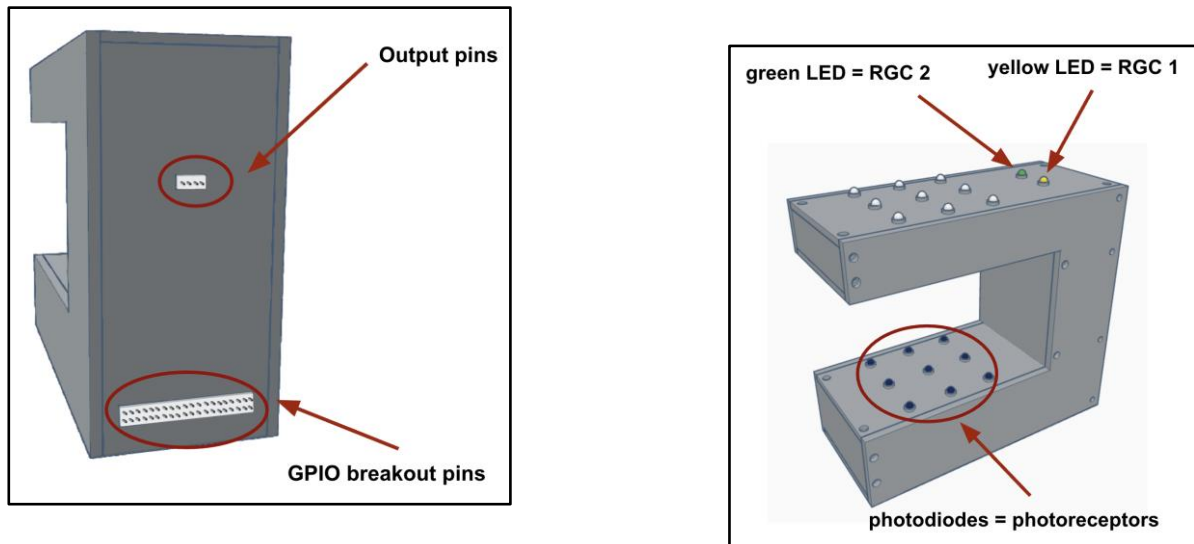
**Figura 8.** Piezas de RetlNaBox impresas en 3D.



**Figura 9.** Piezas individuales de RetlNaBox impresas en 3D.



Aquí (**Fig.10**) mostramos la carcasa completamente ensamblada desde varios ángulos de visión.

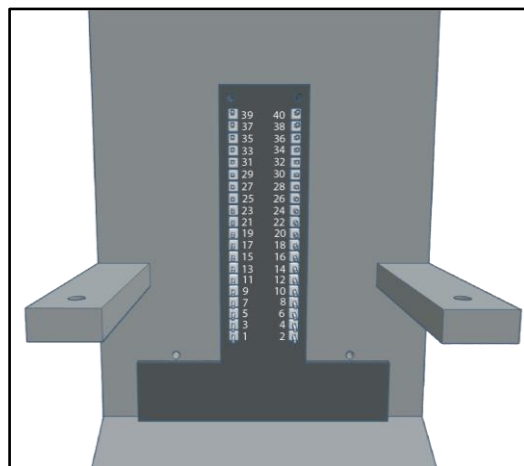


**Figura 10.** RetINaBox completamente montada.

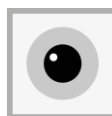
### c) CONEXIONES ELECTRÓNICAS al GPIO de Raspberry Pi

#### **GPIO (general purpose input/output, entrada/salida de propósito general)**

RetINaBox incluye una interfaz GPIO que permite una conexión sencilla entre RetINaBox y Raspberry Pi mediante un único cable. Fije la placa de interfaz GPIO en el orificio correspondiente de P1 y asegúrela con cuatro tornillos M2 de 6 mm (**Fig. 11**). *\*Estos pasos se realizan simultáneamente con el montaje de la carcasa.*



**Figura 11.** Instalación del adaptador GPIO de RetINaBox.



Si bien se muestra con mayor detalle en los siguientes pasos de montaje, aquí presentamos el esquema completo del cableado de la electrónica de RetINaBox (**Fig. 12**). \*Todos los cables que van desde la placa GPIO al panel de LEDs deben pasar por el centro de la caja (**Fig. 13**).

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)			
	1	2	
	3	4	
	5	6	
IN_PHOTODIODE_1	7	8	
GROUND (WHITE LEDS PANEL)	9	10	
OUT_LED_1	11	12	IN_PHOTODIODE_2
OUT_LED_2	13	14	GROUND
OUT_LED_3	15	16	IN_PHOTODIODE_3
3V3 POWER	17	18	IN_PHOTODIODE_4
OUT_LED_4	19	20	GROUND
OUT_LED_5	21	22	IN_PHOTODIODE_5
OUT_LED_6	23	24	RGC1_3.3V_OUT
	25	26	RGC2_3.3V_OUT
	27*	28*	
OUT_LED_7	29	30	GROUND
OUT_LED_8	31	32	IN_PHOTODIODE_6
OUT_LED_9	33	34	GROUND
RGC1_LED	35	36	IN_PHOTODIODE_7
RGC2_LED	37	38	IN_PHOTODIODE_8
PHOTODIODES GROUND	39	40	IN_PHOTODIODE_9

photodiodes

white leds

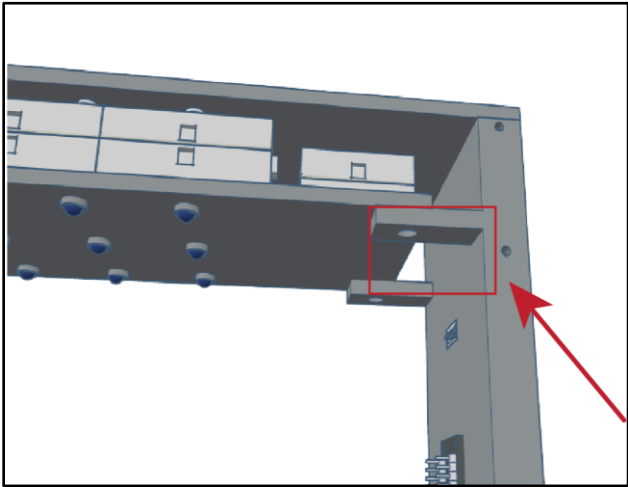
green led

yellow led

out pins

\* DO NOT USE!

**Figura 12.** Conexiones entre la interfaz GPIO y los componentes electrónicos de RetINaBox.

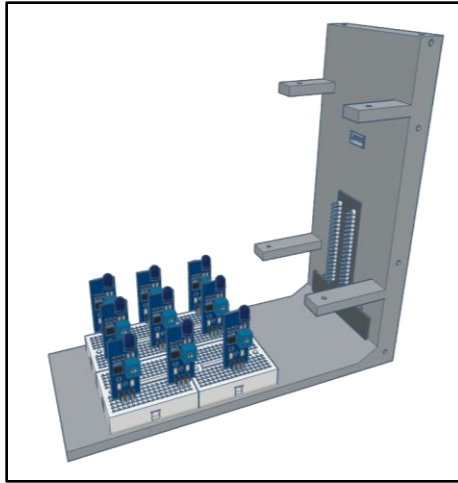


**Figura 13.** El cableado que conecta la placa GPIO con la matriz de LEDs debe pasar por el orificio indicado con el rectángulo rojo.

- Conexión de los fotodiodos al GPIO:  
*Materiales necesarios:* 11 cables Dupont (hembra a macho), 2 tornillos M3 de 6 mm de longitud

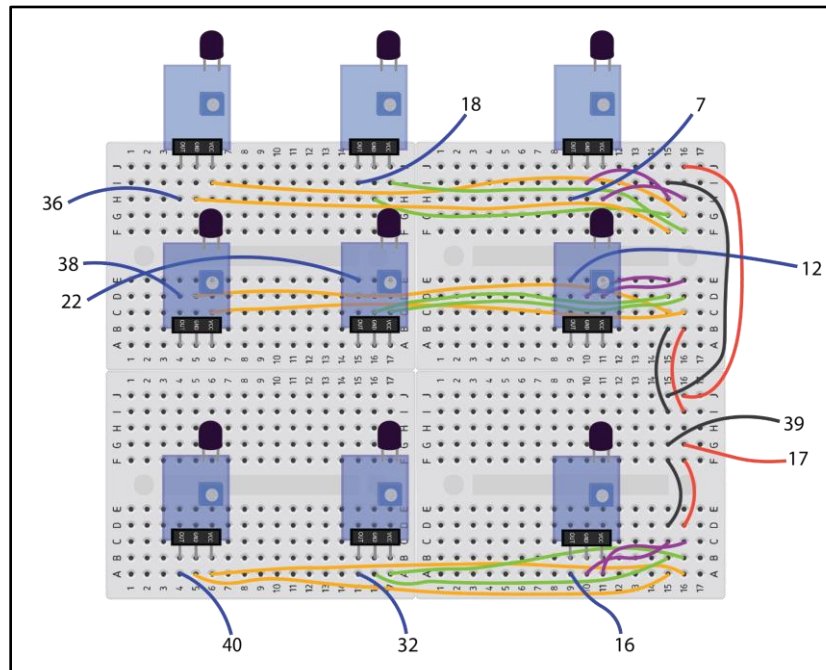


- a. Coloque el panel de fotodiodos en P1 tal como se indica en la **Fig 14**.



**Figura 14.** Colocación de los tablero con los fotodiodos en la pieza P1.

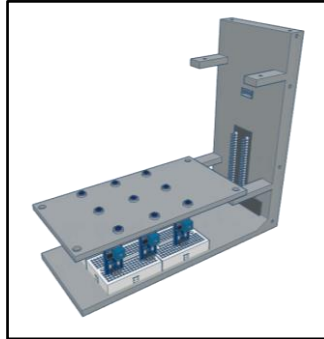
- b. Utilice cables Dupont (hembra-macho) para conectar el pin de salida de señal de cada fotodiodo al GPIO, siguiendo las instrucciones de conexión que se indican a continuación (Fig. 15). Cada número de la **Fig. 15** corresponde a un pin GPIO (**Figs. 11 y 12**).



**Figura 15.** Lógica para conectar los fotodiodos al panel GPIO.

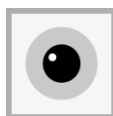


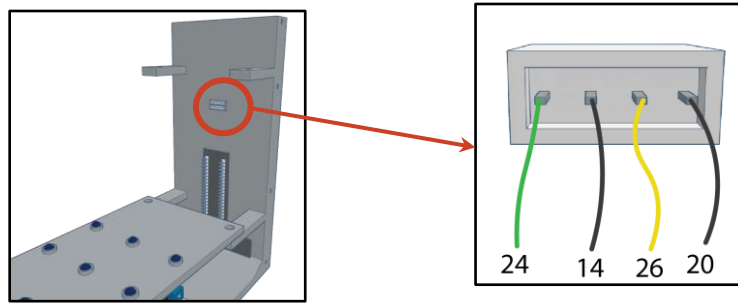
- c. Coloque la pieza P2 sobre los fotodiodos. Introduzca cuidadosamente los 9 fotodiodos en los orificios de la pieza P2. A continuación, fije la pieza con tornillos M3 de 2 x 6 mm (**Fig. 16**). *\*No apriete los tornillos del todo todavía; la pieza P2 debe estar orientada de manera que las protuberancias (guías para los LED) queden hacia arriba.*



**Figura 16.** Progreso del montaje: se han instalado los componentes P1 y P2, los fotodiodos y la placa de interfaz GPIO.

2. Conexión de los pines de salida de 3,3 V (las salidas digitales de las dos células retinianas) al GPIO:
- Materiales necesarios:** 4 cables Dupont hembra-hembra, 4 cables del kit del Connector Pre-Crimped Cable Kit
- Arma un conector de 4 pines (con 4 pines a cada lado) y su correspondiente tapa, ambos del Connector Pre-Crimped Cable Kit. Esto permite conectar los cables por ambos lados. En un lado, los pines estarán visibles; en el otro, quedarán cubiertos por el zócalo.
  - Colóquelo en el orificio central de P1, tal como se muestra en **Fig. 17**. La parte con los pines del conector debe quedar orientada hacia el interior de la carcasa. *\*El conector debe quedar en la parte interior de la carcasa y los pines en la exterior. El conector debe encajar firmemente en el orificio de la carcasa.*
  - Conecte los cables del kit a los 4 pines del conector situado en el interior de la carcasa de RetINaBox (**Fig. 17**).
  - Conecte estos cables en serie utilizando conectores Dupont hembra-hembra (asegure la conexión con cinta aislante) y conecte a los pines GPIO correspondientes (según se muestra en **Fig. 17**).



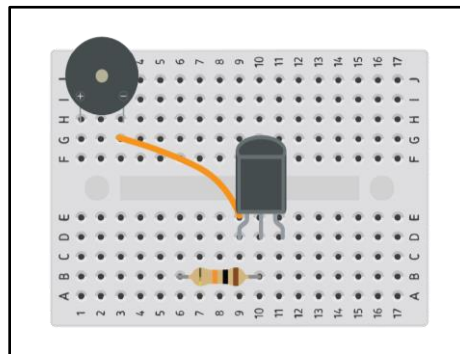


**Figura 17.** Conexión de los pines de salida de 3,3 V RGC a los GPIO. Tenga en cuenta que la tapa no aparece en el esquema de conexión.

### 3. Conexión del buzzer (parlante zumbador):

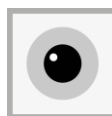
*Materiales necesarios:* 1 mini tablero de circuitos, 1 resistencia de 10k ohms, 1 transistor PN2222, 1 buzzer activo Elegoo, 1 cable de conexión, 3 cables del Connector Pre-Crimped Cable Kit s, 3 cables Dupont macho-hembra

- a. En mini tablero, coloque el buzzer, el transistor, la resistencia de 10K ohms y el cable de conexión, tal como se muestra en la **Fig.18**.



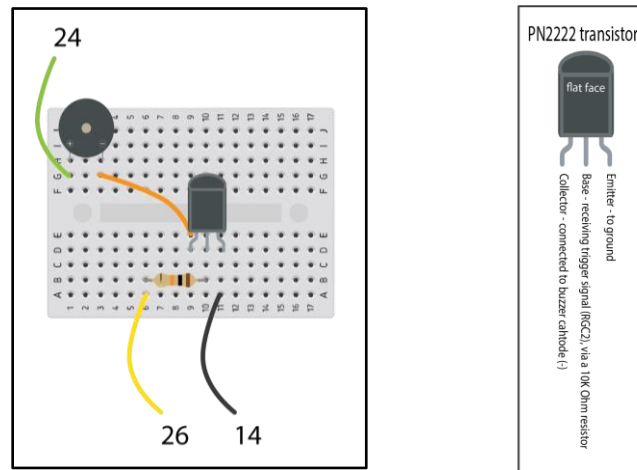
**Figura 18.** Ubicación del buzzer, del transistor, del cable de conexión entre el transistor, el buzzer y de la resistencia.

- b. Conecte los componentes según se muestra en **Fig. 19**. Primero, conecte los tres cables del Connector Pre-Crimped Cable Kit a los pines de salida correspondientes. A continuación, conecte estos cables en serie mediante conectores Dupont hembra-macho (utilice cinta aislante para asegurar las conexiones). Tenga en cuenta que el buzzer está conectado a la placa GPIO mediante los pines de salida ubicados en la parte posterior de la caja (consulte **Figs. 10, 12 and 17**). Con este circuito, el zumbador solo sonará





cuando los pines 24 y 26, que corresponden a RGC1 y RGC2, envíen 3,3 V simultáneamente, lo cual ocurre cuando RGC1 y RGC2 están activados al mismo tiempo.

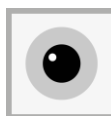
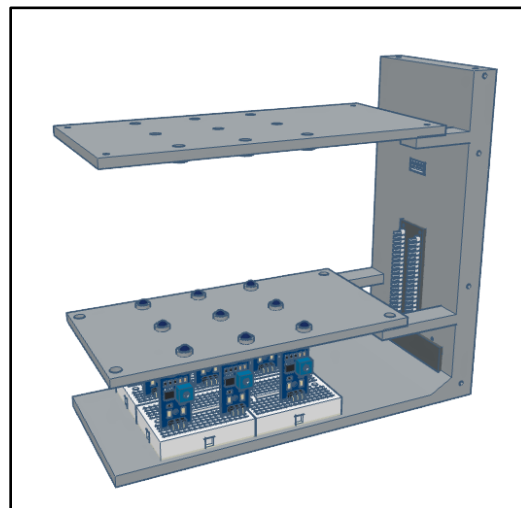


**Figure 19.** Diagrama de conexión del circuito del buzzer (relacionado con la lección 2).

#### 4. Conexión de los paneles LED al GPIO:

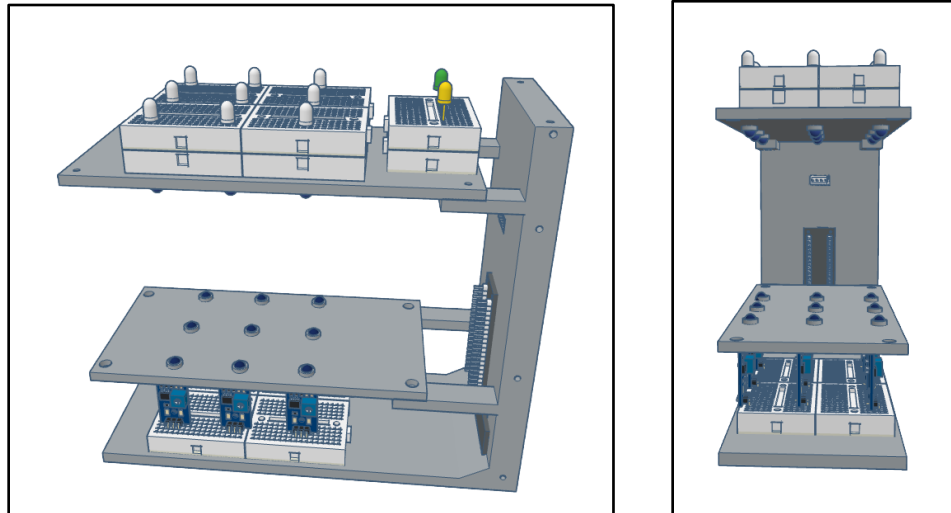
**Materiales necesarios:** cable eléctrico, cortador de cables, 10 conectores Dupont hembra-hembra, 2 tornillos M3 de 6 mm de longitud

- Una la pieza P3 con 2 tornillos M3 de 6 mm de longitud (**Fig. 20**). *\*La pieza P3 debe colocarse de forma que las protuberancias (guías) para los LED (es decir, las pequeñas elevaciones alrededor de cada orificio para el LED) queden orientadas hacia abajo.*



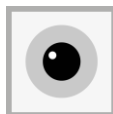
**Figure 20.** Unión de la pieza P3.

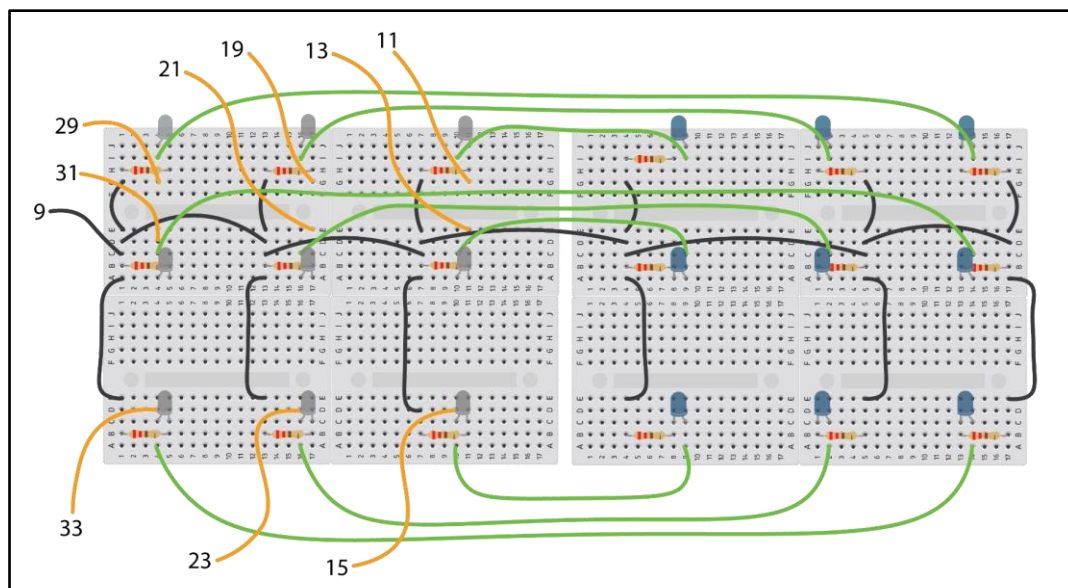
- b. Coloque los paneles con los LEDs encima de P3 (**Fig. 21**; el cableado no se muestra aquí para facilitar la visualización). \*Antes de completar el paso b), siga los pasos c) y d).



**Figure 21.** Fijación de los LED encima de la pieza P3.

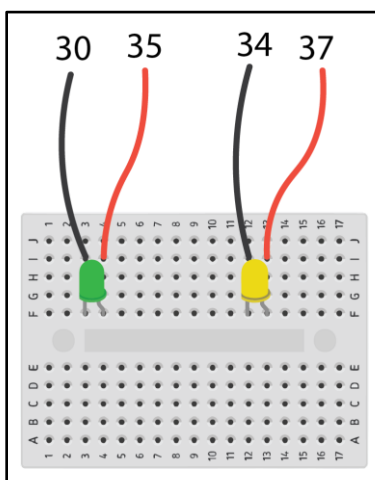
- c. Conecte cada uno de los 9 pares de LED (blanco + infrarrojo) a los pines GPIO (mediante 9 cables naranjas (+) y negros (-, GND) en **Fig. 22**. Para los cables naranjas (el color naranja es solo para identificación visual; en realidad, usamos cable eléctrico rojo), corte el cable a la longitud adecuada (~5 cm) y conecte su extremo a un conector hembra-hembra Dupont, que a su vez se conectará a la placa GPIO (según se muestra en **Fig. 22**). \*Se utiliza cable eléctrico (en lugar de cables Dupont) debido al espacio limitado entre los LED y las piezas impresas en 3D donde se instalarán estos paneles de LEDs.





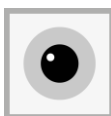
**Figura 22.** Conexión de LEDs blancos e infrarrojos a los pines GPIO.

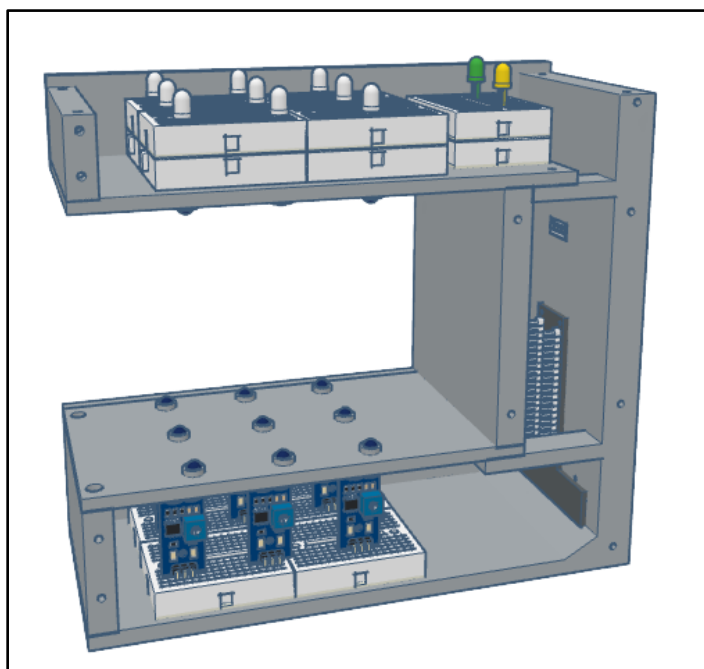
- d. Conecte los dos LED de colores (verde y amarillo), que representan las salidas de las células ganglionares 1 y 2, al GPIO, siguiendo la siguiente lógica (**Fig. 23**).



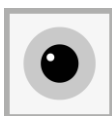
**Figura 23.** Conexión de los LEDs verdes y amarillos al GPIO.

- e. Fije la pieza P4 uniéndola a las piezas P2 y P3 (**Fig. 24**). Esto estabilizará la carcasa y facilitará las pruebas. La instalación de las piezas P5 y P6, que cerrarán la carcasa de RetlNaBox, deberá realizarse posteriormente, una vez que RetlNaBox esté conectado a Raspberry Pi y se hayan comprobado las funciones electrónicas y se haya optimizado la sensibilidad de los fotodiodos (como se describe a continuación).





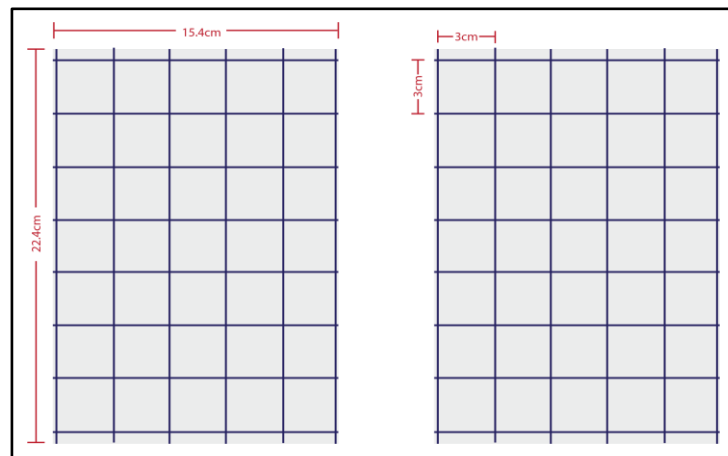
**Figura 24.** Unión de la pieza P4.



### 3. ARMADO DE LA HERRAMIENTA DE ESTÍMULO

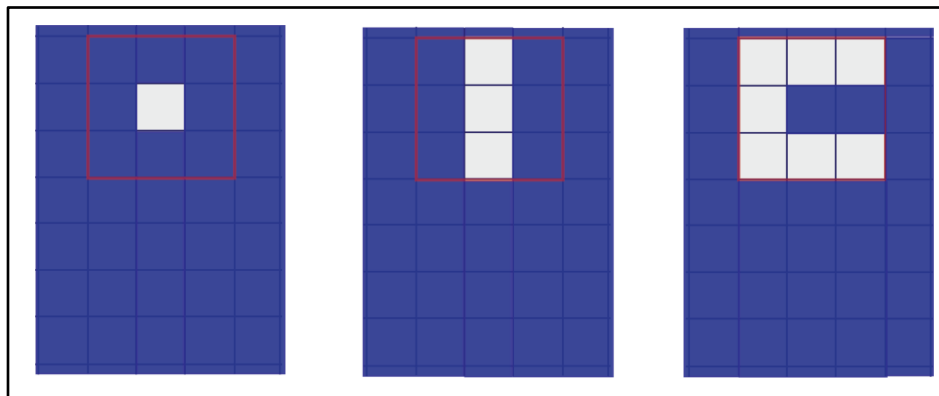
*Materiales necesarios:* lámina de plástico transparente, marcador permanente de punta fina, plastilina, regla (ver lista de materiales en el anexo)

Para presentar diferentes patrones de estímulos visuales a RetlNaBox, recomendamos a los usuarios crear una herramienta de estímulos visuales. Para ello, cojan una lámina de plástico transparente y, con un rotulador permanente de punta fina y una regla, dibujen una cuadrícula que cubra toda la lámina (**Fig. 25**). Cada cuadrado de la cuadrícula debe tener 3 cm de ancho por 3 cm de largo, lo que corresponde aproximadamente al área del campo receptivo de un fotodiodo de RetlNaBox.

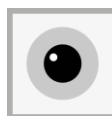


**Figura 25.** Herramienta de Estimulación Visual con cuadrículas para alinear los estímulos con la matriz de fotorreceptores del modelo.

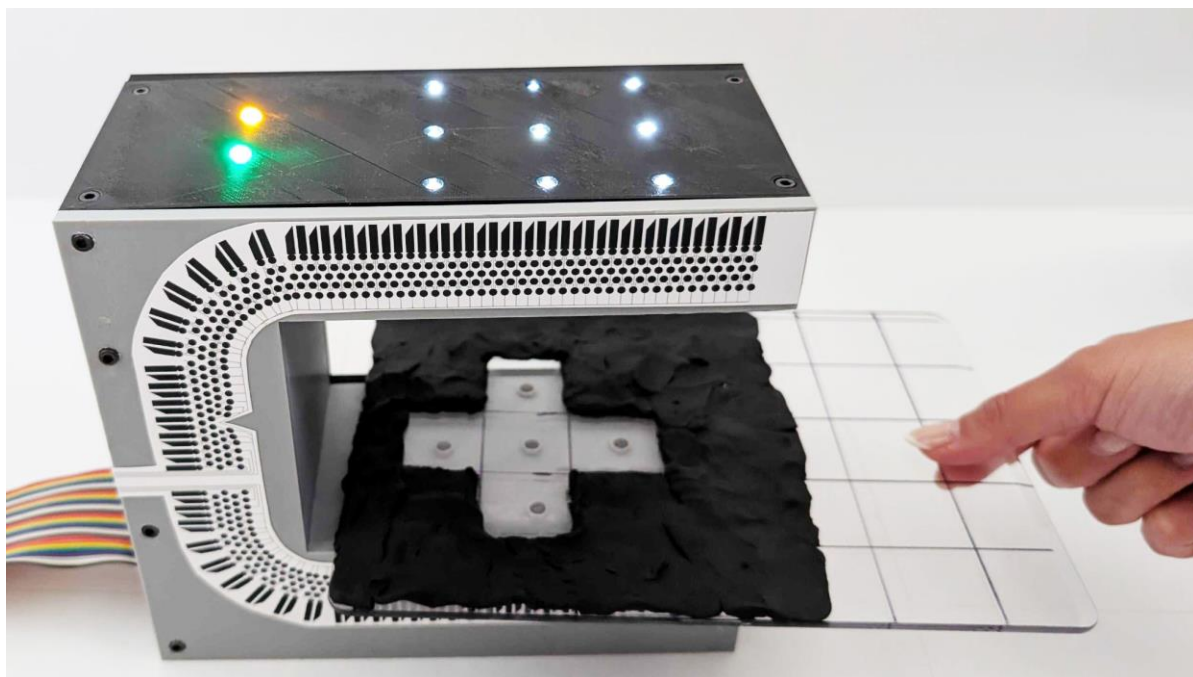
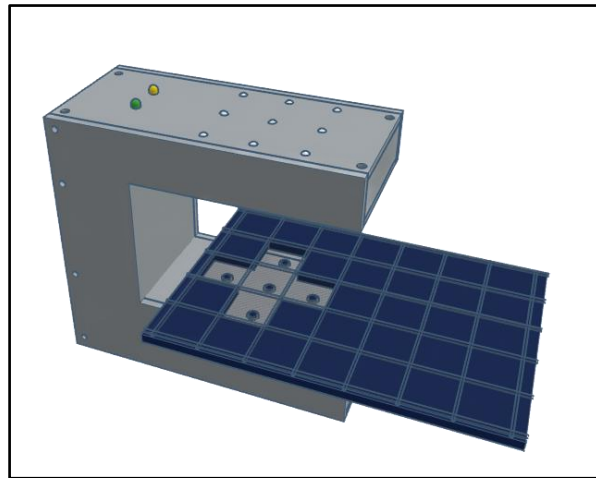
A continuación, coloca la plastilina sobre la lámina de plástico. Deja ciertas zonas sin plastilina para crear el estímulo visual (es decir, el paso de la luz a través de esas zonas será el estímulo). Puedes utilizar la plastilina para crear estímulos visuales de diferentes formas y presentarlos a RetlNaBox (**Fig. 26**).



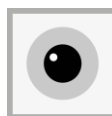
**Figura 26.** Ejemplos de estímulos visuales.



La herramienta de estimulación visual funciona controlando qué fotoreceptores (es decir, fotodiodos) se activan, permitiendo que la luz procedente de los LED de estimulación llegue a los fotodiodos (**Fig. 27**).

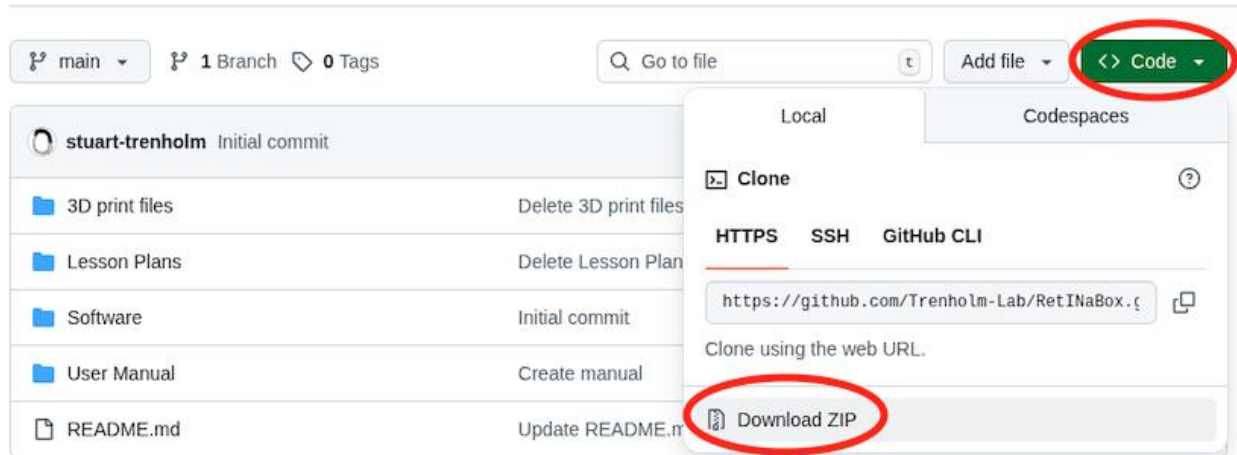


**Figura 27.** Herramienta de estímulo visual en acción



## 4. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE

- a. En su Raspberry Pi, utilice el navegador web para acceder a la página de GitHub del proyecto RetlNaBox del Trenholm Lab: <https://github.com/Trenholm-Lab/RetlNaBox>
- b. Descargue el archivo ZIP del repositorio haciendo clic en el botón verde 'Code' y, a continuación, en el botón 'Download ZIP' (**Fig. 28**). Una vez descargado, el archivo ZIP aparecerá en la carpeta de descargas con el nombre RetlNaBox-main.zip.

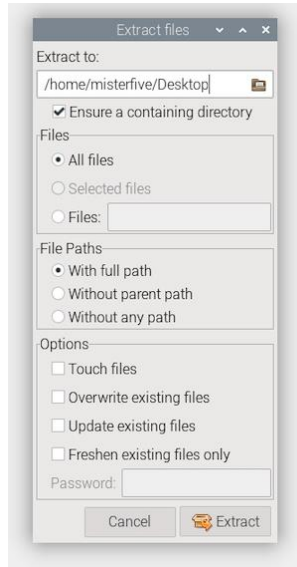


**Figura 28.** Descargando el software RetlNaBox desde GitHub.

- c. Para descomprimir los archivos de código en su dispositivo, haga clic con el botón derecho del ratón sobre el archivo RetlNaBox-main.zip y seleccione 'Extract To...' (Extraer a). Seleccione el escritorio como carpeta de destino y deje las demás opciones como están, tal como se muestra en **Fig. 29**. Tras este paso, el escritorio contendrá una carpeta llamada RetlNaBox-main. No modifique ni mueva esta carpeta. Ahora puede cerrar el explorador de archivos.



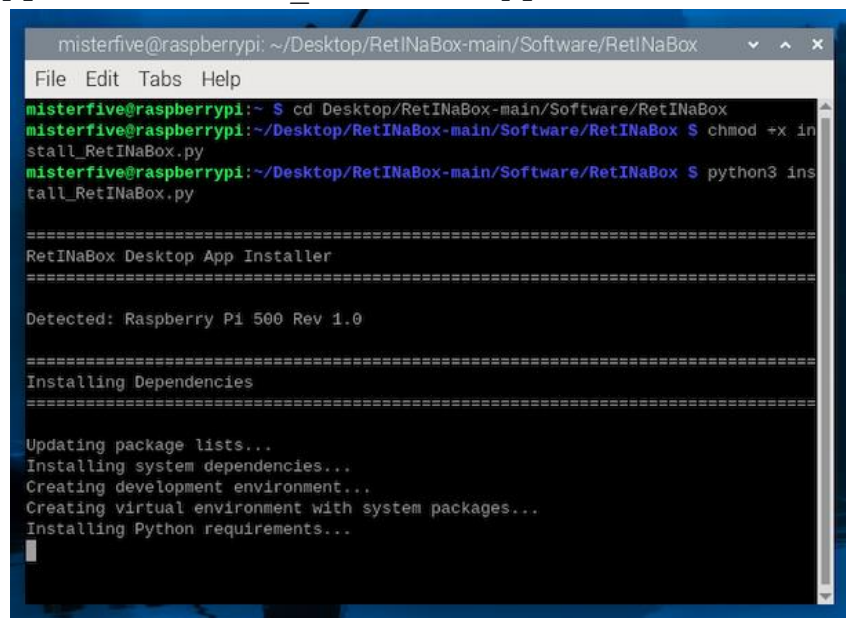




**Figura 29.** Menú de extracción de archivos (Extract Files) de Raspberry Pi

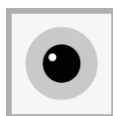
d. Abre el terminal y escribe los siguientes comandos, presionando la tecla Enter después de cada uno, tal como se muestra en **Fig. 30**.

```
cd Desktop/RetINaBox-main/Software/RetINaBox
chmod +x install_RetINaBox.py
python3 install_RetINaBox.py
```

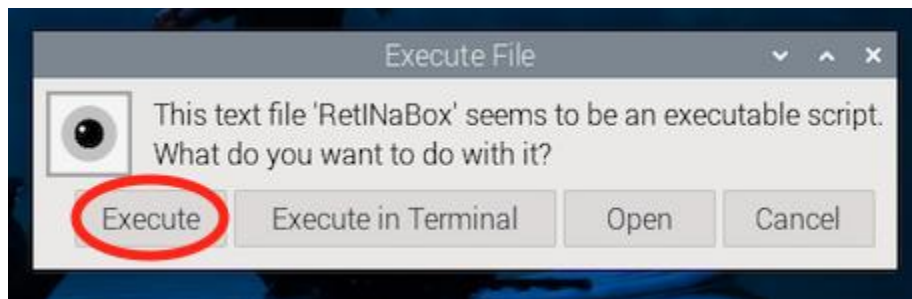


**Figura 30.** Terminal durante la instalación del código de RetINaBox.

- e. Tras la instalación exitosa de RetINaBox, verá una nueva aplicación en su escritorio. Para acceder a la interfaz gráfica (GUI), haga doble clic en la aplicación RetINaBox y luego haga clic en Execute (ejecutar) (**Fig. 31**). ¡Bienvenido al laboratorio de RetINaBox!



- i. Si la instalación no resulta exitosa, consulte la sección A2 del manual de usuario: Apéndice 2: Resolución de problemas.

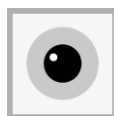


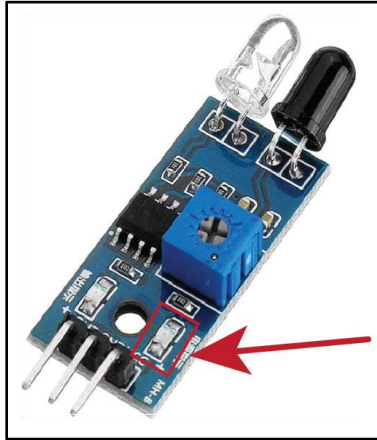
**Figura 31.** RetlNaBox: Mensaje de ejecución de archivo.

**\*\*Antes de conectar el hardware (que se muestra a continuación) a la Raspberry Pi, asegúrese de apagar la Raspberry Pi antes de conectar el cable GPIO de RetlNaBox.\*\***

## 5. CONEXIÓN DE RetlNaBox AL Raspberry Pi

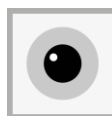
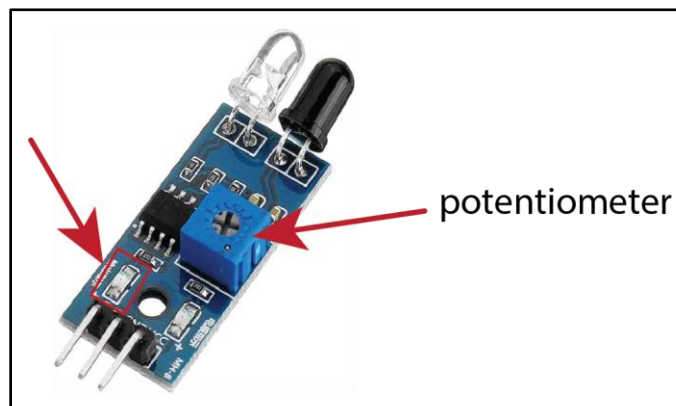
- a. *Conecte RetlNaBox a Raspberry Pi utilizando el cable arcoíris de conexión GPIO. **IMPORTANTE: los conectores grises en ambos extremos del cable tienen una pequeña muesca de plástico en un lateral; es fundamental conectarlos correctamente a RetlNaBox y Raspberry Pi, ya que de lo contrario la conexión será incorrecta y podría dañarse Raspberry Pi o alguno de sus componentes electrónicos. Los conectores de RetlNaBox y Raspberry Pi también tienen muescas que indican la orientación correcta para la conexión del cable.***
- b. Conecte la computadora Raspberry Pi a la fuente de corriente (es decir, enchufe la Raspberry Pi).
- c. Si los fotodiodos están conectados correctamente, el LED rojo situado a la derecha en cada placa de circuito debería encenderse (**Fig. 32**), lo que indica que están recibiendo corriente.





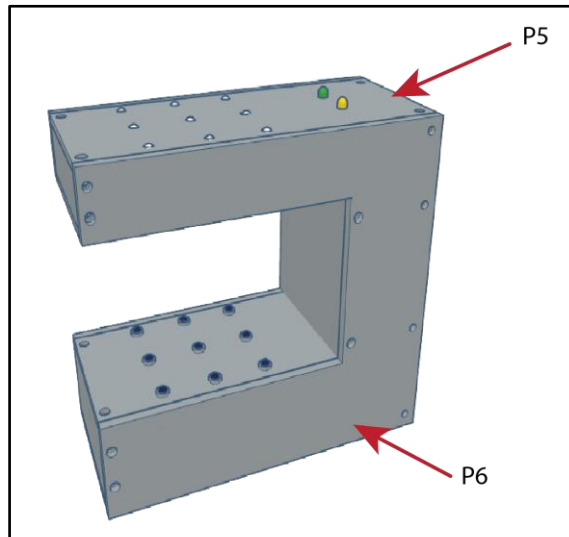
**Figura 32.** Powering ON the Raspberry Pi should result in power going to all 9 photodiodes, which should turn on the right-most red LED on each photodiode circuit board.

- d. El siguiente paso consiste en ajustar la sensibilidad de los fotodiodos de luz infrarroja para que solo se activen cuando los LEDs infrarrojos estén encendidos. Para ello, abra el software RetlNaBox (ver sección 5 a continuación) y encienda los 9 LEDs. Si la conexión de los LEDs es correcta, los 9 LEDs blancos en la parte superior de RetlNaBox se encenderán (visibles a simple vista), y los 9 LEDs de infrarrojos también se encenderán, aunque no serán visibles a simple vista. Para cada fotodiodo, ajuste el potenciómetro (girándolo hacia adelante y hacia atrás) hasta que el LED rojo más a la izquierda solo se encienda cuando el LED de infrarrojos situado justo encima esté encendido (**Fig. 33**).

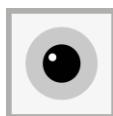


**Figura 33.** Ajuste la sensibilidad del fotodiodo infrarrojo girando el potenciómetro hasta que el LED rojo de la izquierda de la placa de circuito se encienda únicamente cuando los LEDs infrarrojos estén activados en el software RetlNaBox.

e. Monte las piezas P5 y P6 (Fig. 34). ¡Ya ha terminado de ensamblar RetlNaBox!

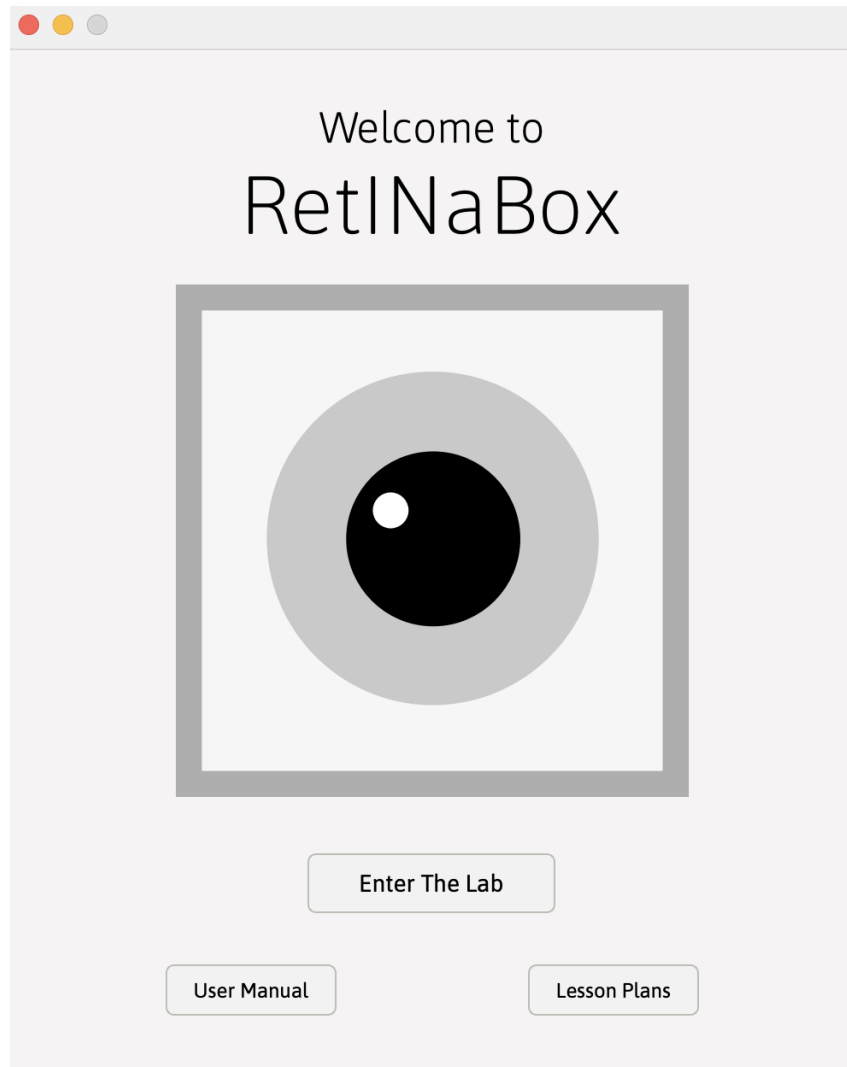


**Figura 34.** RetlNaBox Completa.



## 6. USO DEL SOFTWARE

- a. Haga doble clic en el logotipo de "RetINaBox" en el escritorio, o bien, en Visual Studio Code, ejecute el archivo "main.py".
- b. Se abrirá la pantalla de bienvenida (**Fig. 35**). Seleccione "Enter the Lab" para comenzar a utilizar RetINaBox. También podrá acceder al manual de usuario y a las guías didácticas.



**Figura 35.** Pantalla de bienvenida de RetINaBox.

- c. Ahora verá la interfaz gráfica principal de RetINaBox. (GUI; **Fig. 36**).



El software contiene 4 elementos de menú:

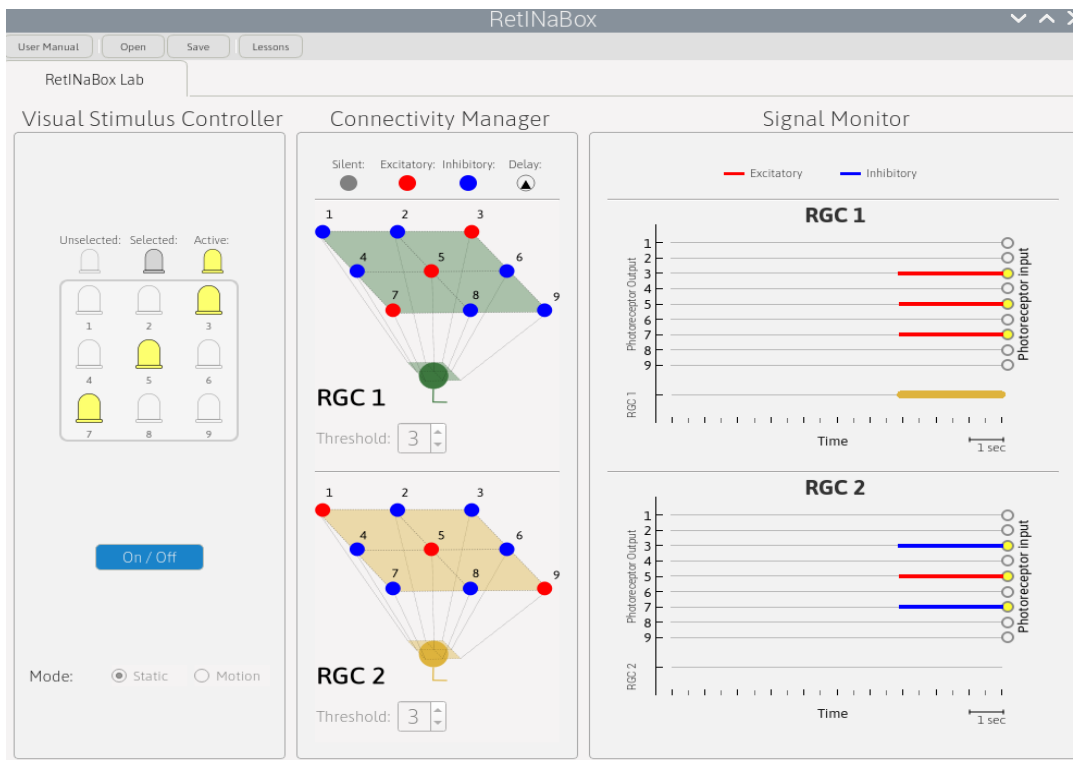
- i. User Manual (Manual de usuario): Abre el manual de usuario en formato PDF.
- ii. Lessons (Lecciones): Aquí puedes acceder a los planes de lección. Además, para cada una de las 4 lecciones encontrarás la configuración predeterminada de RetINaBox y los desafíos específicos de cada lección.
- iii. Save (Guardar): Haz clic aquí para guardar la configuración actual de RetINaBox.
- iv. Open (Abrir): Haga clic aquí para abrir la configuración de RetINaBox guardada previamente.

La interfaz gráfica de usuario de RetINaBox está dividida en 3 secciones (explicaremos cada una de ellas con más detalle a continuación):

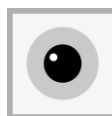
Visual Stimulus Controller (Controlador de estímulos visuales): Esta sección permite controlar los LED de estímulos de RetINaBox.

Connectivity Manager (Gestor de conectividad): Aquí se establecen las conexiones entre los fotorreceptores y las células ganglionares del modelo.

Signal Monitor (Monitor de señal): Muestra cuándo están activas las células fotorreceptoras, qué señal transmiten a las células ganglionares y cuándo estas últimas se activan.

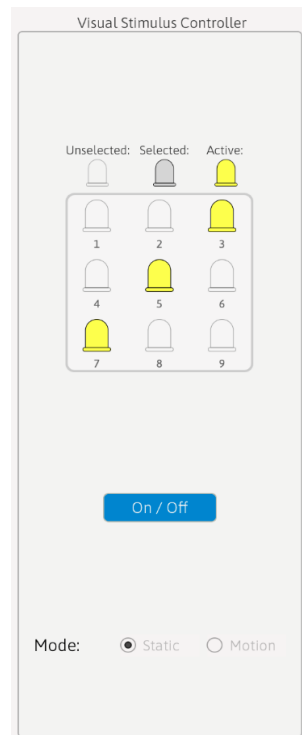


**Figura 36.** La interfaz gráfica principal de RetINaBox.

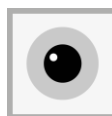


d. Visual Stimulus Controller (**Fig. 37**).

- i. En la parte superior, verá la matriz de LEDs de 3x3. Antes de encender los LEDs, deberá seleccionarlos (haciendo clic en ellos). Estos aparecerán en gris en la pantalla.
- ii. A continuación, puede elegir si desea presentar un estímulo estático o en movimiento (hacia la izquierda o hacia la derecha). Para empezar, seleccione el modo Static (Estático).
- iii. Ahora, pulse el botón de ON/OFF (Encendido/Apagado). En la pantalla, verá que los LEDs seleccionados están activos (de color amarillo). Si está conectado a RetINaBox, también verá los LEDs seleccionados encendidos. La numeración de los LEDs en el software corresponde a la vista frontal de RetINaBox.
- iv. Para la lección sobre selectividad direccional (lección 3), puede configurar el movimiento de los estímulos visuales hacia la izquierda o hacia la derecha. Para ello, seleccione un patrón de LEDs (debe encenderlos primero), elija el modo Motion (Movimiento), la dirección (flecha izquierda o derecha) y la velocidad (lenta, media o rápida).
- v. Finalmente, para todas las lecciones, en algún momento necesitará probar estímulos reales, utilizando la herramienta de presentación de estímulos o sus manos. Para ello, active los 9 LEDs, seleccione el modo Static y enciéndalos.



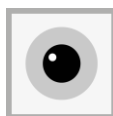
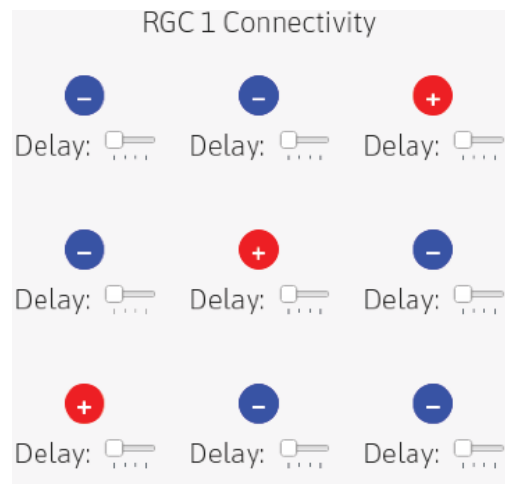
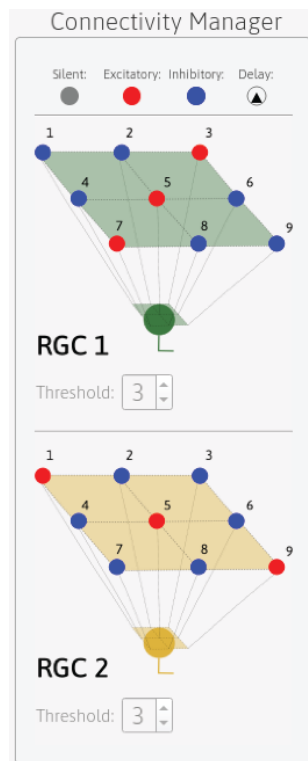
**Figura 37.** Visual Stimulus Controller.





e. Connectivity Manager (**Fig. 38**).

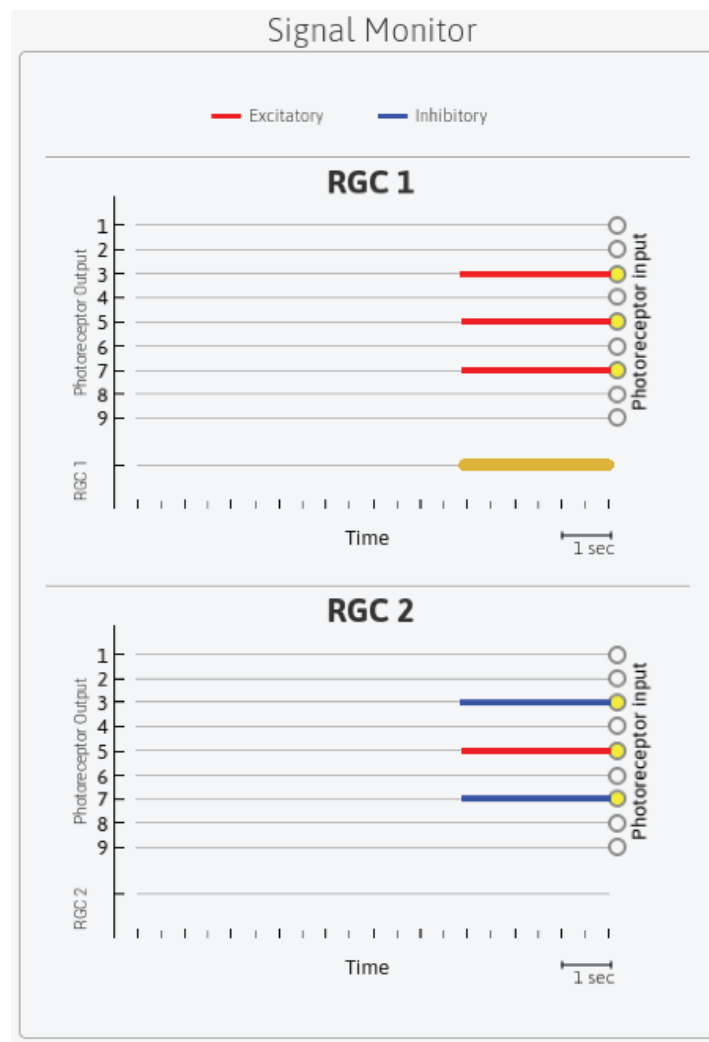
- i. El Connectivity Manager permite configurar la conexión entre cada uno de los 9 fotoreceptores del modelo (es decir, los fotodiodos) y las 2 células ganglionares retinianas (RGCs).
- ii. Para cada una de las 2 RGCs, cada fotoreceptor puede configurarse de la siguiente manera:
  1. Silent (Silencioso): no envía señal a la célula ganglionar.
  2. Excitatory (Excitatorio): al activarse, envía una señal de +1 a la célula ganglionar.
  3. Inhibitory (Inhibitorio): al activarse, envía una señal de -1 a la célula ganglionar.
  4. Delay (Retardo): se puede añadir un retardo de tiempo entre la activación del fotoreceptor y el envío de la señal a la célula ganglionar. Las opciones de retardo son: ninguno, corto, medio y largo. Estos retardos son útiles para generar respuestas selectivas a la dirección y ayudan a modelar la conectividad asimétrica del circuito.
- iii. Para modificar la conectividad a una de las células ganglionares, haga clic en su circuito (**Fig. 38**, izquierda). Se abrirá una ventana (**Fig. 38**, derecha) donde podrá modificar la configuración de cada fotoreceptor.
- iv. Por último, establezca el umbral de la RGC. En cada momento, la RGC suma todas las entradas de los fotoreceptores, y debe alcanzar este umbral para activarse.



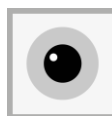
**Figura 38.** Connectivity Manager la interfaz gráfica principal (izquierda) y su ventana emergente (derecha).

f. Signal Monitor (**Fig. 39**).

- i. El Signal Monitor muestra en tiempo real la siguiente información:
  1. Qué fotoreceptores del modelo están activos. Esto se visualiza cuando los círculos del lado derecho se vuelven amarillos.
  2. La polaridad de la señal que envía cada fotoreceptor activado a cada célula ganglionar de la retina: excitatoria (roja) o inhibitoria (azul).
  3. Cuándo se activa cada célula ganglionar (RGC1, superior; RGC2, inferior). Esto ocurre cuando la suma de todas las entradas de los fotoreceptores alcanza o supera el umbral establecido en el Connectivity Manager.



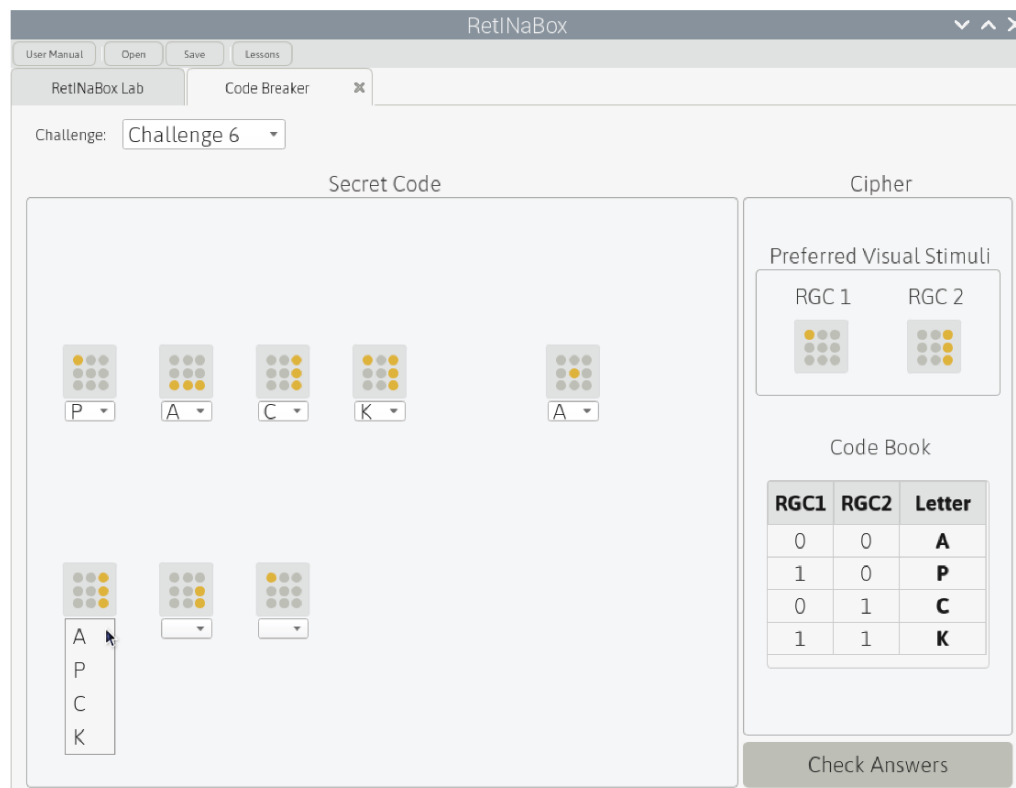
**Figura 39.** Signal Monitor.



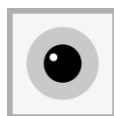
g. Funcionalidades adicionales del software

i. Actividad de descifrado de códigos:

1. En la lección 2, los usuarios deben utilizar los campos receptivos centro-periferia para descifrar códigos. Accediendo a la pestaña "Lessons" en la barra de menú y seleccionando la actividad "Code Breaker", se abrirá una nueva pestaña (**Fig. 40**).
2. Utilizando la información del código, los usuarios deben volver a la interfaz principal de RetINaBox y configurar el Connectivity Manager para que las células ganglionares RGC1 y RGC2 respondan a los estímulos visuales descritos en el código.
3. A continuación, deben usar la Herramienta de Estímulos Visuales para presentar los estímulos correspondientes a cada letra del código y, consultando el descodificador, introducir la letra correcta en el campo de texto correspondiente a cada estímulo.
4. Una vez descifrado el código, los usuarios pueden comprobar la respuesta.

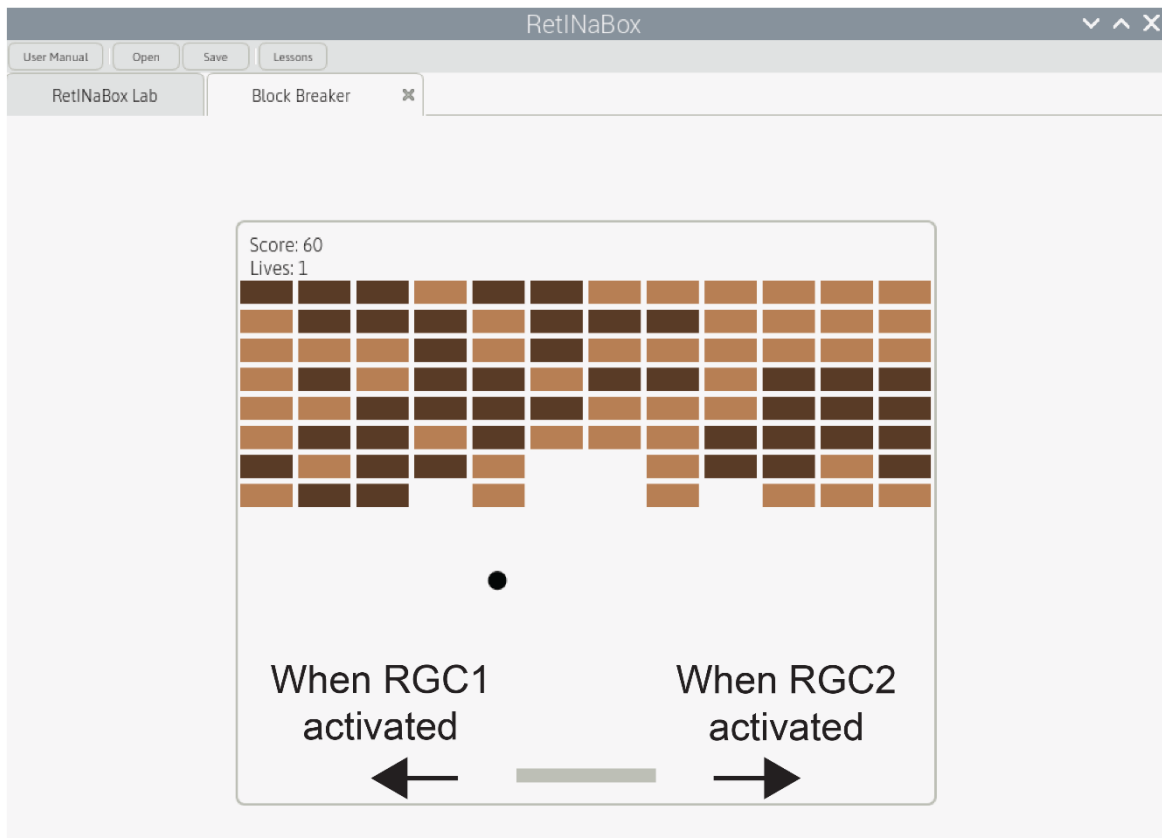


**Figura 40.** Actividad de descifrado de códigos relacionada con la Lección 2.



ii. Videojuego Block breaker:

1. En la Lección 3, después de generar las células ganglionares selectivas para el movimiento hacia la izquierda y hacia la derecha, se le indica al usuario que abra el juego de romper bloques (accesible a través de la pestaña "Lessons" en la barra de menú). Esto abrirá el juego (**Fig. 41**). Al abrir el juego, se encienden automáticamente todos los LEDs de estímulo de RetINaBox.
2. El juego está programado para que la señal de salida de RGC1 de RetINaBox controle el movimiento de barra gris hacia la izquierda, y la señal de salida de RGC2 la controle hacia la derecha.
3. A continuación, el usuario mueve la mano de izquierda a derecha frente al campo de visión de RetINaBox para controlar la barra y jugar.



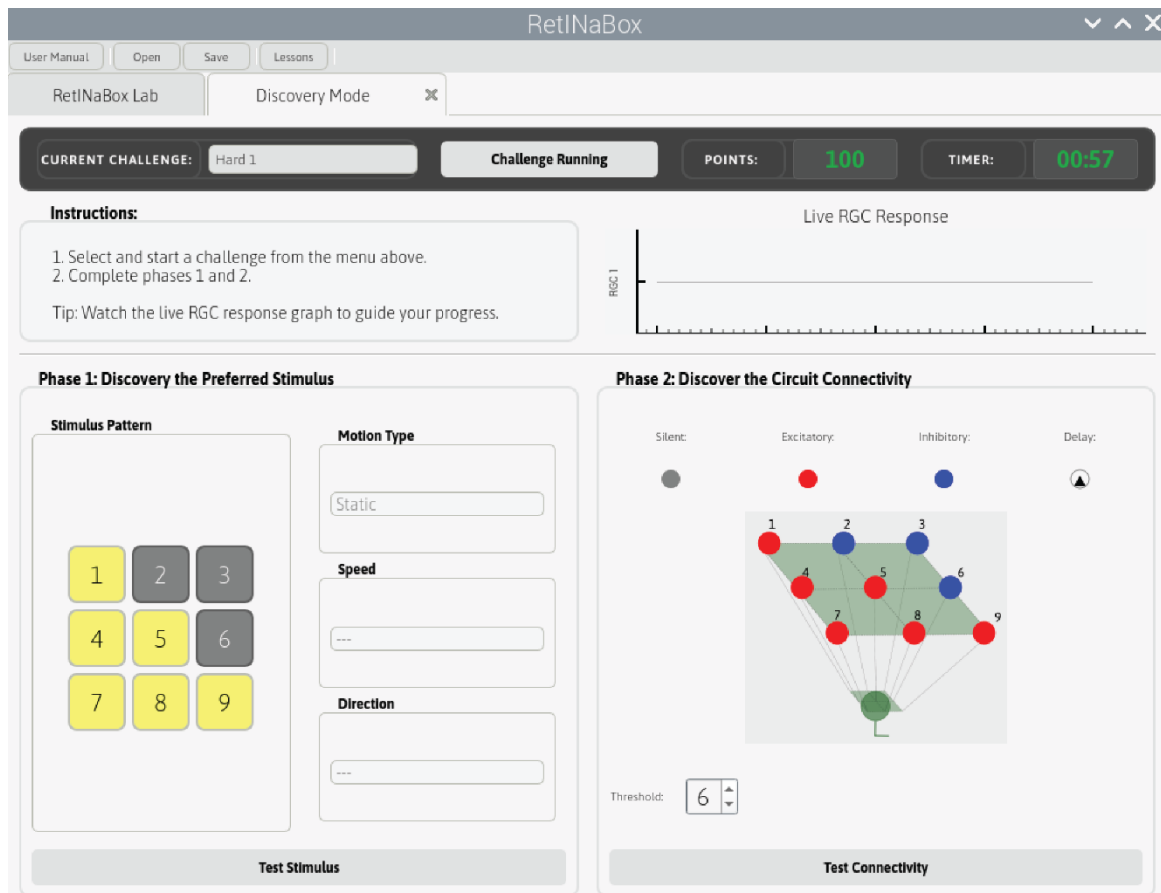
**Figura 41.** Videojuego Block breaker relacionado a la Lección 3.



iii. Modo Descubrimiento (Discovery Mode):

1. La Lección 4, Modo Descubrimiento, se accede a través de la pestaña "Lessons" en la barra de menú. Se abre la pestaña "Discovery Mode" (**Fig. 42**). Al activar el modo descubrimiento, se encienden automáticamente todos los LEDs de estímulo de RetINaBox.
2. A continuación, el usuario selecciona un desafío (Challenge) en el menú.
3. En la fase 1, los usuarios utilizan la herramienta de estímulo visual o su mano para presentar a RetINaBox diversos estímulos, tanto estáticos como dinámicos, hasta lograr activar la célula ganglionar retiniana (RGC1).
4. Una vez que el usuario encuentra el estímulo visual óptimo para el desafío propuesto, lo introduce en la sección izquierda del software (Phase 1) y selecciona 'Test Stimulus'. Si la respuesta es correcta, pasa a la fase 2 (Phase 2).
5. En la fase 2, el usuario configura la conectividad entre los fotorreceptores y la célula ganglionar retiniana (RGC) para recrear la selectividad del estímulo visual identificada en la fase 1. Una vez satisfecho con la configuración, el usuario hace clic en 'Test Connectivity'.





**Figura 42.** Interfaz gráfica de usuario de Discovery Mode.



## A1- ANEXO 1: LISTA DE COMPONENTES

Categoría	#	Producto	Especificaciones	Proveedor	Notas
RetlNaBox	6	Carcasa	Pieza impresas 3D ( <a href="#">link</a> )		
	14	Tornillos M3 10mm			
	12	Tornillos M3 6mm			
	4	Tornillos M2 6mm			Usado para asegurar el panel GPIO a la carcasa
	9	5mm LEDs IR	100 mA en corriente continua, 1000 mA en corriente de pulso Tensión directa aproximada: 1,6 V	<a href="#">Adafruit 387</a>	
	9	Fotodiodos infrarrojos (IR)		<a href="#">Amazon</a>	
	1	Elegoo electronics kit	Lo que necesitarás: 9 LEDs blancos, 1 LED verde, 1 LED amarillo, resistencias	<a href="#">Amazon</a>	
	12	Mini Tableros de circuitos		<a href="#">Amazon</a>	
	26	Cables Dupont		<a href="#">Amazon</a>	
		Kit de cables de conexión		<a href="#">Amazon</a>	
	1	Kit de expansión GPIO para Raspberry Pi		<a href="#">Amazon</a>	
	1	Extensor de conexión arcoiris	Opcional: añadir uno o dos cables adicionales permite una mayor libertad para posicionar RetlNaBox junto a la Raspberry Pi.	<a href="#">Amazon</a>	
	1	elechawk PH 2.0 Connector Pre-Crimped Cable Kit		<a href="#">Amazon</a>	
	1	Rollo de cinta eléctrica			





Category	#	Product	Specifications	Supplier	Notes
	1	Cable eléctrico de color rojo		<a href="#">Digikey</a>	Si tienes alguno a mano, perfecto. Si no, puedes pedir algo similar, no tiene que ser exactamente este producto.
	1	Cable eléctrico negro		<a href="#">Digikey</a>	Misma nota que la anterior
Para comprobar el funcionamiento de los LEDs IR	1	3.3V USB a Serial Adapter	Opcional	<a href="#">Amazon</a>	Puedes utilizar esto para alimentar un fotodiodo IR y probar los LED IR de forma independiente del resto de RetlNaBox.
Herramienta de Estímulo Visual	Set de 2	Lámina de plástico transparente (15.4x 22.4cm)		<a href="#">Amazon</a>	Coloca la plastilina aquí y luego presiónala entre los LED infrarrojos y los fotodiodos de RetlNaBox.
	1	Sharpie de punta fina	Cualquier marcador de punta fina funcionará		Para dibujar una cuadrícula en la herramienta de estímulo visual, que sirva de guía para colocar la plastilina.
	1	Plastelina	Cualquier marca funciona, inclusive play dough		Necesitas una cantidad suficiente para cubrir la herramienta de estímulo visual.
Herraminetas	1	2.5mm hex key			Se utiliza con tornillos M3
	1	1.5mm hex key			Se utiliza con tornillos M2



	1	Wire stripper/cutter			
	1	Mini screwdriver			Para ajustar la sensibilidad del fotodiodo

## A2- ANEXO 2: RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

### Problemas relacionados con la impresión 3D:

- a. Los fotodiodos y los LED no encajan correctamente en los orificios de las piezas impresas en 3D.
  - i. Recomendamos imprimir primero la pieza P2, P3 o P5 y comprobar que los LED/fotodiodos queden bien ajustados en los orificios. Si no es así, deberá ajustar el tamaño de las piezas en un porcentaje (aumentando o disminuyendo) según la configuración de su impresora. A continuación, deberá aplicar el mismo factor de escala a todas las demás piezas impresas.

### Problemas relacionados con los fotodiodos:

- a. El indicador LED de alimentación del fotodiodo (el LED a la derecha en la placa de circuito) no se enciende cuando RetINaBox está conectado al Raspberry Pi y esta última está encendida.
  - i. Compruebe el cableado entre el conector GPIO de RetINaBox y el fotodiodo. Un multímetro puede ser útil.
  - ii. Asegúrese de haber conectado correctamente el cable de conexión.
  - iii. Puede comprobar que Raspberry Pi está suministrando correctamente la alimentación a los LEDs. Primero, desconecte el cable de conexión. Luego, conecte un LED visible a una placa de pruebas pequeña. Con un cable Dupont hembra-macho, conecte el pin GPIO 17 (que normalmente proporciona 3,3 V para alimentar los fotodiodos) al terminal (+) del LED. Con otro cable Dupont, conecte el pin GPIO 39 (que normalmente proporciona la alimentación (-)/GND a los fotodiodos) al terminal (-) del LED. Si el LED se enciende, Raspberry Pi está suministrando la alimentación correctamente, y el problema está en el cableado. Si no funciona, es posible que el pin de Raspberry Pi se haya dañado.
- b. El fotodiodo está siendo alimentado, pero no se activa (es decir, el LED rojo de la izquierda de su placa no se enciende) cuando se encienden los LEDs IR, o no se

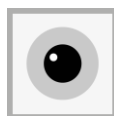


desactiva (es decir, el LED rojo de la izquierda no se apaga) cuando se apagan los LEDs IR.

- i. La sensibilidad del fotodiodo no está ajustada correctamente. Retire la pieza P6. Con el software de RetlNaBox, encienda el LED situado justo encima del fotodiodo con el problema. Ajuste el potenciómetro de ese fotodiodo (ver **Fig. 29**) con un destornillador hasta que el LED rojo de la izquierda se encienda cuando el LED esté encendido y se apague cuando esté apagado.
- ii. Si el paso 1 no funciona, hay dos posibles problemas. Primero, podría ser que el LED IR no esté conectado correctamente. Para comprobarlo, consulte la sección "Problemas relacionados con los LEDs". En segundo lugar, podría ser que el fotodiodo y el LED correspondiente no estén correctamente alineados dentro de la carcasa impresa en 3D. En la medida de lo posible, cada fotodiodo debe apuntar directamente al LED infrarrojo correspondiente, y cada LED infrarrojo debe apuntar directamente al fotodiodo correspondiente (los LED tienen un ángulo de emisión relativamente estrecho y los fotodiodos son más sensibles a la luz que incide directamente sobre ellos).

#### Problemas relacionados con los LEDs:

- a. Uno de los LED blancos no se enciende cuando se activa en el software.
  - i. Compruebe el cableado (y la polaridad del LED).
  - ii. Pruebe a sustituir el LED.
  - iii. Como en el paso a-iii de la sección "Problemas relacionados con los fotodiodos ", puede comprobar directamente que la Raspberry Pi envía la señal correcta. Consulte las **Figs. 12 y 22** para identificar los pines GPIO que corresponden al LED que no funciona. Con un cable Dupont hembra-macho, conecte el pin GPIO que alimenta el LED defectuoso (que normalmente proporciona 3,3 V) al terminal (+) del LED en el tablero de circuitos. Con otro cable Dupont, conecte el pin GPIO 9 (que normalmente proporciona la alimentación (-) /GND a los fotodiodos) al terminal (-) del LED. Si el LED se enciende al activarlo en el software, la Raspberry Pi está funcionando correctamente y el problema está en el cableado. Si no funciona, es posible que el pin de la Raspberry Pi se haya dañado.
- b. Uno de los LEDs infrarrojos no se enciende cuando se activa en el software.
  - i. Compruebe el cableado (y la polaridad del LED).
  - ii. Pruebe a sustituir el LED.



- iii. Siga las mismas instrucciones que en la sección "Problemas relacionados con los LEDs" (a-iii). Como no se puede ver si el LED infrarrojo está activo, puede usar el fotodiodo correspondiente en RetINaBox o conectar un adaptador serie USB-TTL (ver lista de componentes recomendados) a un fotodiodo y usarlo para comprobar la activación del LED infrarrojo.
- c. Uno de los LEDs de color (verde o amarillo) no se enciende cuando el software está en ejecución y la célula ganglionar retiniana correspondiente está activada en el Signal Monitor de la interfaz gráfica (GUI).
  - i. Compruebe el cableado (y la polaridad del LED).
  - ii. Pruebe a sustituir el LED.
  - iii. Siga las mismas instrucciones que en la sección "Problemas relacionados con los LEDs" (a-iii), pero para los pines GPIO que alimentan estos dos LED (**Figs. 12 y 22**).
- d. En el caso de un par de LEDs (uno blanco y otro infrarrojo) conectados, solo uno de ellos se enciende (es decir, reciben alimentación, pero solo uno está activo).
  - i. Compruebe el cableado (y la polaridad del LED).
  - ii. Intente reemplazar el LED que no funciona.
  - iii. Asegúrese de que las resistencias sean las adecuadas (esto es importante, ya que los diferentes tipos de LEDs tienen diferentes voltajes de polarización directa (y probablemente también diferente resistencia interna). Para garantizar que ambos LEDs se activen con la misma fuente de alimentación, debemos usar resistencias para estandarizar la corriente que fluye a través de ambos LEDs).
- e. Los LEDs parpadean.
  - i. Compruebe el cableado: probablemente sea un problema de conexión.

#### Problemas relacionados con la instalación del Software:

- a. El código no se ejecuta al hacer clic en la aplicación RetINaBox y seleccionar la opción 'Execute'.
  - i. Ejecute los siguientes comandos en una nueva ventana de terminal:
 

```
cd Desktop/RetINaBox-main/Software/RetINaBox
./venv/bin/python GUI/main.py
```

