



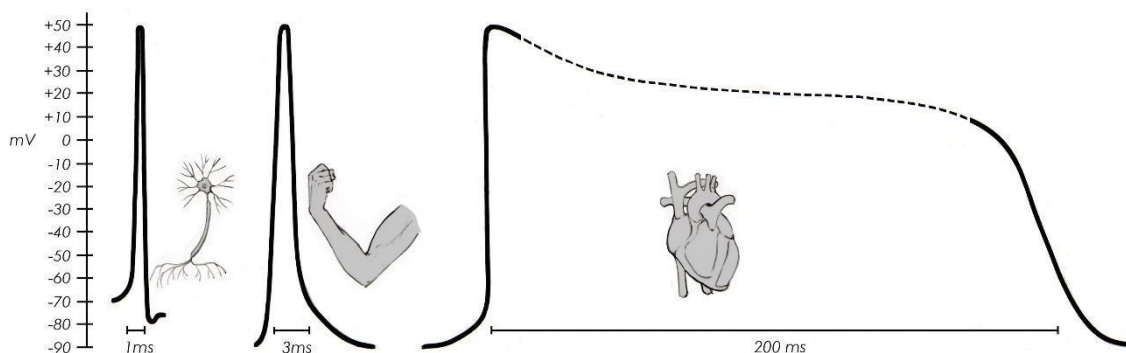
## Guía práctica Día 3

<b>Registrando la actividad eléctrica de nuestro corazón</b>	<b>1</b>
<b>Montaje del setup</b>	<b>3</b>
<b>Filtrando el ECG</b>	<b>5</b>
Filtro pasa bajo	6
Filtro pasa alto	6
<b>Interactuando con el ECG</b>	<b>9</b>

### Registrando la actividad eléctrica de nuestro corazón

El corazón es una bomba que trabaja continuamente, día tras día, en todo momento para enviar sangre y, consigo, oxígeno y demás nutrientes a todo nuestro cuerpo. Tiene cuatro cámaras que lo conforman, dos cámaras superiores llamadas aurículas (una derecha y otra izquierda) y dos cámaras inferiores llamadas ventrículos (también uno izquierdo y otro derecho). Decimos que es una bomba porque envía la sangre de forma pulsátil, es decir, la bombea con la contracción sincronizada de las cámaras que lo conforman.

Tal como las neuronas o las células de los músculos, las células del corazón, llamadas cardiomiocitos, generan potenciales de acción. Estos *spikes* en el corazón tienen mayor duración y son el resultado de la despolarización y repolarización de las células, producidas por el intercambio de iones entre su medio interior y el exterior.



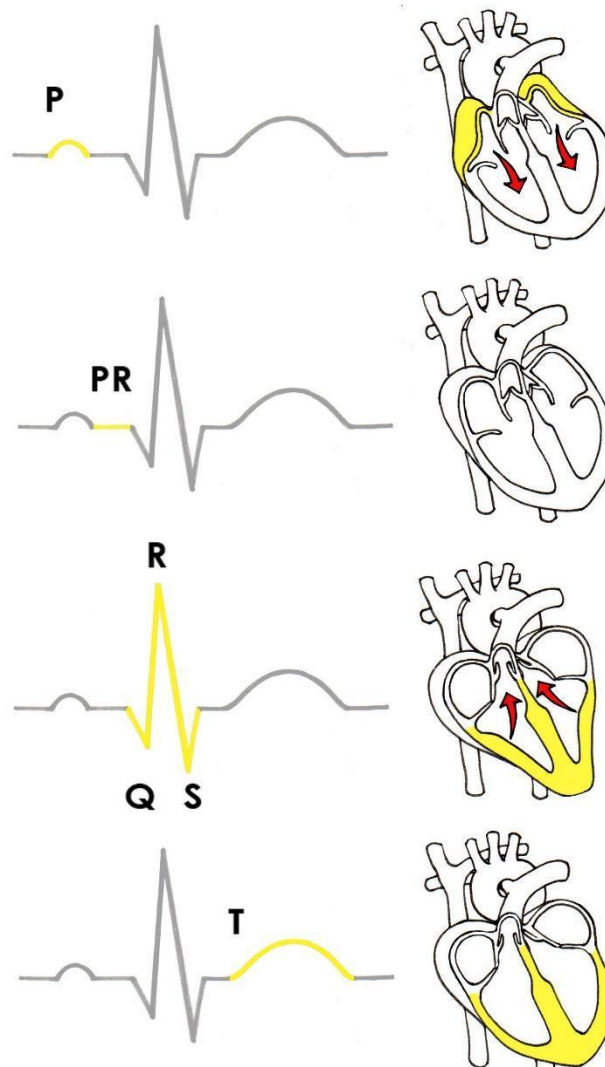
Las señales eléctricas rítmicas regulares que sincronizan la actividad de las aurículas y los ventrículos, se originan en el nódulo sinoauricular, localizado en la aurícula derecha. Este es el marcapasos natural del corazón. Una vez iniciada allí la actividad eléctrica, se produce la contracción de las aurículas. Luego, la señal eléctrica viaja hacia el nódulo auriculoventricular donde se produce una pequeña pausa y, posteriormente, se produce la contracción de los ventrículos.



Podemos observar la contracción coordinada de las células del músculo cardíaco usando electrodos dispuestos en determinados sitios del cuerpo. Para ello, se utiliza un amplificador de instrumentación para ampliar la pequeña señal eléctrica y un sistema de adquisición para visualizarla en la pantalla de la computadora. La representación gráfica de esta señal eléctrica a lo largo del tiempo es lo que se denomina electrocardiograma (ECG).

El ECG tiene un perfil eléctrico característico, compuesto principalmente por 3 ondas: la onda P, el complejo QRS (muy distintivo por su forma y amplitud) y la onda T. Cada una de estas ondas está relacionada con un instante de la mecánica de funcionamiento del corazón.

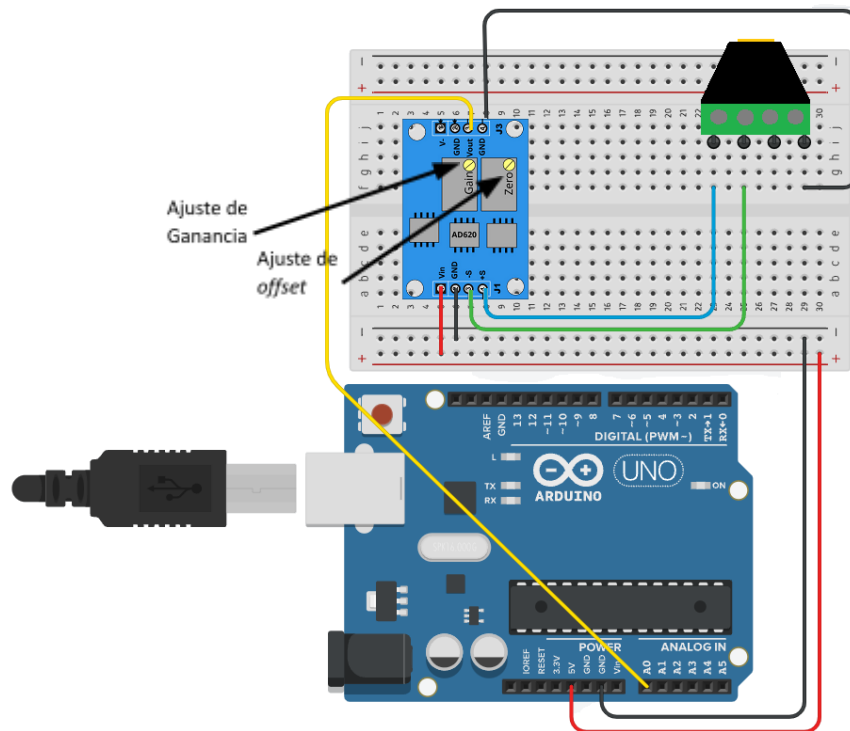
Como cualquier onda que varía en el tiempo, el ECG tiene un rango de frecuencias que lo describen, de entre aproximadamente 0.5 y 100 Hz.





## Montaje del *setup*

1. Colocar el jack hembra de 3.5 mm y el módulo amplificador AD620 en el *protoboard*.
2. Conectar, mediante un cable macho-hembra, el riel de GND del *protoboard* con el pin GND del módulo.
3. Conectar, mediante un cable macho-hembra, el riel de 5V del *protoboard* con el pin VIN del módulo.
4. Conectar, mediante un cable macho-hembra, el pin GND del jack con el otro pin GND del módulo.
5. Conectar, mediante un par de cables macho-hembra, los pines R y L del jack con las entradas del amplificador del módulo (pines S+ y S-).
6. Conectar, mediante un cable macho-hembra, la salida del amplificador del módulo (pin VOUT) con el pin A0 del Arduino.
7. Conectar el cable de medición que tiene los cocodrilos al jack hembra de 3.5 mm. Presta especial cuidado de que el plug del cable de medición entre completamente en el jack.
8. Colocar 3 electrodos de medición en tus muñecas derecha e izquierda y en el codo izquierdo.
9. Conectar los electrodos con el cable de medición usando los cocodrilos. Rojo con muñeca derecha, negro con muñeca izquierda y Verde con electrodo en el codo.
10. Abrir el [adquisicion\\_ecg.ino](https://github.com/IBRO-LARC/adquisicion_ecg.ino), editar la línea correspondiente del *sketch* para colocar la frecuencia de muestreo que consideres necesaria y cargarlo en el Arduino.
11. Abrir el “Graficador del puerto serie” en el IDE de Arduino (Herramienta, Serial Plotter).



### ¿Observas algo en el serial plotter?

El módulo amplificador cuenta con dos potenciómetros para regular el valor de ganancia del amplificador y el *offset*. Estos parámetros fueron previamente calibrados, sin embargo, en caso de no observar una señal en el *serial plotter*, será necesario ajustar algunos parámetros:

- Asegurarse de que el plug del cable de medición esté completamente insertado en el jack.
- A veces, tener los electrodos de registro en las muñecas puede resultar algo ruidoso para registrar el ECG debido a la actividad de los músculos presentes allí. Debés tratar de mantener los brazos relajados y no flexionarlos mientras intentás observar la señal en el *serial plotter* del Arduino IDE.
- Probar intercambiar de muñeca los cocodrilos rojo y negro.
- Regular la ganancia del amplificador ajustando el potenciómetro correspondiente. Para ello, necesitarás usar uno de los destornilladores planos del kit y realizar ajustes muy pequeños en el sentido de las agujas del reloj para aumentar la ganancia del amplificador o, en el sentido contrario, para disminuirla.

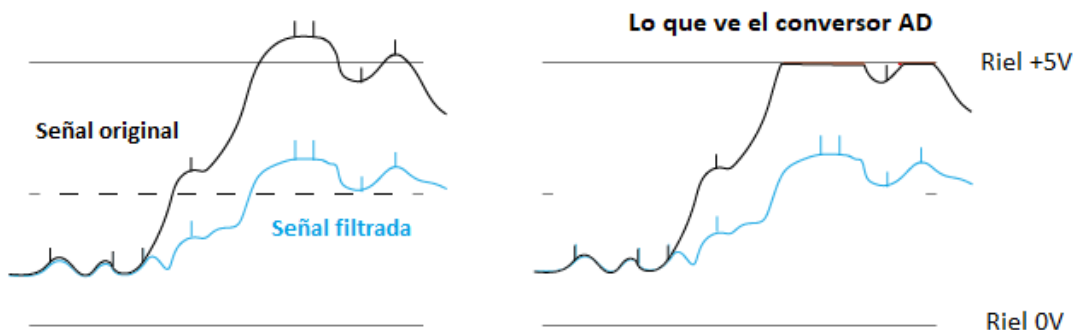


## Filtrando el ECG

Luego de realizar los ajustes descriptos, deberías ser capaz de visualizar el electrocardiograma de tu corazón. Puede ocurrir que sólo observes el complejo de la onda QRS, y no se observen claramente las ondas P y T del ECG. Esto puede deberse, entre otros motivos, a ruidos presentes en el montaje que realizamos, como por ejemplo debido al cargador de tu notebook o la fuente de tu computadora.

Toda señal periódica puede ser descompuesta en una suma de infinitas ondas sinusoidales de diferentes frecuencias (Teorema de Fourier). Por lo tanto, nuestra señal del ECG puede ser descompuesta en una serie de ondas sinusoidales de diferentes frecuencias, que conformarán la señal original (Transformada de Fourier). Las frecuencias de estas sinusoidales serán las que nos interesarán para poder reconstruir adecuadamente la señal del ECG. Podremos descartar el resto de las frecuencias.

Además, la señal del ECG también presenta componentes de baja frecuencia (<10Hz) cuyas amplitudes (voltajes) son grandes tanto para el amplificador como para el conversor analógico-digital (AD) del Arduino. Recordar que cualquier voltaje que se encuentre por encima o por debajo de los valores de tensión de alimentación del amplificador, o que excedan el rango de digitalización del conversor AD, serán “recortados” y sólo veremos un valor constante (satura).



Para eliminar todas estas fuentes de ruido que contaminan la señal del ECG, vamos a filtrarla. Para una señal del ECG, interesa conservar las frecuencias entre 0.5 y 100 Hz.

### Filtro pasa bajo

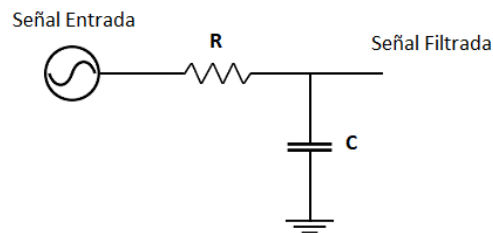
Este filtro remueve las altas frecuencias. Se trata básicamente de un divisor resistivo, como el que vimos en las guías anteriores, a excepción de que incluye un componente que depende de la frecuencia, un capacitor  $\frac{1}{sC}$ .

Los capacitores tienen una impedancia que varía en función de la frecuencia de la señal a la que están expuestos. De manera que, a medida que la frecuencia de la



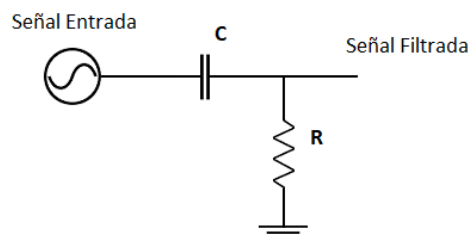
señal es mayor, la impedancia del capacitor disminuye y las componentes de frecuencias altas se “eliminan” a través de tierra (GND en el esquema). El capacitor presenta una gran impedancia para componentes de bajas frecuencias y, entonces, éstas pueden alcanzar fácilmente la salida del circuito sin tener pérdidas.

Para la señal del ECG vamos a emplear un filtro pasa bajo que remueva las frecuencias por encima de 100 Hz.



## Filtro pasa alto

Este tipo de filtro remueve las bajas frecuencias y deja pasar las componentes de alta frecuencia. Su funcionamiento sigue la misma idea que el filtro pasa bajo, pero a la inversa. La impedancia del capacitor disminuye con el aumento de la frecuencia de la señal, haciendo que ésta atraviese fácilmente el circuito hacia la salida del circuito. Para la señal de interés, usaremos un filtro pasa alto que remueva las frecuencias menores a 0.5 Hz.



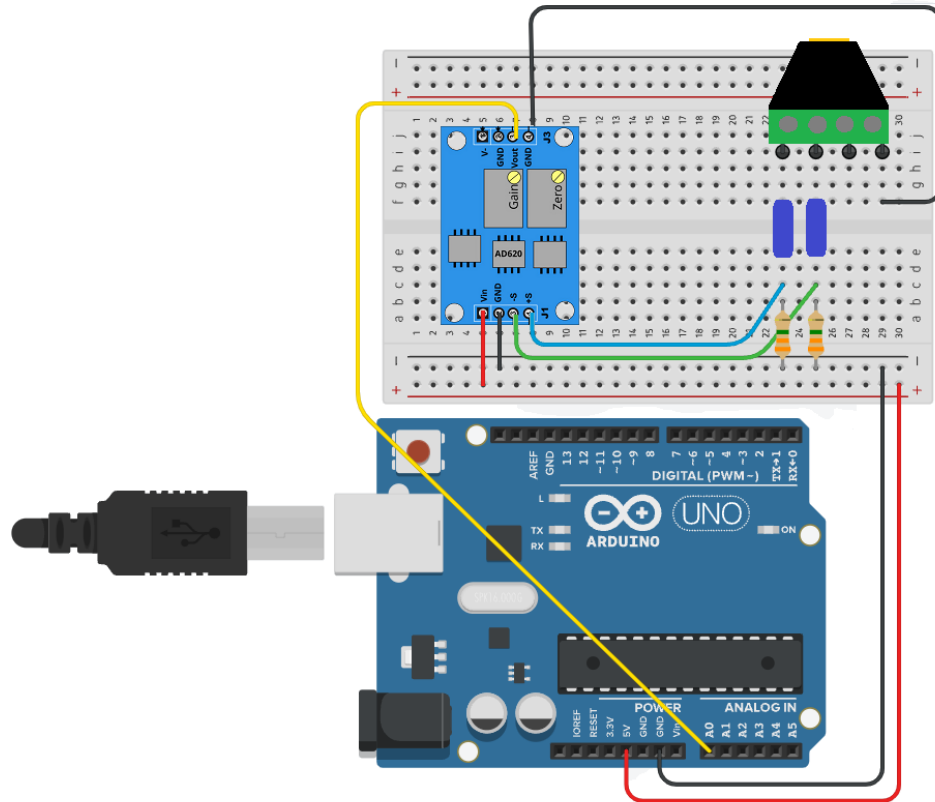
Estos tipos de filtros se denominan filtros pasivos tipo RC porque están conformados por resistencias y capacitores. La combinación de un filtro pasa-bajo y uno pasa-alto se denomina filtro pasa-banda.

Primero, vamos a implementar un filtro pasa alto. Para eso vamos a intercalar este filtro entre la entrada de la señal que proviene de nuestro cable de medición y el módulo amplificador.

12. Desconectar los extremos del par de cables macho-hembra que estaban conectados en los pines R y L del jack.
13. Intercalar entre cada pin R y L del jack y el riel de GND del protoboard, un capacitor de 100nF y una resistencia de 3.3MΩ en serie, como si fuera un divisor resistivo. Guiarse con el esquema del filtro pasa alto.



14. Conectar los extremos del par de cables macho-hembra que habíamos desconectado al punto medio del “divisor resistivo” que construimos con la resistencia y el capacitor.



***¿Qué cambios observas en la señal en el serial plotter? ¿A qué se debe?***

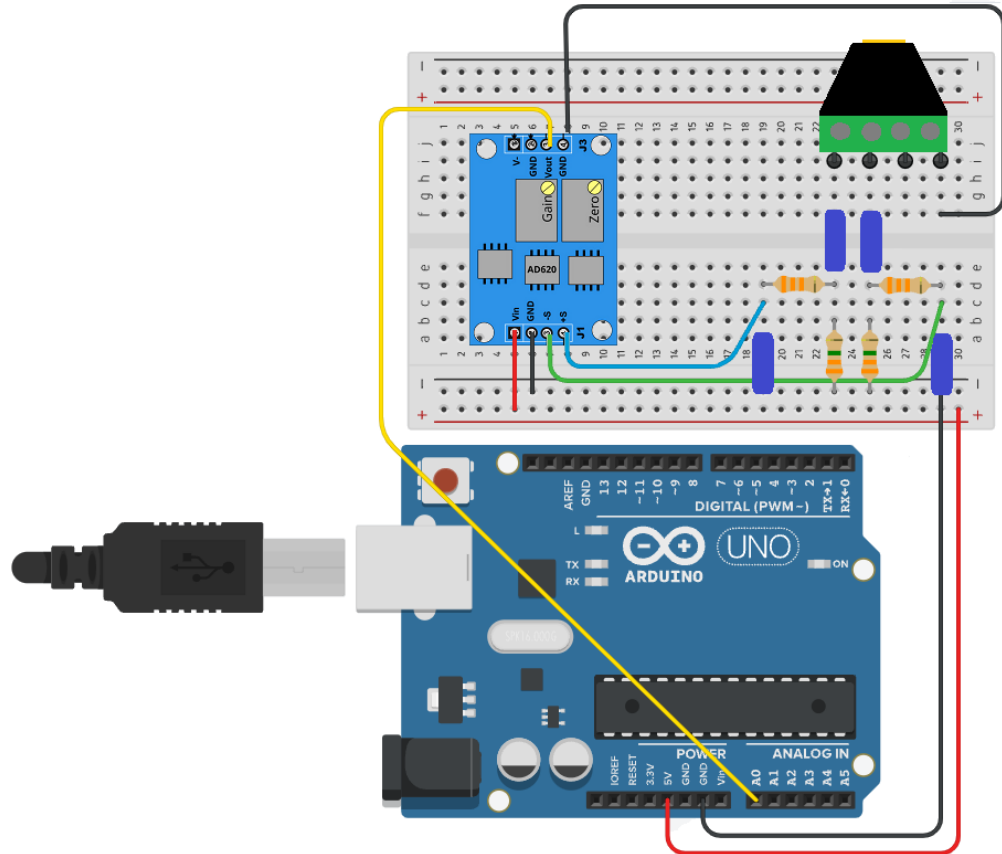
Ahora, puedes ajustar el *offset* del amplificador para subir y bajar toda la señal de modo de que se encuentre en la mitad entre las líneas de min y max del serial plotter. Para ello, deberás utilizar un destornillador plano y ajustar el potenciómetro de *offset*. Además, ahora es posible aumentar más la ganancia de la señal del ECG sin que esta oscile alrededor de las componentes de baja frecuencia que tenía y sature el amplificador.

Ahora, filtraremos las altas frecuencias que no deseamos conservar:

15. Desconectar los extremos de los cables macho-hembra que estaban conectados al punto medio del filtro pasa alto.
16. Conectar entre ese punto medio (filtro pasa alto) y el riel de GND del *protoboard* una resistencia de  $33K\Omega$  y un capacitor de  $100nF$  en serie. Guiarse por el esquema del filtro pasa bajo.



17. Finalmente, en el punto medio del “divisor resistivo” que conforma el filtro pasa bajo, conectar nuevamente el par de cables macho-hembra que habíamos desconectado previamente.



*¿Qué cambios observás ahora en la señal registrada?*

## Interactuando con el ECG

Ya tenemos la señal electrocardiográfica filtrada, amplificada y digitalizada. Ahora vamos a jugar un poco con ella y con lo que aprendimos del uso de Arduino en la primera guía.

1. Conectar el LED rojo en serie con su resistencia limitadora entre el riel de GND del *protoboard* y el pin 7 del Arduino, tal como hicimos en la primera guía.
2. Registrar y observar en el serial plotter la actividad ECG de tu corazón por unos instantes hasta que la misma se estabilice.
3. Trazar una línea horizontal imaginaria que haga las veces de umbral por sobre el cual pase el pico del complejo QRS del ECG. Guiándote con el eje Y, calcular el valor aproximado de ese umbral.
4. Modificar el *sketch* que estamos utilizando de manera de configurar el puerto digital 7 como salida. Luego, agregar un condicional para comprobar si la señal del





ECG que registramos supera el valor de umbral que determinaste y, en ese caso, encienda el LED por un lapso de 10 ms y vuelva a apagarlo.

¡Intentá hacerlo por tu cuenta! La solución la podés encontrar en [adquisicion\\_ecg\\_led.ino](https://github.com/IBRO-LARC/adquisicion_ecg_led.ino).



Este contenido fue creado por el Ing. Marcos Coletti para el Taller práctico abierto IBRO-LARC: Adquisición de señales neuronales, con parte del material “*Experiment: Heart Action Potentials*” de Backyard Brains, disponible en <https://backyardbrains.com/experiments/heartrate>, en colaboración con la Lic. Cecilia Herbert, la Lic. Azul Silva y la Dra. Verónica de la Fuente.

Este contenido está bajo licencia [Atribución-CompartirIgual 3.0 No portada CC BY-SA 3.0](#). Esto significa que:

### Sos libre de...

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

### Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Debés dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Podés hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que vos o tu uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **CompartirIgual** — Si remezclás, transformás o creás a partir del material, debés distribuir tu contribución bajo la misma licencia del original.
- **No hay restricciones adicionales** — No podés aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Este resumen legible por humanos no es un sustituto de [la licencia](#). Para ver una copia de esta licencia, visitá el siguiente vínculo: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>.

Nos apoyan generosamente:

