



# MICOTEXTIL

**Textiles de hongos y equipo  
científico de libre acceso**

*Guía práctica para el desarrollo de textiles conformados por micelio  
de hongos y fibras naturales y manual para la fabricación de  
incubadora de laboratorio de libre acceso*



FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE



Proyecto Financiado por el Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. *Fondart Nacional; Línea Diseño, convocatoria 2019*

### Equipo proyecto

Guillermo Avilés Riquelme  
Catalina De Pablo Alday  
Francisca Feijoo Ibañez  
Fernán Federici Noe  
Claudia Gaete Zuñiga  
Tania Pedraza Varas  
Fernanda Peñaranda Mariaca  
Sebastián Rodríguez Jara  
Andrés Romero Quezada  
Axel Sepúlveda Olivares

### Diseño Editorial e ilustración

Danae Catalán Latournerie

### Licencia



Esta publicación está disponible bajo la licencia Creative Commons Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0), lo que implica que usted es libre de copiar

y redistribuir el material en cualquier medio o formato, así como de adaptar, remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que se dé crédito de manera adecuada a los autores de la obra y se indique si se han realizado cambios. Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. Para ver una copia de la licencia visite

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.es>

*agradecimientos*

4

*investigación*

10

*presentación*

6

*micotextil*

18

*intro*

7

*incubadora*

27

*principios*

9

*conclusiones y  
proyecciones*

64

«CONTE-  
NIDOS»

# «AGRADECI- MIENTOS»

Este proyecto se enmarca en una iniciativa mayor, un espacio donde estudiantes y profesionales de distintas disciplinas científicas y creativas hacen posible relacionar el diseño y la ciencia desde otras lógicas y perspectivas.

Agradecemos a la Vicerrectoría de Investigación y a la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Universidad Católica por el espacio e infraestructura que nos ha permitido construir el Laboratorio de Biofabricación FADEU. El conocimiento sobre los procesos de colecta, aislamiento y cultivo de hongos in vitro ha sido posible gracias al financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación. Agradecemos a cada uno de los miembros que colaboraron en estos procesos durante los años 2017 y 2018 y a todo el trabajo cuya labor y amistad alimentan cada uno de nuestros proyectos.

Agradecemos al Laboratorio de Genética Fúngica y Biología Sintética del Instituto Milenio de Biología Integrativa (iBio), y en particular, al Dr. Luis Larrondo por compartir gentilmente variadas cepas de hongos filamentosos relevantes para ésta y futuras investigaciones. Agradecemos a la Fundación Fungi por su aporte al entendimiento del reino de los hongos y al Laboratorio de Tecnologías Libres por impulsar el desarrollo de protocolos abiertos y fomentar la ciencia libre. Agradecemos a Wildlife Conservation Society (WCS) por apoyarnos con los trabajos de terreno en

el Parque Karukinka y permitirnos recolectar muestras de hongos descomponedores de madera. Agradecemos también al Fab Lab Inacap por facilitar el espacio e infraestructura para el desarrollo de prototipos con tecnologías de fabricación digital.

El contenido de este manual y el desarrollo de esta investigación llevada a cabo durante el año 2019 ha sido posible gracias al financiamiento de un Fondo de Cultura del Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio a través de un Fondart de Diseño en su Línea Investigación. El área de equipamiento científico del proyecto fue desarrollado también gracias a la participación en la Residencia **REGOSH**<sup>1</sup> (Hacia una red de tecnologías libres para educación, investigación y ciencia comunitaria en la América Latina y el Caribe) la cual se llevó a cabo en Porto Alegre entre Julio y Agosto del 2019 y fue financiada por el Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo **CYTED**<sup>2</sup>, agradecemos especialmente a Pablo Cremades y Nicolás Méndez por su entusiasmo y ayuda. Así mismo, esta parte del proyecto también se vio beneficiada en su desarrollo gracias a la participación del equipo en el OpenPlant Biomaker Challenge de la Universidad de Cambridge, agradecemos especialmente a la profesora Jenny Molloy del Department of Chemical Engineering and Biotechnology por su apoyo y gestión de los fondos adjudicados en el **Biomaker Challenge**<sup>3</sup>.”

<sup>1</sup> <https://anargu.github.io/regosh-landing/>

<sup>2</sup> <http://www.cytel.org/es/cytel>

<sup>3</sup> <https://www.biomaker.org/openplant-biomaker-challenge-2019>

# ◀PRESENTA- CIÓN▶

Esta guía es un esfuerzo por democratizar la generación de conocimiento, un peldaño más hacia el camino de abrir la ciencia fuera de la esfera académica. Un ejercicio desde el diseño para poner a disposición de la sociedad los resultados de investigaciones en torno a los biomateriales conformados a partir de hongos descomponedores de madera y su indispensable nexos con el desarrollo de hardware científico abierto y de bajo costo desde el escenario latinoamericano.

En esta guía encontrarás una primera parte donde se presenta el contexto de la investigación y una segunda parte en formato manual o guía práctica, para replicar paso a paso los resultados del proyecto. Por un lado, se muestra el desarrollo de un textil hecho a partir de fibras vegetales locales y hongos nativos descomponedores de madera. Por otro lado, podrás aprender a desarrollar una incubadora de código abierto para el cultivo de biomaterial de hongos.

Esperamos que esta guía motive a más personas a explorar el mundo de los biomateriales y el hardware abierto, para que así los conocimientos aquí escritos se puedan replicar, modificar y mejorar en el tiempo a través de resultados colaborativos entre diversos territorios.

**En el último medio siglo, la humanidad se ha encontrado ante la posibilidad de autodestruirse y la inédita condición de tener conciencia de ello. Es decir, entender que la crisis ambiental que vivimos puede no tan solo desviar el camino de la historia propia y futura, sino incluso representar el final de la propia historia (Manzini 2000).**

CENTRO

La infraestructura industrial está diseñada para la generación de crecimiento económico. Lo consigue, pero a expensas de otras necesidades vitales, como la salud humana y ecosistémica, la riqueza natural y cultural, e incluso la diversión y el disfrute. La mayoría de los métodos, materiales y productos industriales son involuntariamente empobrecedores (*Braungart, McDonough. 2002*) y son consecuencia de malos diseños que no suelen considerar factores claves como los ciclos de vida del ambiente en que estamos inmersos. Dichas planificaciones suelen inclinarse en pos de factores económicos, lo que no muestran repara al momento de generar basura, contaminación y productos de mala factura.

Esfuerzos por generar una industria con menor impacto no es cosa sólo de estos tiempos, sino que se remontan a los primeros años de la Revolución Industrial, cuando las empresas eran tan destructivas y contaminantes que tenían que ser controladas para que no causaran enfermedades o la muerte. La industria salitrera o la industria que explotaba el carbón, en el norte y sur de Chile respectivamente, son claros ejemplos locales de destrucción del ecosistema, acompañada de una profunda desigualdad económica, cultural, social e incluso ambiental entre los grandes empresarios y los trabajadores.

La respuesta más simple a esta destrucción de origen industrial, ha sido idear nuevos métodos menos dañino para el ecosistema. Conceptos como reducir, evitar, minimizar, sostener, limitar, detener, se han usado en la mayoría de las consideraciones ambientales de la industria actual (*Braungart, McDonough. 2002*). Durante la primera mitad del siglo XX, muchos ambientalistas escribieron artículos que denunciaban la destrucción del ecosistema y el medio ambiente, la que no salía de cierto romanticismo por falta de hechos científicos. Sin embargo en 1962 con la publicación del libro “The silent spring” de la científica Rachel Carson, esta valorización de la naturaleza se transformó en preocupación con base científica. Así también en 1984 el Entomólogo Paul R. Ehrlich publicó “The population explosion” donde en el primer capítulo propone convertir nuestro modelo de producción a uno de sostenibilidad.

Por tanto esta crisis ambiental es el resultado de nuestro sistema social y productivo, de nuestra forma de existir y funcionar, donde de alguna manera todos somos parte responsable de esta crisis. A pesar de esto, parte de la sociedad ha comenzado a replantearse el modelo de producción y la forma de vivir y relacionarnos con nuestro entorno a través de un modelo más sostenible.

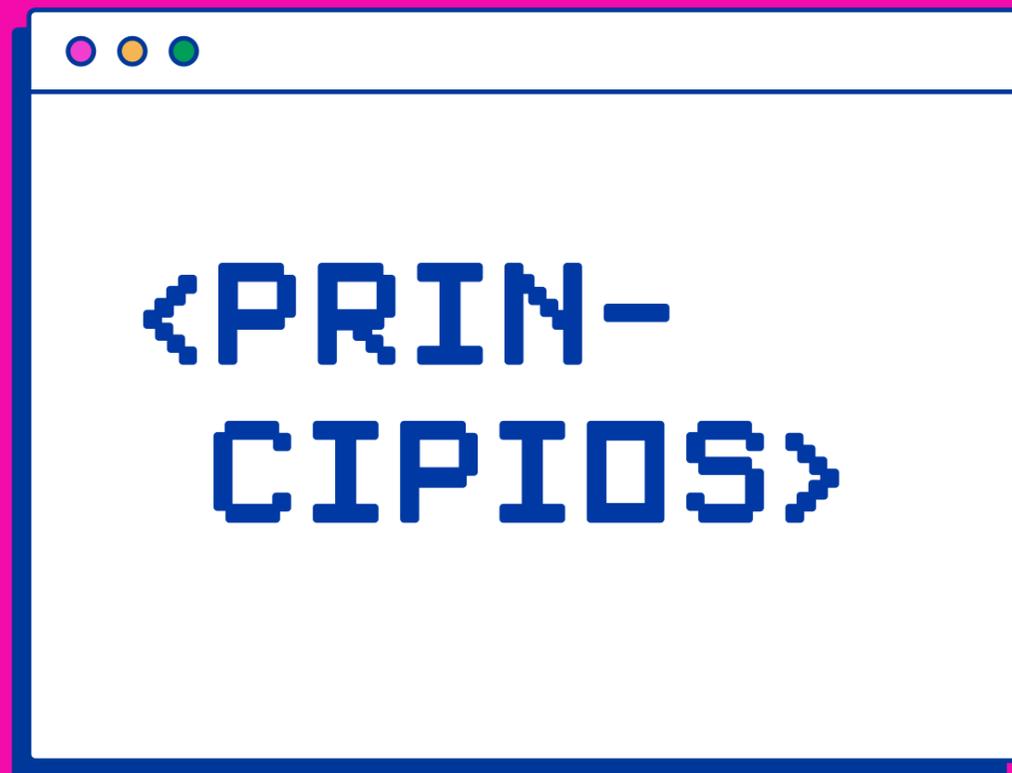
## **INDUSTRIA TEXTIL**

La industria textil se ha convertido en la tercera actividad más contaminante del mundo debido a su alta demanda y a las dinámicas propias de cada una de sus etapas de elaboración (a nivel extractivo, de teñido, lavado, y de desecho). En el año 2008 Kate Fletcher comienza a utilizar el término “Slow Fashion” para contraponerse a la hegemonía del “Fast Fashion” y sus formas de producción, dando paso a una concepción alternativa que aboga por una mayor conciencia respecto al uso de materiales, a la reutilización de las prendas, al comercio justo y a la creación de nuevos materiales biodegradables. De esta forma, se inicia una búsqueda de nuevas opciones para la industria textil, que provengan de fuentes naturales y cuyo procesamiento genere el menor impacto medioambiental posible. A partir de esto es que diversos diseñadores y biólogos han comenzado a explorar las posibilidades que otorgan los organismos vivos para generar nuevos bio-materiales, y particularmente para nuestro interés, biotextiles.

Dentro de este nuevo campo originado entre el diseño y ciencias tales como la biología, se pueden distinguir dos aproximaciones: los biocom-

puestos, los que suelen ser polímeros orgánicos de origen biológico (p. ej. celulosa, lignina, quitina, etc.); y los materiales autogenerativos, en donde se cultiva y dirige el crecimiento de un organismo vivo para obtener el material de interés.

En este mismo ámbito, diversos investigadores han comenzado a explorar las posibilidades del micelio de hongos para generar una alternativa a la industria textil, entre ellas el cuero. Dos de los casos más conocidos son los de las compañías Mycoworks y Ecovative, las que empleando macrohongos tales como *Ganoderma lucidum* han podido generar láminas de micelio que se asemejan tanto en aspecto, como en propiedades físico-mecánicas al cuero. A pesar del éxito que han presentado este tipo de aproximaciones y lo mucho que se ha avanzado en el conocimiento de dichos hongos, poco entendemos sobre la compleja biología de estos organismos, y mucho menor es el conocimiento que este tipo de empresas libera para el avance y desarrollo de nuevas tecnologías sustentables y locales que sean capaces de hacer frente al complejo escenario actual.



Nuestro trabajo se posiciona hacia un nuevo paradigma. Somos un laboratorio multidisciplinario que investiga las posibilidades de los organismos vivos para generar procesos de biofabricación y biomateriales. Nuestros desarrollos se caracterizan por ser de bajo costo y código abierto, trabajando principalmente bajo cinco principios:

## CÓDIGO ABIERTO



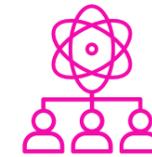
Se centra en la premisa de que al compartir el código fuente de un software, cualquier persona puede modificarlo y mejorarlo. Aplicado a la biología y el diseño, implicaría compartir el trabajo base desde dónde se realizan investigaciones, para poder acceder a cualquiera de sus partes y generar modificaciones y mejoras.

## COLABORACIÓN



Dada entre grupos de investigación basado en el sistema red de pares, o peer-to-peer (P2P). La analogía del P2P a la colaboración entre grupos permite el intercambio directo de información, en cualquier formato, entre las comunidades distribuidas por el continente y el mundo.

## CIENCIA ABIERTA



Consiste en la democratización del acceso a investigaciones científicas para todos los ciudadanos, a través de métodos de investigación en los que los experimentos y datos obtenidos se hacen de acceso público.

## TECNOLOGÍAS DE LIBRE ACCESO

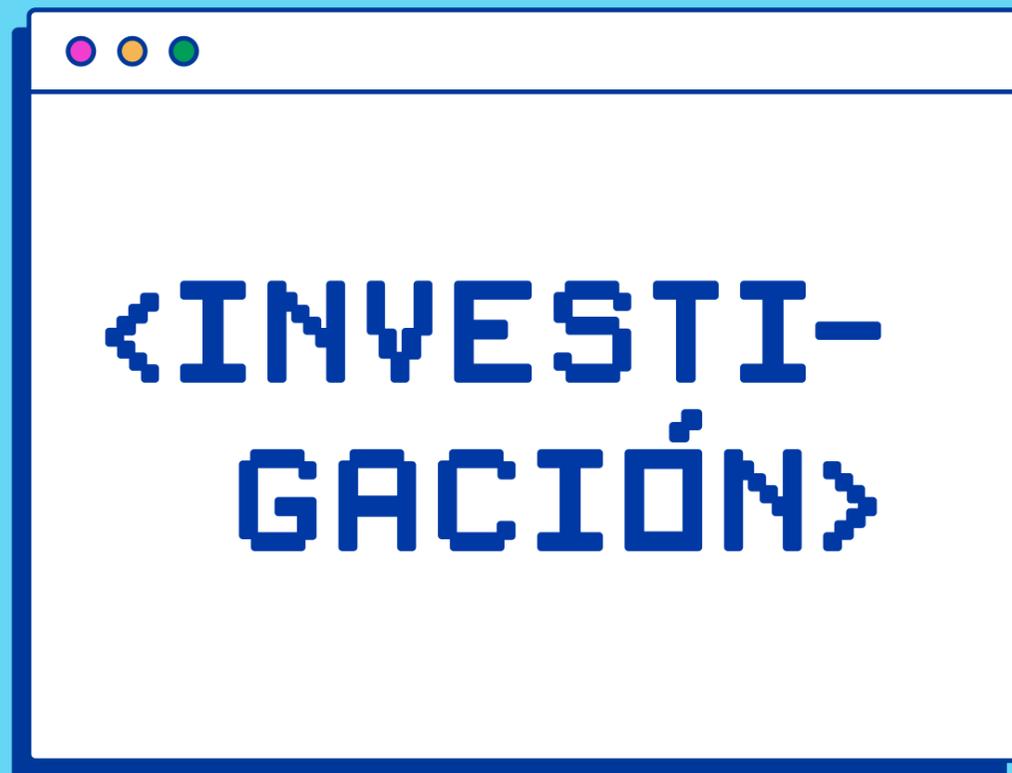


La tecnología desarrollada debe poder circular libremente, esto también incluye la libertad de poder acceder y estudiar cómo funciona esta. Esto significa garantizar el acceso al diseño y funcionamiento necesarios para poder comprender, modificar, reproducir y acceder a los prototipos desarrollados.

## INTERDISCIPLINA



Integrar conocimientos y métodos de diferentes disciplinas, utilizando una síntesis real de distintos enfoques.



# ¿POR QUÉ TIENE VALOR NUESTRA INVESTIGACION?

## HONGOS

Los hongos son organismos agrupados en el Reino Fungi, constituyendo uno de los tres reinos más importantes de los organismos vivos, junto a los reinos Animalia y Plantae. Este reino comprende cerca de 100.000 especies descritas, y la diversidad fúngica global estimada es de 0,8 a 5,1 millones de especies (*Blackwell, 2011*). Estos organismos juegan roles cruciales en distintos ecosistemas, y no es exagerado decir que la vida que conocemos no podría existir sin ellos. Los hongos son los grandes recicladores de la naturaleza: descomponen residuos vegetales y animales dejando los nutrientes resultantes al servicio del crecimiento de nuevas plantas, de animales e incluso permiten el desarrollo de la vida humana. Estos organismos están presentes en todos los medios y ecosistemas; en el agua, en el suelo, en el aire, en los prados, en los bosques, además de encontrarse también en cultivos. Se emplean en la industria alimenticia y farmacéutica, en todo nivel de la cadena productiva. Son seres capaces de vivir prácticamente en cualquier sustrato, desde kerosene, aluminio y pinturas, hasta huesos, piel, pelo, y papel (*Furci, 2007*).

**<sup>1</sup> micelio:**

redes de hifas que forman una estructura macroscópica que corresponde al cuerpo vegetativo del hongo (responsable de la nutrición)

**<sup>2</sup> ecología:**

ciencia que estudia la interacción entre los diferentes organismos y el entorno en el que viven.

**<sup>3</sup> mutualismo:**

interacción entre dos organismos que puede o no ser obligada en la cual ambos se ven beneficiados

**<sup>4</sup> ciclo de carbono:**

proceso en el cual el elemento carbono circula por los ecosistemas para ser utilizado por los diferentes seres vivos

Algunas especies son capaces de interactuar con las raíces de las plantas a través del **micelio**<sup>1</sup>, generando verdaderas redes de interconexiones que favorecen la absorción del agua y nutrientes. De esta forma, este reino cumple roles fundamentales a **nivel ecológico**<sup>2</sup> al comprender organismos con roles descomponedores, **mutualistas**<sup>3</sup>, o incluso como patógenos de plantas y animales; también manejan el **ciclo del carbono**<sup>4</sup> en los suelos de los bosques, median los requerimientos de minerales en plantas, y suplen las limitaciones de carbono de otros organismos del suelo (Tedersoo et al. 2014).

Los hongos también han tenido un importante rol en la generación de conocimiento científico y médico. La utilización de hongos tales como *Penicillium chrysogenum*, *Neurospora crassa*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe* han otorgado 7 premios Nobel a la fecha (<https://www.nobelprize.org/>), e incontables publicaciones y aplicaciones en nuestro diario vivir. Todo esto se debe a la amplia gama de morfologías, fenotipos, **nichos ecológicos**<sup>5</sup> y estrategias reproductivas que este vasto reino posee (Su et al. 2012).

Considerando este gran universo de posibilidades, además del creciente conocimiento de la biología de hongos y el gran avance tecnológico de los últimos años, es que tanto hongos unicelulares (tales como las levaduras), así como hongos más complejos (tales como hongos filamentosos), están siendo ampliamente utilizados por la industria biotecnológica. Estos organismos se han convertido recientemente en verdaderas bio-factorías, permitiendo la producción de

**metabolitos**<sup>6</sup> de alto valor (Paddon et al. 2013), biocombustibles (Hong and Nielsen 2012), vacunas (Allgaier et al. 2009), enzimas y numerosas proteínas y **vías heterólogas**<sup>7</sup> (Luo et al. 2019). De esta forma, los hongos se han vuelto una de las plataformas biológicas preferidas dentro del mundo científico, así como en el de la biotecnología.

## BIOLOGÍA DE HONGOS

Los hongos suelen desarrollarse en lugares húmedos y oscuros (ya que no necesitan de la luz directa del sol para sobrevivir). Estos suelen organizar sus células generando filamentos que se conocen como hifas, las que a su vez pueden conformar una red o tejido de mayor complejidad conocido como micelio (Furci, 2007). Las setas, ‘callampas’, o cuerpo fructífero es lo que comúnmente conocemos como el hongo. Sin embargo, esto es sólo una parte del organismo cuya función es principalmente sexual (ver figura 1). De esta forma, los cuerpos fructíferos emergen en su mayoría en determinadas épocas del año (asociado a las condiciones ambientales) y por períodos de tiempo acotados.

A un nivel microscópico, nos encontramos con que la forma de las **hifas**<sup>8</sup> se genera por una un entramado de microfibrillas de quitina y glucanos, **deposición polarizada**<sup>9</sup> de pared celular. Esta estructura en la mayoría de los hongos corresponde a un entramado de microfibrillas de quitina y glucanos, que se encuentran embebidas en una matriz de polisacáridos y proteínas (Riquelme et al. 2018).

**5 nicho ecológico:**

medio en el cual organismos vivos desempeñan roles específicos

**6 metabolitos:**

compuestos generados por reacciones químicas en los seres vivos

**7 vías heterólogas:**

genes que se expresan en un organismo, pero provienen de otros

**8 hifas:**

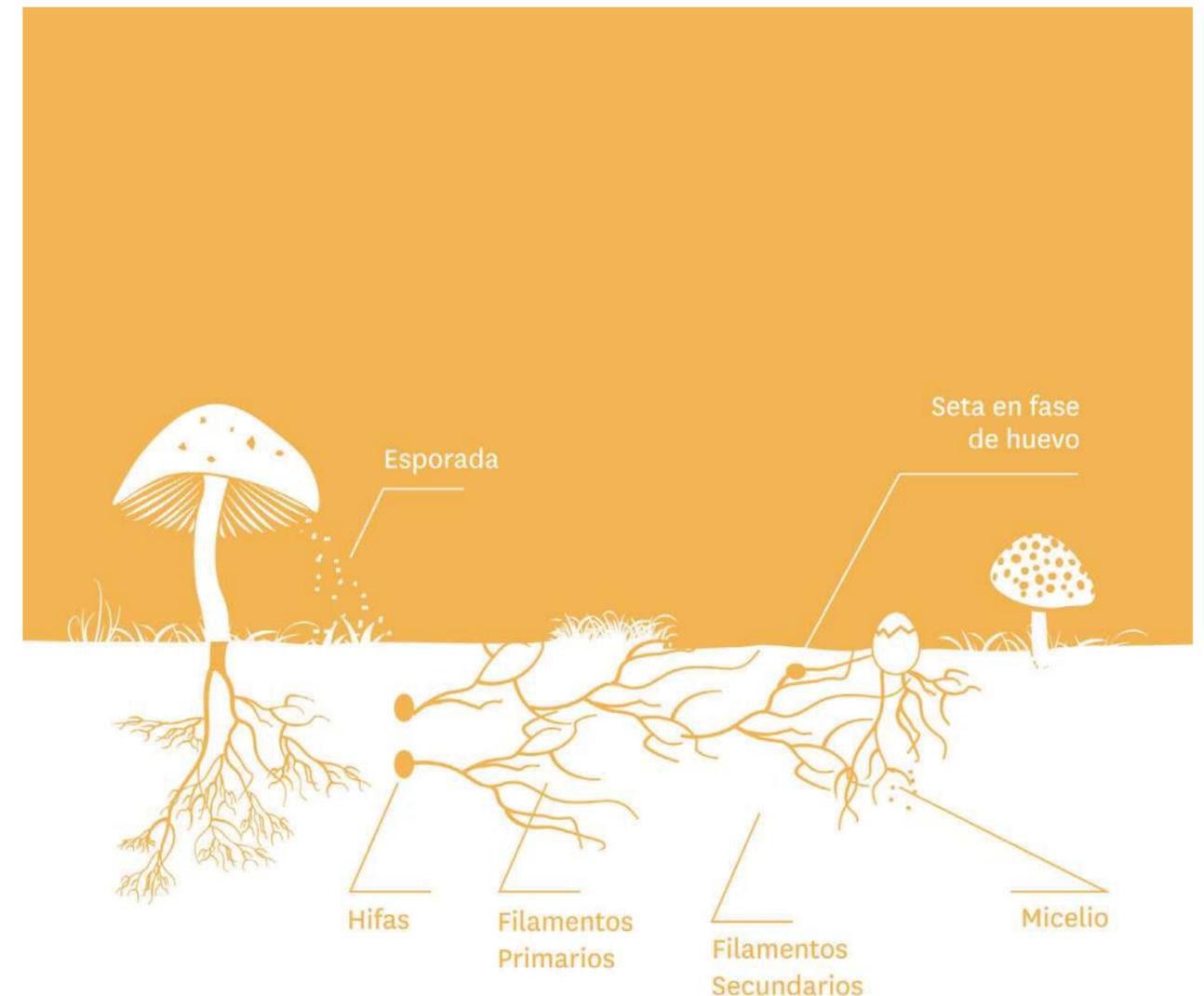
estructura microscópica de células fúngicas que forman filamentos y componen el micelio.

**9 deposición polarizada:**

proceso en que la pared celular se extiende en una sola dirección, desde el centro del micelio hacia el extremo.

De esta forma, dependiendo de las condiciones de crecimiento del hongo, tales como el sustrato con el que se alimenta, la temperatura y humedad, se pueden obtener diferencias en la composición de esta pared, lo que se traduce en variaciones en las propiedades mecánicas y en la arquitectura del micelio (Haneef et al., 2017). Así, por ejemplo, al utilizar un sustrato altamente resistente (p.ej. estructuras altamente leñosas como la cáscara de nuez o cáscara de coco), mayor será la resistencia a la compresión que desarrollará el micelio. Por el contrario, al crecer el hongo en un medio líquido rico en azúcares, éste desarrollará un tejido más flexible (Haneef et al., 2017).

Debido a esta plasticidad y posibilidad de controlar las propiedades del micelio mientras éste crece, la obtención de nuevos biomateriales basados en el uso de hongos ha aumentado de forma exponencial durante los últimos años. A pesar de este crecimiento, casi la totalidad de los proyectos de materiales basados en el uso de hongos no han revelado sus protocolos y procedimientos para la obtención de sus desarrollos debido a razones comerciales de propiedad intelectual. Considerando esto, es que como grupo creemos que esta estrategia comercial coarta la posibilidad de replicación y mejoramiento de las tecnologías, además de imposibilitar la generación de nuevos proyectos que puedan basarse en la experiencias anteriores. Finalmente, creemos que con esta forma de protección y difusión de la información, es la propia sociedad la que disminuye la posibilidad de verse afectada positivamente por el desarrollo de nuevas tecnologías, además de enlentecer la aparición de nuevas soluciones a problemas en donde el tiempo escasea.



Estructura de un hongo de sombrero  
Elaboración propia.

**<sup>10</sup> saprófito:**

organismos que se alimentan de materia orgánica muerta

**<sup>11</sup>parásito:**

interacción entre dos organismos en el que uno se ve beneficiado y el otro puede verse perjudicado o no

**<sup>12</sup>patógeno:**

interacción entre dos organismos en el que uno se ve beneficiado y el otro perjudicado

**<sup>13</sup>hongo filamentosos:**

hongo que tiene la capacidad de formar estructuras multicelulares

**<sup>14</sup>Basydiomycota:**

filo del reino fungi que produce esporas sexuales en estructuras llamadas basidios

## MOVIMIENTO OPEN SOURCE

Es un modelo de desarrollo de software basado en la colaboración abierta (*Levine & Prietula, 2013*) y es uno de los movimientos más importantes en la tecnología a nivel mundial. El término nace en los años 90 y significa poder acceder al código fuente de un software. Este se centra en la premisa de que al compartir el código, cualquier persona puede modificarlo y mejorarlo, tendiendo el programa resultante a ser de calidad superior al software propietario además de reducir los tiempos de mejoras de un software privativo.

Con el tiempo el concepto open source se extendió al área del hardware. Se tiende a pensar que el hardware es la parte de la computadora que no es el programa, pero en realidad la definición va más allá. Es cualquier tecnología, maquinaria o herramienta elemental que uno diseña para hacer algo con fines diversos. (*Nadra, 2017*). Este ámbito fue tomando gran importancia en las ciencias y la investigación haciéndose cada vez más relevante el acceso a instrumentos científicos.

## ¿POR QUÉ HACER OPEN HARDWARE?

Las restricciones de la propiedad intelectual son uno de los factores críticos que limitan el acceso a las herramientas –en este caso científicas– que frenan el progreso de la ciencia.

La posibilidad de diseñar, fabricar y mejorar el instrumento científico es parte fundamental del proceso de investigación y desarrollo tecnológico además de la posibilidad que este ofrece de generar soluciones equitativas y sostenibles en respuesta a problemas locales.

El desarrollo de hardware científico de código abierto permite facilitar el acceso a herramientas experimentales y su adaptación y re-uso a costos relativamente bajos. También democratiza las prácticas científicas, aumentando la diversidad de gente con herramientas adecuadas para investigar y aprender. Asimismo, puede ampliar el impacto de la educación y de la innovación y promueve las intervenciones ciudadanas. (*Alejandro Nadra 2017, entrevista a plataforma medium*)

El Hardware Científico Abierto (HCA) se refiere a cualquier pieza de hardware que pueda ser obtenida, ensamblada, usada, estudiada, modificada, compartida y comercializada por cualquier persona. Incluye equipos estándar de laboratorio, tales como sensores, microscopios y termocicladores, así también como dispositivos diseñados ad hoc para diseños experimentales particulares. El HCA es respaldado por una comunidad de desarrolladores y usuarios que por medio de diseños de libre acceso, desarrollo colaborativo y nuevas técnicas de fabricación digital promueven el acceso global al instrumental científico y las infraestructuras de investigación. Esta forma de desarrollo abierto es más eficiente dado que incorpora las contribuciones de una comunidad distribuida de expertos, usuarios y aficionados. Este gran bazar distribuido de repositorios digitales, herramientas y conocimiento permite remixar desarrollos y adaptarlos a las necesidades y contexto local. Esta dinámica de trabajo también permite un aprendizaje derivado de la construcción de HCA y una reputación asociada a compartir buenos diseños y experiencias (*Federici, 2018*).

<sup>15</sup>**filo:**  
nivel organizacional  
taxonómico situado entre  
reino y clase

<sup>16</sup>**Ascomycota:**  
filo del reino fungi  
que produce esporas  
sexuales en estructuras  
llamadas ascas

A diferencia de los dispositivos patentados que son costosos de obtener y mantener, el instrumental de hardware abierto permite además una reducción de costos de 90 a 99% (Appropedia).

## CONTEXTO LOCAL Y RELEVANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

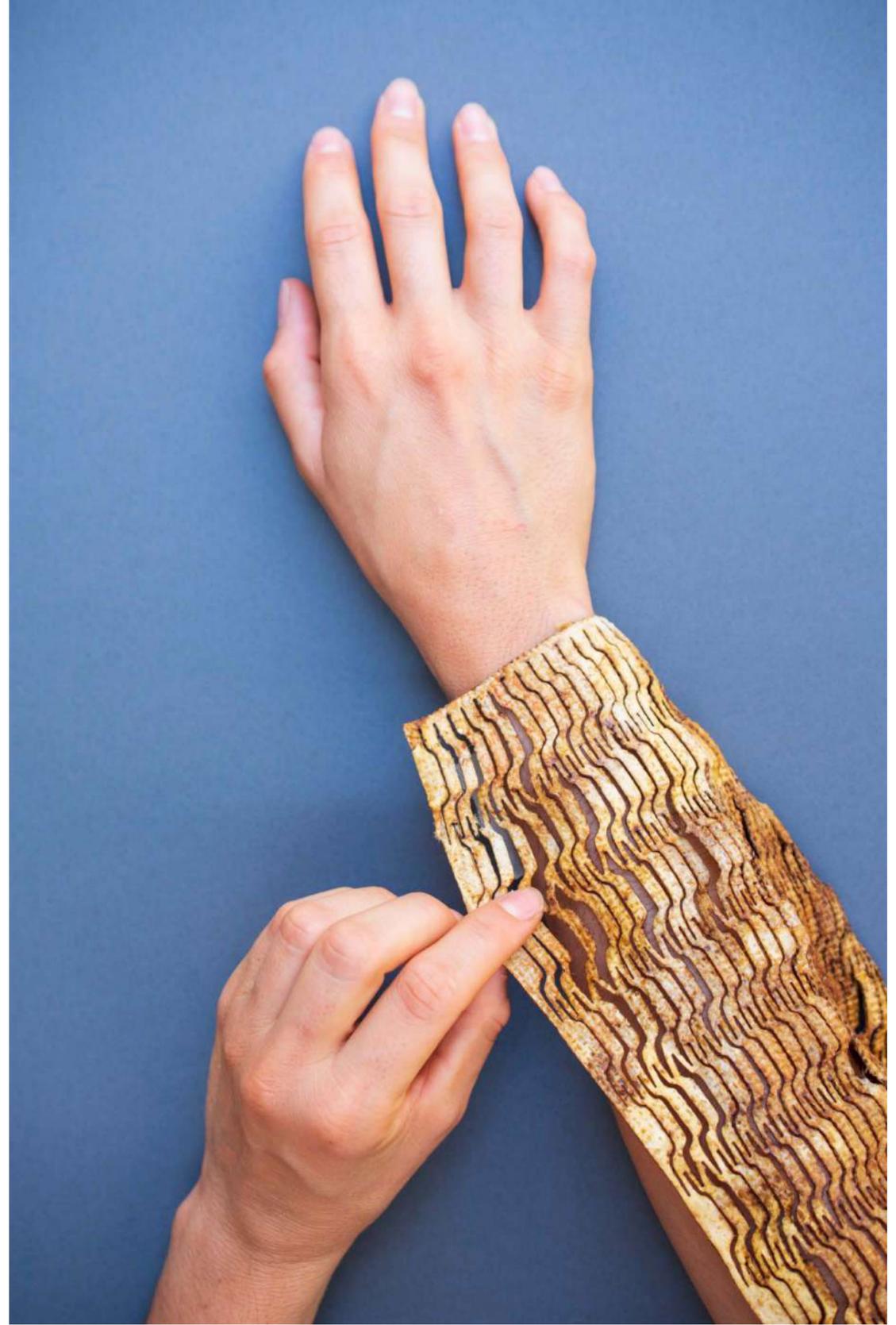
El conocimiento que poseemos sobre la diversidad de hongos en nuestro territorio es escaso. Sabemos gracias a un estudio a escala global realizado por Tedersoo y colaboradores (2014) que la riqueza de los hongos de suelo aumenta hacia el Ecuador y disminuye hacia los polos.

A pesar de esto, la diversidad de algunos tipos de hongos tales como los **saprófitos**<sup>10</sup>, **parásitos**<sup>11</sup> y **patógenos**<sup>12</sup> aumenta hacia latitudes mayores, tales como la Patagonia. En esta zona, los estudios relacionados a diversidad fúngica están mayormente representados por trabajos enfocados a la diversidad de levaduras, mientras que los estudios de diversidad de hongos **filamentosos**<sup>13</sup> son más bien acotados. Estos estudios suelen realizarse en bosques que están mayormente dominados por árboles del género *Nothofagus*, en donde se ha destacado el dominio del filo **Basidiomycota**<sup>14</sup> en las comunidades muestreadas y una amplia diversidad para el **filo**<sup>15</sup> **Ascomycota**<sup>16</sup> (Nouhra et al. 2013). Considerando lo anteriormente mencionado, creemos que como grupo podemos ser

un aporte en la visibilización del reino fungi de nuestro territorio, el cual es de una riqueza escuetamente explorada y de gran relevancia para nuestro ecosistema. Es por esto que esperamos poder seguir generando conocimiento tanto en la arista científica a través de estudios de diversidad fúngica y la exploración de nuevas posibles materialidades y aplicaciones a partir de los hongos, así como en la generación de material, plataformas e instancias colaborativas en donde todos podamos ser parte activa del explorar, experimentar y conocer.

Como grupo interdisciplinario y colaborativo hemos realizado a la fecha dos expediciones al parque Karukinka, contando con la participación de integrantes de agrupaciones tales como la Fundación Fungi, el Laboratorio de Biofabricación “Biofab” (PUC), el Laboratorio de Biología Sintética “Synbiolab” (PUC) y el Laboratorio de Biomateriales de Valdivia “LABVA”. Este parque se encuentra en la Patagonia chilena, Tierra del fuego, cuyas tierras se caracterizan por ser escasamente frecuentadas por la presencia humana, además de presentar una gran riqueza de especies fúngicas escuetamente exploradas. Uno de los principales objetivos de dichas expediciones fue el obtener muestras ambientales de distintos hongos, en donde privilegamos las muestras asociadas tanto a madera viva como a muerta. Para mayor detalle de la metodología, visitar el manual de biofabricación en <https://forms.gle/aK8zRFS9xaRs1ijPA>

El presente proyecto propone por una parte la investigación y desarrollo de un textil basado en micelio de hongo y por otra parte, el desarrollo de un instrumento científico de bajo costo para el cultivo de este textil. En este caso se desarrolla una Incubadora que controla temperatura y que permite monitorear temperatura y humedad a través de una plataforma web de visualización.



Aplicación de micotextil con corte laser





Exploraciones de forma y corte a través de técnicas de Fabricación Digital

Trametes versicolor cultivado en matriz de yute

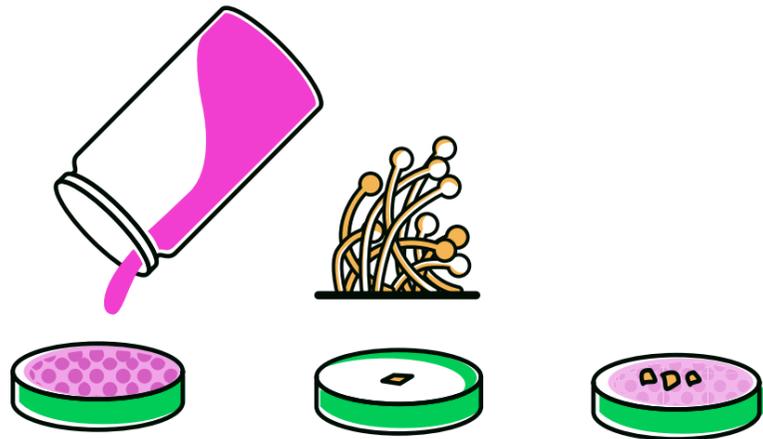


Nuestra aproximación consistió en utilizar una matriz de fibra vegetal (yute) sobre la cual crecer el micelio de los hongos de interés, colectados en el Parte Karukinka. Esta aproximación permite la obtención de estructura, soporte y alimento por parte de la fibra vegetal, permitiendo que el micelio crezca y colonice todo el sustrato de forma más o menos homogénea.

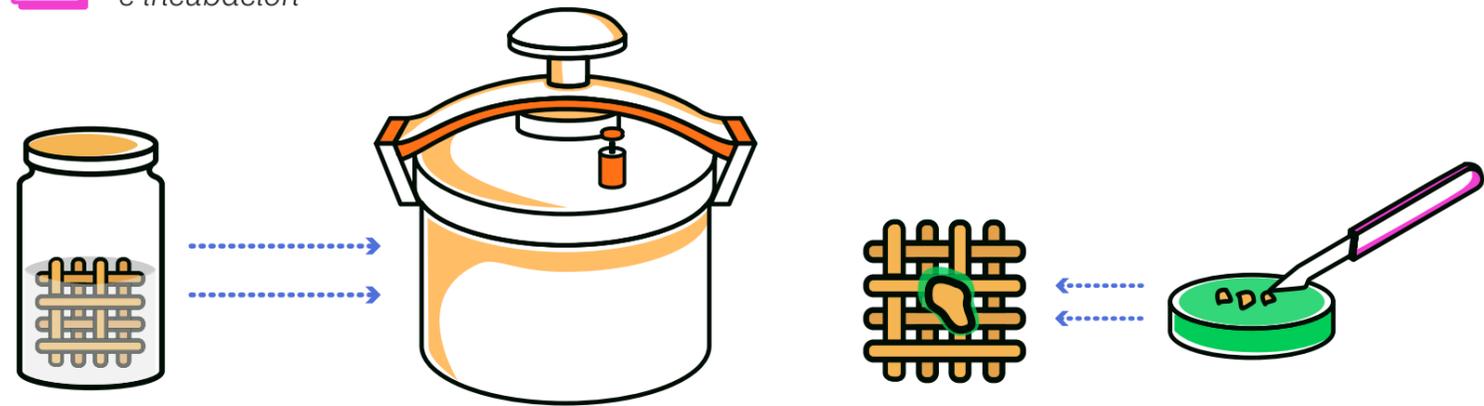
Además, se generó una segunda aproximación que consistió en crecer los hongos en medio líquido. Destacamos que esta aproximación no se pudo realizar con las especies obtenidas en los viajes, ya que todas presentaron problemas o nulo crecimiento en este tipo de medios. Considerando esto, decidimos utilizar un hongo filamentoso que tuviese las características de poder crecer en medios líquidos y generar una capa homogénea de micelio. De esta forma y en colaboración con el Laboratorio de Genética Fúngica y Biología Sintética del Instituto Milenio de Biología Integrativa, decidimos embarcarnos en la utilización del hongo *Neurospora Crassa*, el cual se encuentra ampliamente descrito y utilizado en biología molecular y genética de hongos. A pesar de esto, este hongo nunca se ha utilizado en la generación de biomateriales a la fecha, lo que abre una nueva arista en su amplia historia científica.

## ETAPAS DESARROLLO MICOTEXTIL

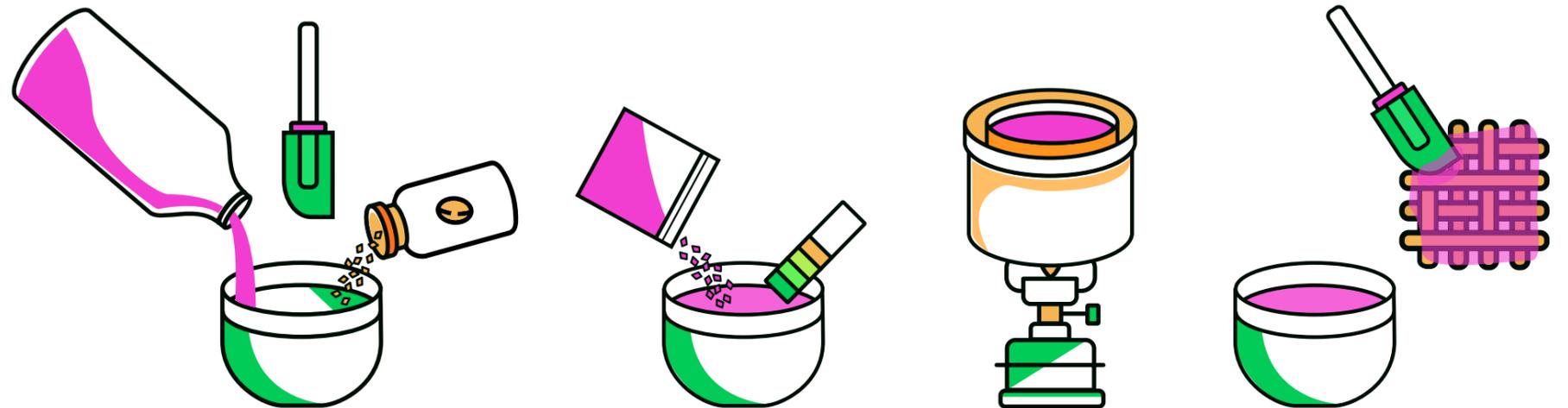
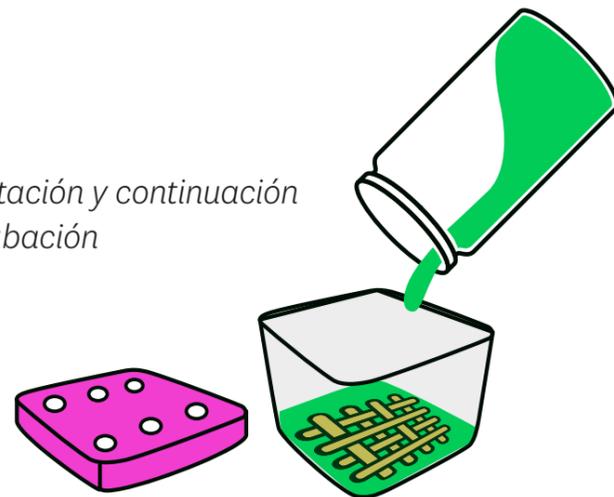
**1** Cultivo del micelio en PDA



**2** Inoculación de sustrato e incubación

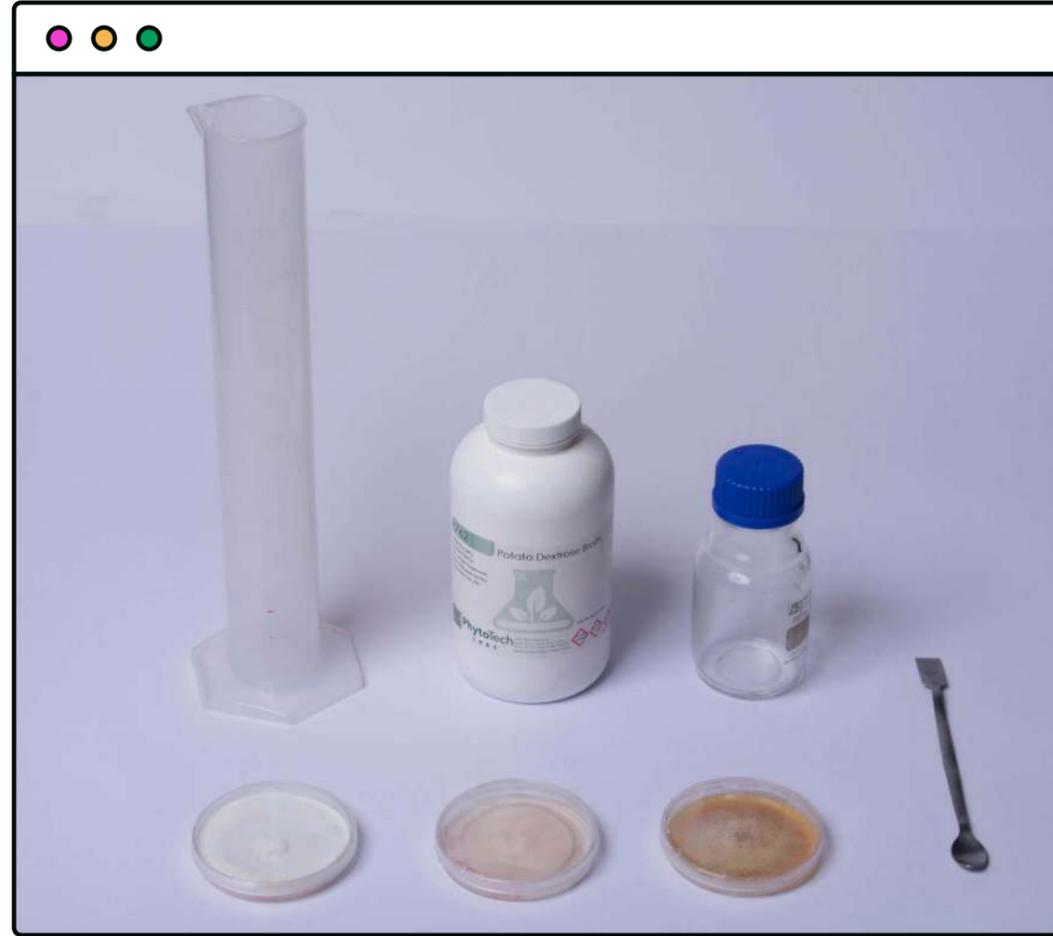


**3** Alimentación y continuación de incubación



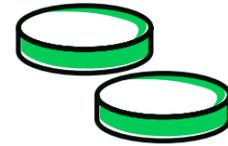
**4** Tratamiento (recubrimiento)

Resultado del cultivo,  
imagen referencial



PASO 1

# CULTIVO DEL MICELIO EN PDA



Placas de Petri



Parafilm



Frasco de laboratorio



Balanza digital de precisión (2 decimales)



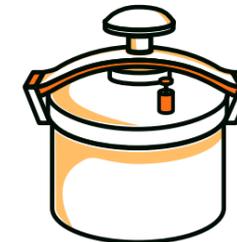
Agua desmineralizada



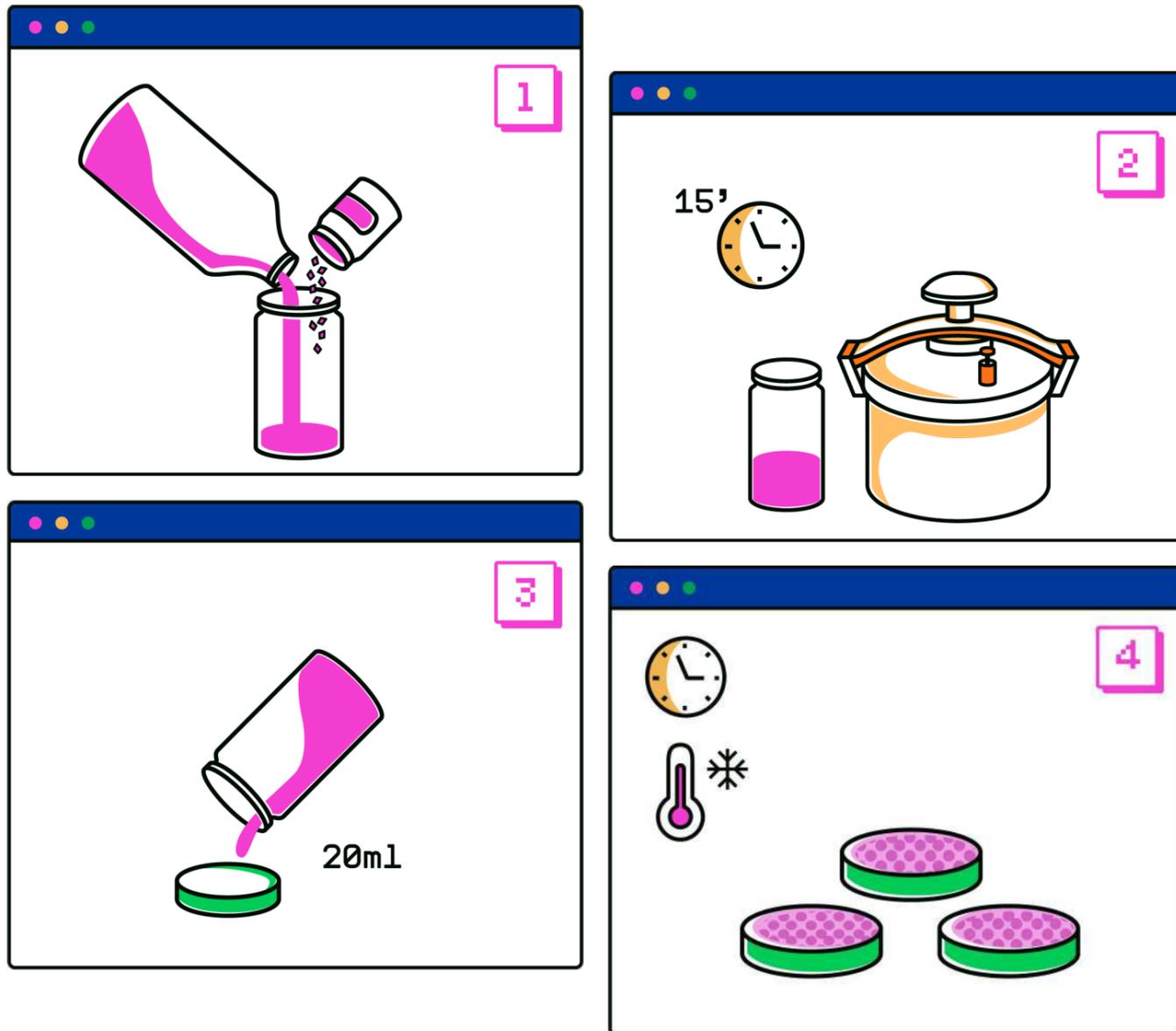
Medio de cultivo Agar papa dextrosa



Inóculo inicial micelio / cuerpo fructífero



Autoclave u olla a presión



## PREPARACIÓN DEL PDA

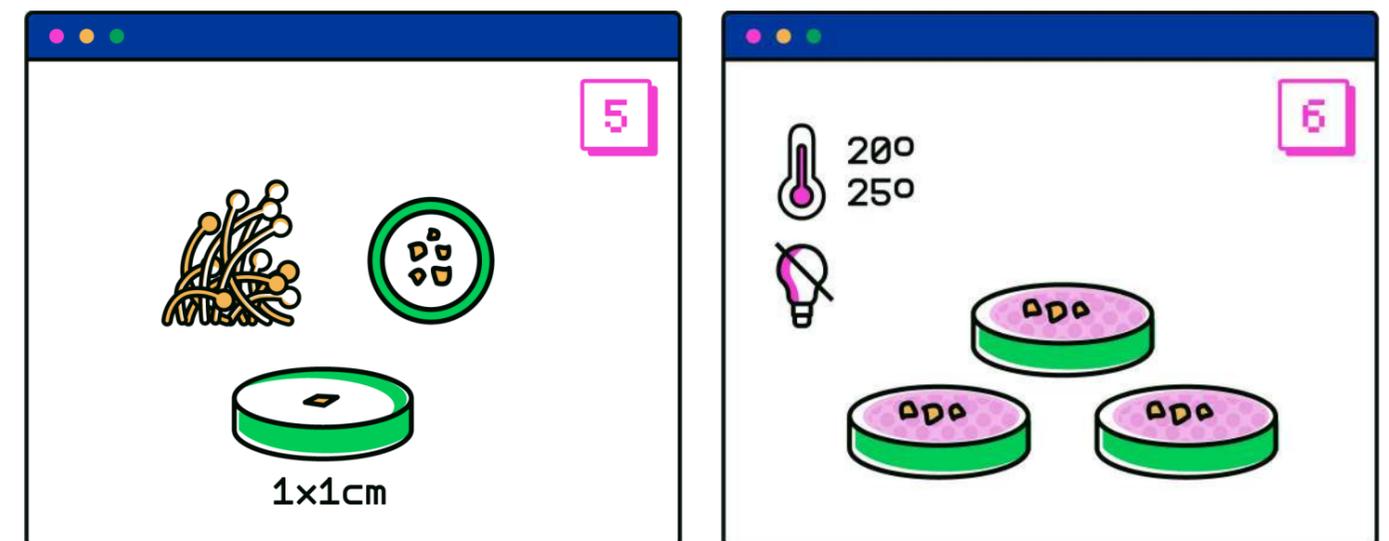
El medio PDA (por sus siglas en inglés “Potato Dextrose Agar”) debe ser masado en una balanza y disuelto en agua destilada según la información del proveedor y autoclavar por 15 minutos. Una vez entibado el medio líquido, se recomienda verter alrededor de 20 ml del medio por placa de petri en una zona estéril mientras el medio se mantiene tibio, obteniéndose placas con medio sólido una vez dicho medio se ha enfriado

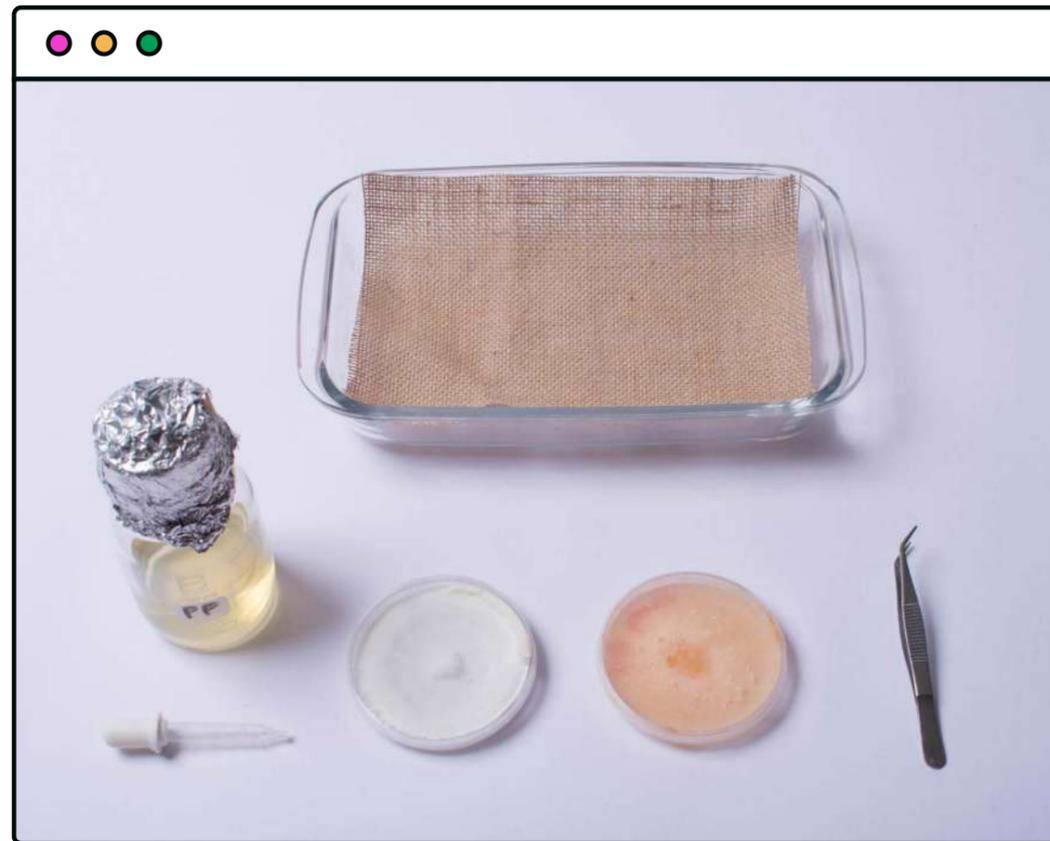
## INOCULACIÓN DEL MICELIO

Una vez obtenidas las placas con el medio solidificado se añade un trozo de aproximadamente 1cmx1cm de micelio, el que fue crecido previamente en placas de PDA (idealmente tomar una sección más joven de la placa, es decir, cercana a los bordes de ésta). Sellar las placas con parafilm para aislar del medio y mantener contenido de humedad. Luego de esto, se sugiere crecer el hongo de interés en condiciones de oscuridad constante y a una temperatura de crecimiento apropiada para el crecimiento del micelio. En caso de no encontrarse esta información en la literatura, sugerimos utilizar temperaturas de entre 20° C y 25°C hasta obtener casi la totalidad de la placa con PDA colonizada por el hongo de interés.

Para inocular micelio desde cuerpos fructíferos revisar el manual:

<https://forms.gle/aK8zRFS9xaRs1ijPA>

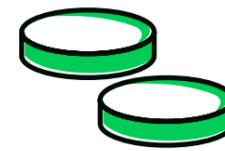




Sustrato listo para inocular,  
imagen referencial

## PASO 2

# INOCULACIÓN DE SUSTRATO E INCUBACIÓN



Placas de Petri



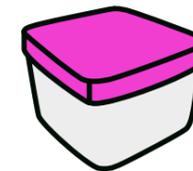
Medio de  
cultivo Líquido  
papa dextrosa



Frasco de  
laboratorio



Balanza digital  
de precisión  
(2 decimales)



Pyrex con tapa



Bisturí estéril



Pinzas



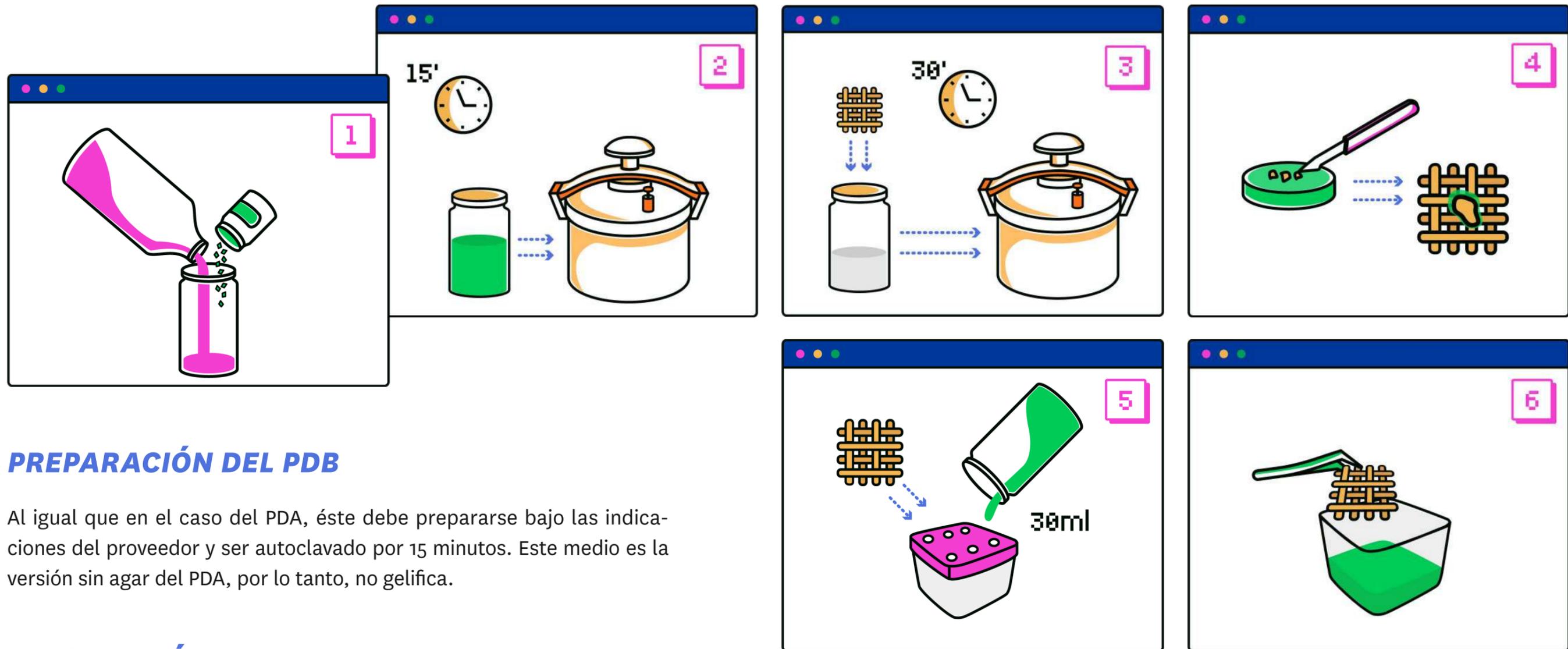
Parafilm



Yute



Inóculo  
del hongo  
seleccionado



## PREPARACIÓN DEL PDB

Al igual que en el caso del PDA, éste debe prepararse bajo las indicaciones del proveedor y ser autoclavado por 15 minutos. Este medio es la versión sin agar del PDA, por lo tanto, no gelifica.

## INOCULACIÓN DEL SUSTRATO

### [CASO 1]

### Crecimiento de *T. versicolor* en matriz suplementada con medio líquido

Usando tanto utensilios y en un ambiente estéril, se deposita un segmento de agar con micelio sobre un segundo medio. En este caso, el medio seleccionado corresponde a una matriz de yute, el que fue previamente autoclavado (en este caso, al ser un material con contaminación ambiental, se sugiere autoclavar por al menos 30min, vertiendo un poco de agua en el frasco que lo contenga).

El segundo medio a inocular debe estar contenido en un recipiente que pueda ser autoclavado y que permita aislar el inóculo y su medio del exterior (se recomienda utilizar un pyrex tipo fuente). Debido a que algunos hongos pueden requerir un mayor intercambio gaseoso que otros, se sugiere realizar agujeros al centro de las tapas del recipiente y rellenarlos con algodón siliconado o gasa estéril a modo de filtro.

Finalmente, se vierte cuidadosamente medio PDB en el recipiente (pyrex), evitando tener un exceso de medio que pueda perjudicar el crecimiento del hongo. Se recomienda rotar periódicamente el textil para que el hongo pueda colonizar la matriz de forma homogénea.



Vista lateral del crecimiento de  
*Trametes versicolor* en matriz de yute

## [CASO 2]

### Crecimiento de *Neurospora crassa* en medio líquido

Tal como se mencionó anteriormente, los recipientes donde se cultivará el micotextil deben estar estériles. Para el caso de *N. crassa* puede utilizarse papel alusa o un material similar para aislar el cultivo del medio exterior en vez de una tapa, tomando las precauciones de que la cubierta a utilizar no toque el medio de cultivo.

Se sugiere utilizar un recipiente tipo pyrex con 30 ml de PDB. Al momento de inocular se debe cortar un segmento pequeño de micelio desde las placas inoculadas previamente en “Inoculación del micelio”, procurando depositar el agar en el centro del recipiente. De esta forma se favorece una colonización radial uniforme que permite al micelio alcanzar el tamaño del plano recipiente, lo que luego favorece el aumento en volumen del hongo.

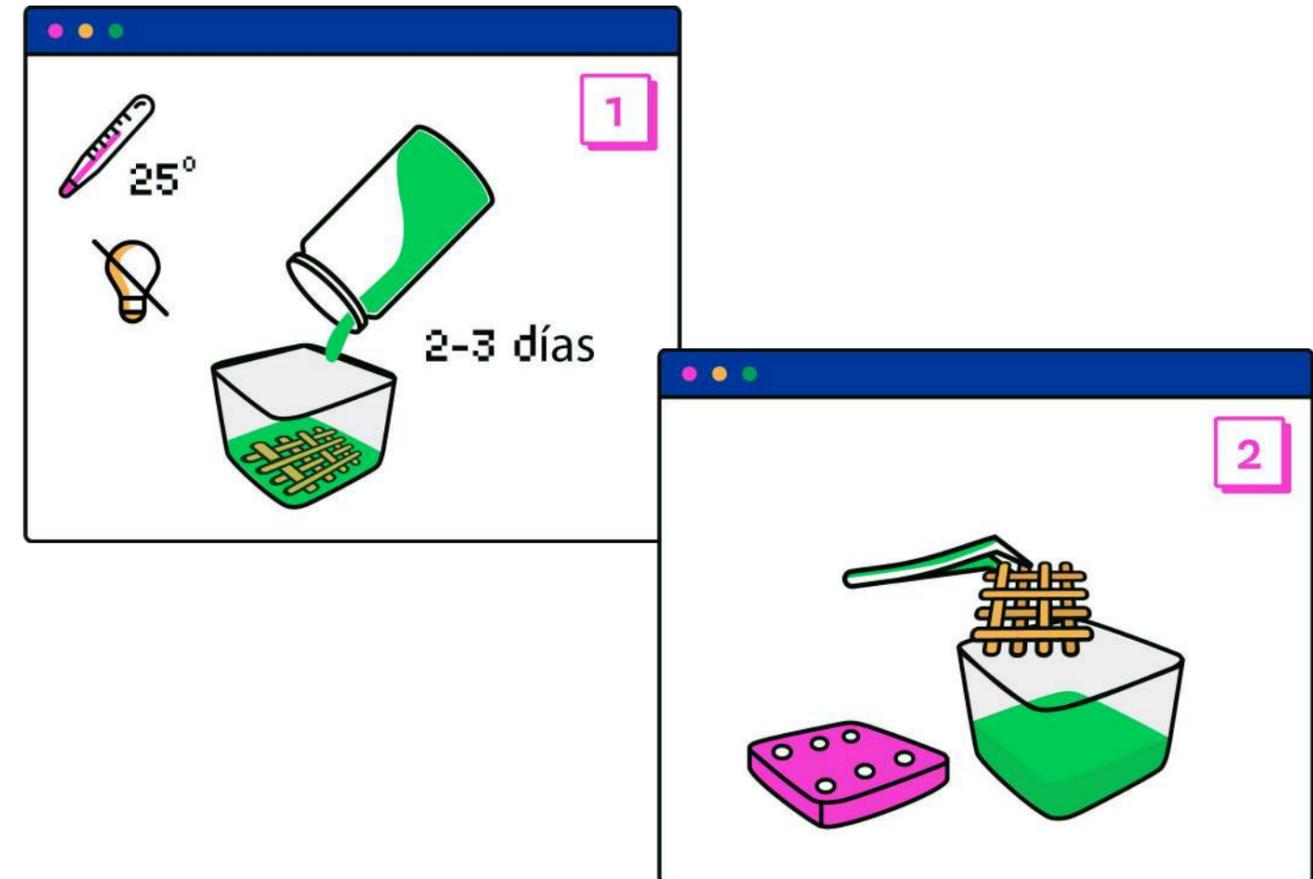
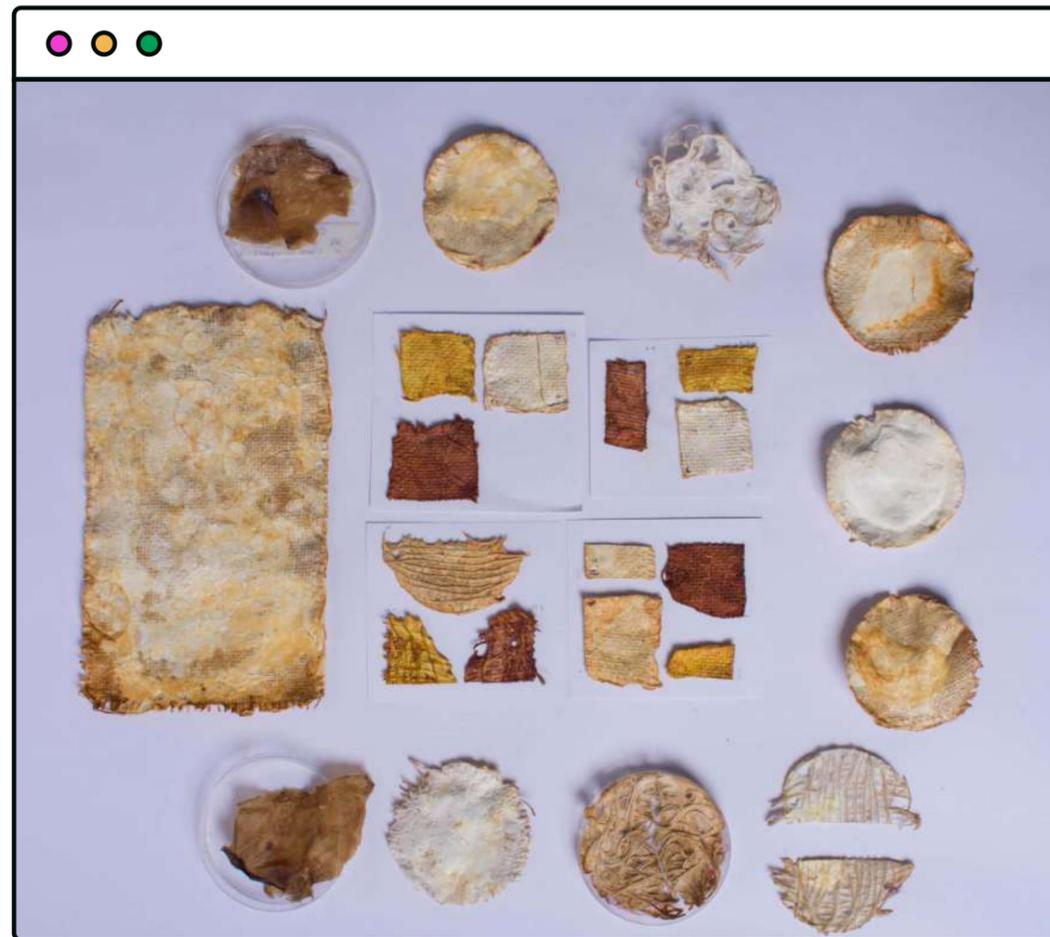


Vista lateral del crecimiento de  
*Neurospora crassa* en medio líquido

## PASO 3

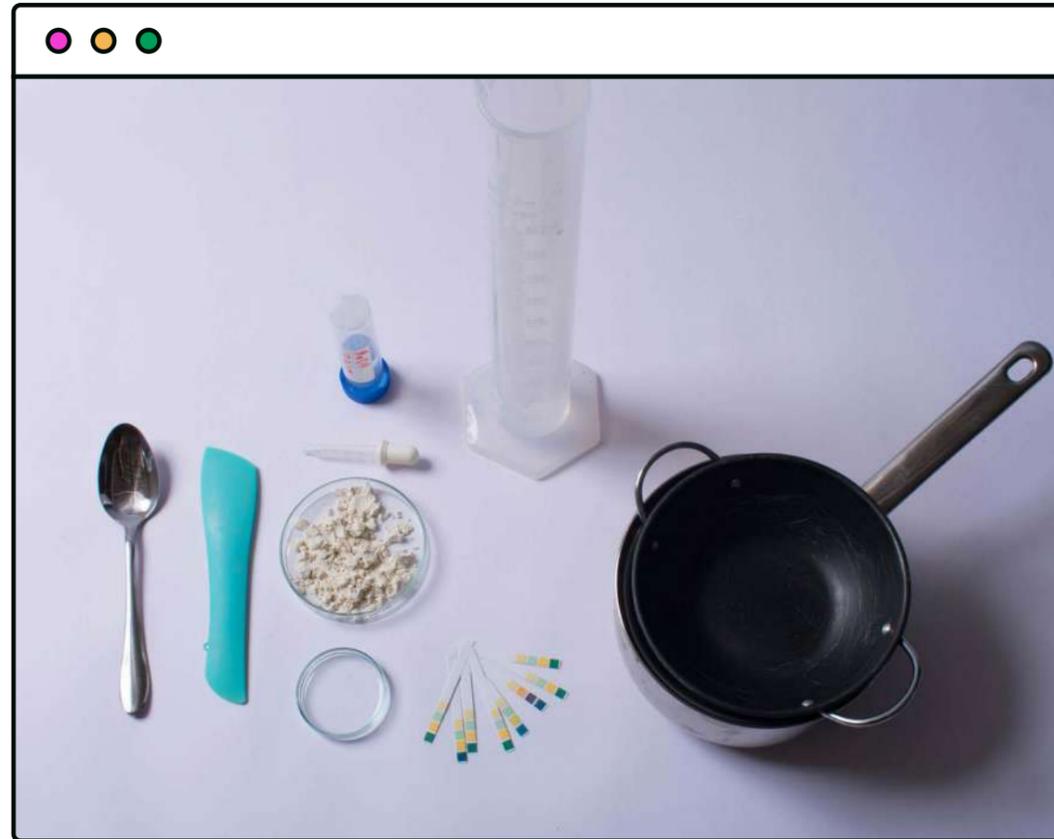
## INCUBACIÓN

Resultado del cultivo sobre diferentes matrices y procesos de films y coatings



Luego de inocular el sustrato, se recomienda crecer estos cultivos en condiciones de oscuridad y a una temperatura de 25°C de forma constante. Otro punto a considerar es que el cultivo requiere que se le adicione medio líquido de forma regular (cada 2-3 días) a modo que el micelio se mantenga humectado más no sumergido en el medio.

Tomando estas consideraciones en cuenta, el hongo de interés no debería secarse mayormente a lo largo del transcurso del cultivo, ni mucho menos morir por exceso de medio líquido.



Preparación de tratamiento,  
imagen referencial

PASO 4

# TRATAMIENTO



Cocinilla



Espátula o  
elemento  
mezclador



Glicerol



Proteína aislada de  
soya



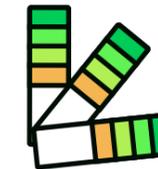
Agua  
desmineralizada



2,5 M hidróxido de  
sodio (NaOH)



Bowl para  
mezclar



Medidor PH



Balanza digital  
de precisión  
(2 decimales)



Autoclave u  
olla a presión



Termómetro



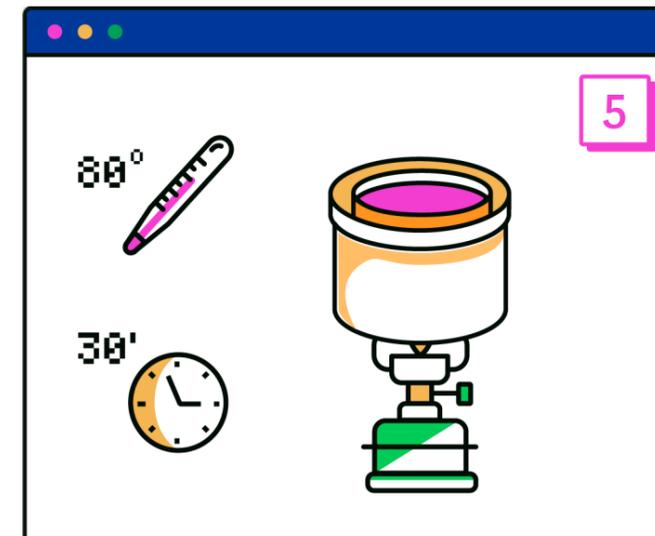
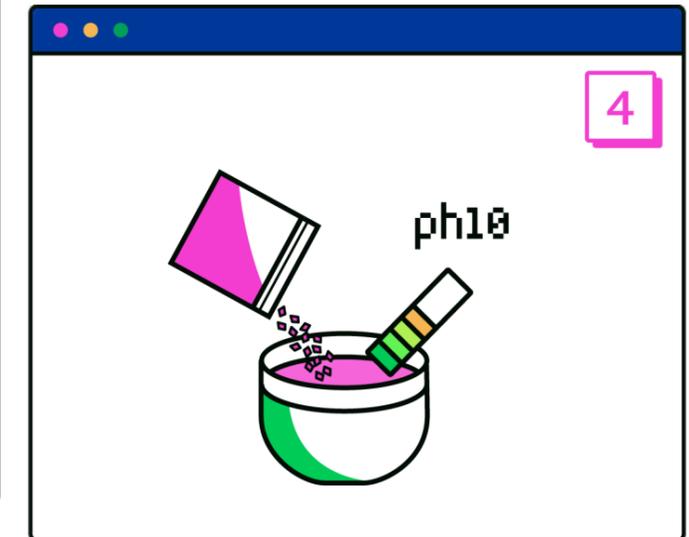
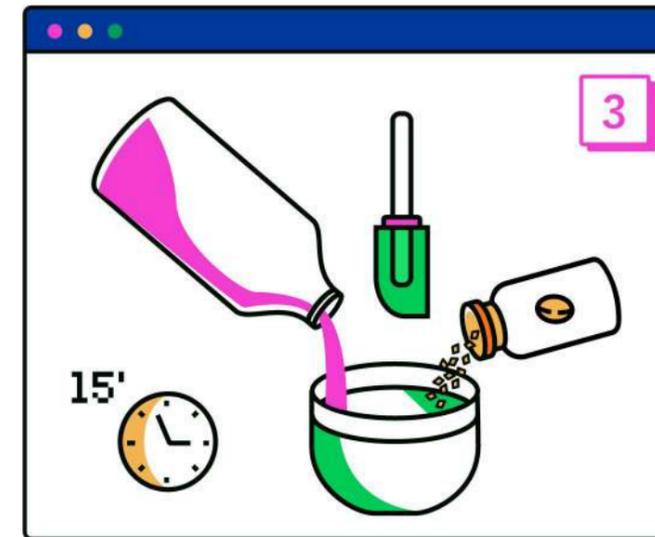
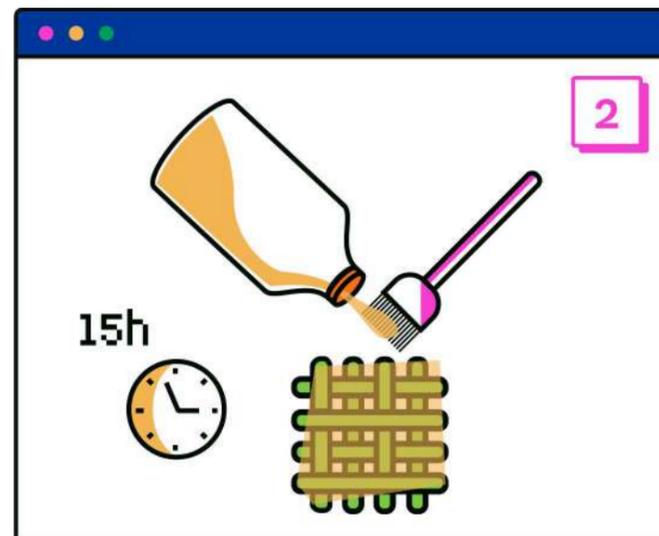
Gotario

## RECUBRIMIENTO

Se desarrolló un recubrimiento que consiste en proteína de soja, agua, glicerol e hidróxido de sodio. La receta es para aprox 106 g de mezcla; cantidad aproximada para recubrir 12 muestras de 8 cm de diámetro.

Se retira la muestra a tratar de la incubadora y de su respectivo recipiente y se aplica una fina capa de glicerina con la mano (utilizando guantes) o con un pincel de cocina, procurando que recubra de forma homogénea ambas caras de la muestra. Posteriormente dejar secando a temperatura ambiente, idealmente colgada.

Una vez seca (alrededor de 15 horas) se procede con la preparación del recubrimiento, añadiendo 10 g de proteína de soja aislada en 90 g de agua destilada (10% p/p), se revuelve por 15 minutos y se añade  $\text{NaOH}^{17}$  2,5 M para llevar la solución a  $\text{pH}=10$  (1,5 ml aprox) utilizando un medidor de  $\text{PH}^{18}$ .



Luego se lleva a baño maría a  $80^{\circ}\text{C}$  durante 30 min o justo en el punto que se pone viscoso, evitar que comience a formar grumos.

Se aplica una fina capa de esta mezcla sobre las muestras (esperamos poder estandarizar esta cantidad), y posteriormente se deja secar a temperatura ambiente por 15 horas (de preferencia colgado). La mezcla comienza a gelar rápidamente al enfriarse, por lo que se recomienda recubrir rápidamente para evitar grumos en la superficie.

**<sup>17</sup>NaOH:**

hidróxido de sodio, sal comúnmente conocida como “soda cáustica”. Se utiliza para aumentar el pH de una solución debido a que aumenta la cantidad de iones OH<sup>-</sup> disueltos.

**<sup>18</sup>pH:**

escala de acidez/ alcalinidad que va del 1-14, siendo entre 1-7 ácido, 7 neutro, y entre 7-14 alcalino o básico. Se mide según la concentración de iones H<sup>+</sup> (hidrógeno) que están asociados a acidez, o iones OH<sup>-</sup> (hidroxilo) asociados a alcalinidad, disueltos en la solución. Para neutralidad (pH=7), la cantidad de H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> es igual.

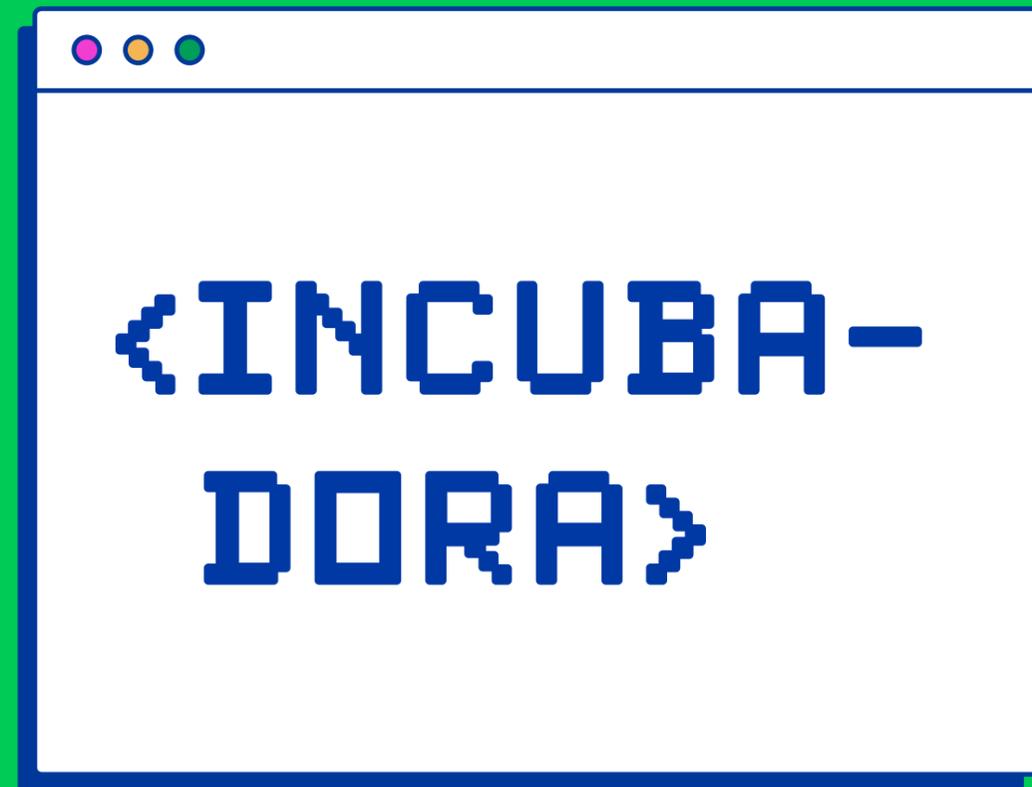
Después de aproximadamente un mes de incubación, el micelio coloniza el sustrato. Los hongos están conformados por alrededor de 90% de agua, por lo tanto para ser utilizado como material y mantener propiedades como flexibilidad es necesario retener cierto porcentaje de humedad. Es por esto que fue necesario buscar un tratamiento final que mantuviera humedad y las propiedades del micelio, además de cierta protección debido a que actúa como barrera ante el medio externo.

Lo más fácil sería pensar en plastificantes utilizados en la industria textil, pero suelen ser tóxicos y corrosivos. Debido a esto buscamos alternativas y nos basamos en la industria alimenticia y farmacéutica, que mediante ingeniería de alimentos desarrollan múltiples “packagings” o envolturas que recubren las frutas, verduras, píldoras, entre otros, que permiten su transporte a largas distancias y mantienen íntegras sus diversas propiedades organolépticas y químicas, pudiendo perdurar incluso años en el caso de píldoras o remedios. Por estas razones, dichos envoltorios deben ser digeribles por el organismo, lo que hace que estos compuestos no sean mayormente tóxicos ni dañinos para el ecosistema, ya que suelen provenir de fuentes naturales y/o biodegradables. La mayoría tiene como base proteínas, polisacáridos y lípidos provenientes de plantas y a veces animales, variando según las propiedades que se quieren mantener, como lo son el olor, sabor, humedad, permeabilidad de oxígeno, entre otros. En algunos casos puede añadirse plastificantes o emulsificantes que otorgan principalmente flexibilidad y homogeneidad al recubrimiento. Algunas proteínas utilizadas son gluten de trigo o maíz, zeína, colágeno, proteína

de soja, caseína, keratina, entre otras, mientras que para el caso de plastificante y emulsionante se utilizan polioles (alcoholes con varios grupos hidroxilo) como polietilenglicol y glicerol, ácidos grasos, aceites, etcétera (*Protein-Based Films And Coatings*, 2002).



*Película compuesta de proteína aislada de soja, con glicerina como plastificante*





*Fase de incubación: micelio creciendo en fibras, sobre bandeja de incubadora*

Diseñar y fabricar equipamiento científico de bajo costo y código abierto es una parte fundamental de nuestro trabajo y en este proyecto se torna esencial el poder acceder a un artefacto que pueda controlar y monitorear temperatura y humedad. Esto porque el cultivo de micelio de hongo requiere condiciones ambientales ideales para poder replicar de mejor forma recetas de materiales. Por eso se desarrolló una incubadora para que nuestro propio material sea a su vez de código abierto y así las condiciones ambientales de crecimiento se puedan replicar en otros lugares. Además al ser un equipo para experimentaciones y testeos, poder monitorear y visualizar la información es clave para los procesos de investigación.

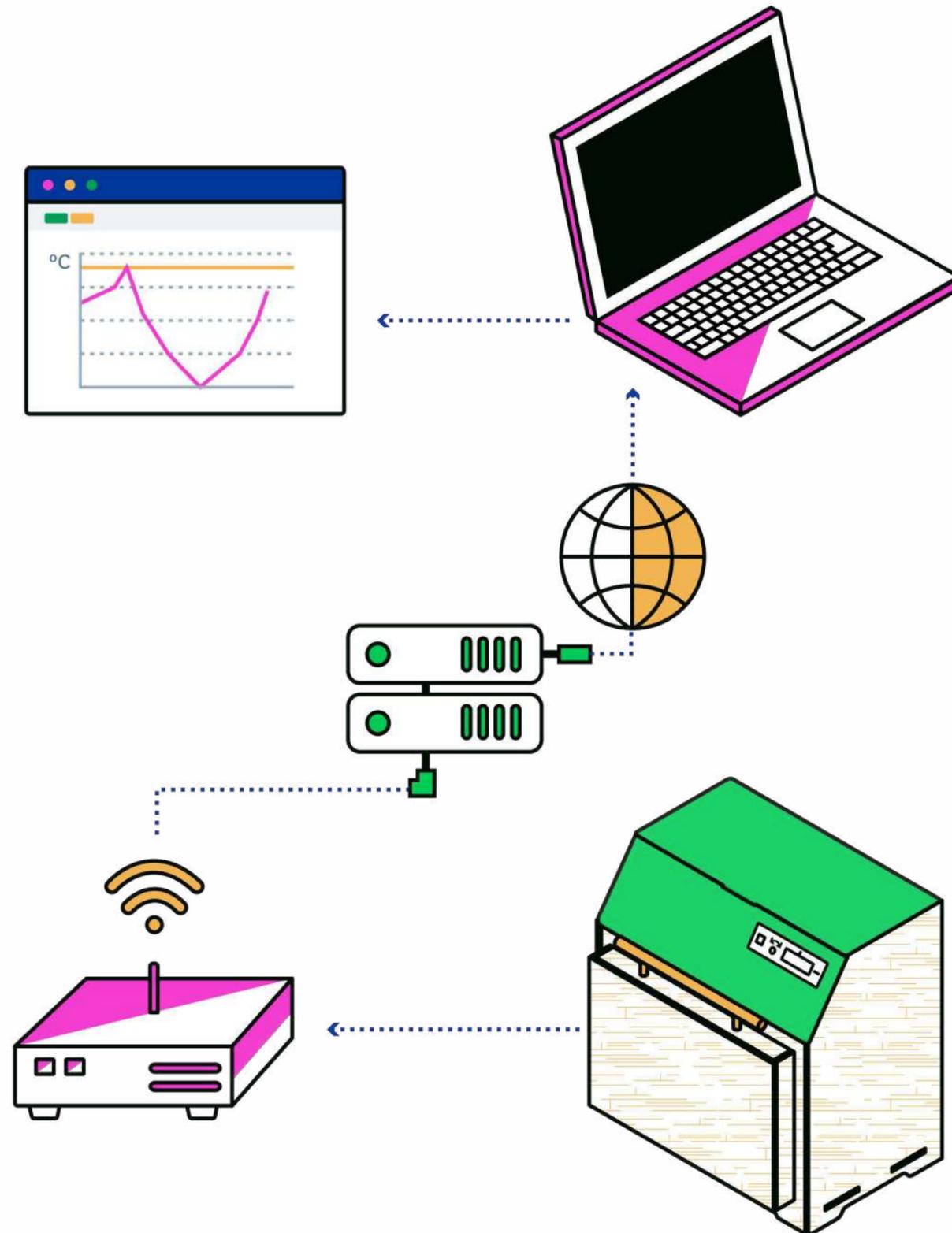
La incubadora Bioincub 1.0 es un prototipo que para su fabricación necesita de distintos archivos (planos, código, etc) por lo tanto este manual se complementa con Links para acceder al repositorio <https://osf.io/r72y3/> donde están todos los archivos necesarios.

La Bioincub 1.0 se compone de tres partes y en este manual encontrarás los pasos para desarrollar todas.

### **Requerimientos**

#### **propuestas del Prototipo:**

- Volumen 30-40 Litros
- T° Interior ideal de 25°C para crecer micelio (rango programado 10-30°C)
- Humedad Interior 65-80%
- T° exterior más desfavorable >30°C (Santiago, Chile)



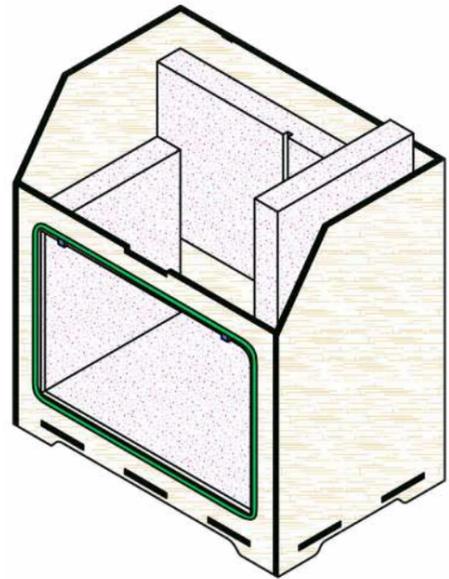
## **I. Y II. PROTOTIPO INCUBADORA (HARDWARE Y SOFTWARE)**

Estructura de madera MDF con aislación y cámara interior, que en su cara superior contiene todo el Hardware de funcionamiento. Este regula temperatura usando celdas Peltier (bomba de calor termoeléctrica activa de estado sólido que transfiere calor de una cara del del dispositivo a la otra) y básicamente consiste en dos “sandwich Peltier” conectados a un Puente H que regula la energía e invierte la corriente para enfriar o calentar a través de la señal que envíe el controlador WemosD1 wifi, según lo que el usuario determine en la pantalla de menú. Esta respuesta - enfriar o calentar- se genera comparando la  $T^\circ$  requerida por el usuario con la  $T^\circ$  que lee el sensor que se encuentra al interior de la incubadora, a su vez, los datos del sensor son subidos vía wifi a una plataforma de visualización.

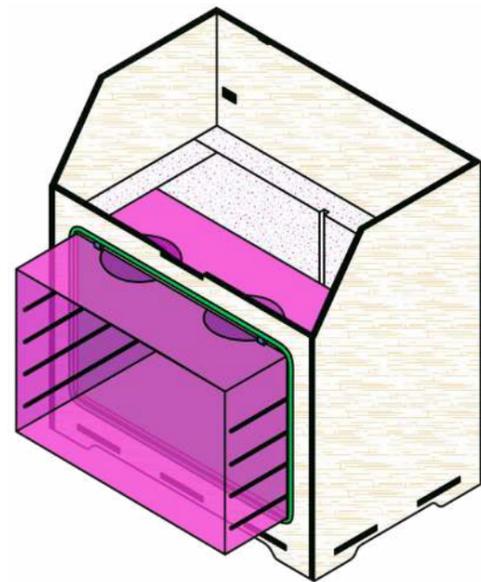
## **III. PLATAFORMA DE VISUALIZACIÓN DE DATOS (SOFTWARE)**

La misma WemosD1 Wifi envía los datos del sensor a un servidor y de ahí se suben a una Appweb desarrollada en este proyecto. Podrás añadir incubadoras con su propio ID, ver tablas y gráficos y revisar los datos en los rangos de fechas que tu selecciones, pudiendo analizar data según los tiempos de tus experimentos.

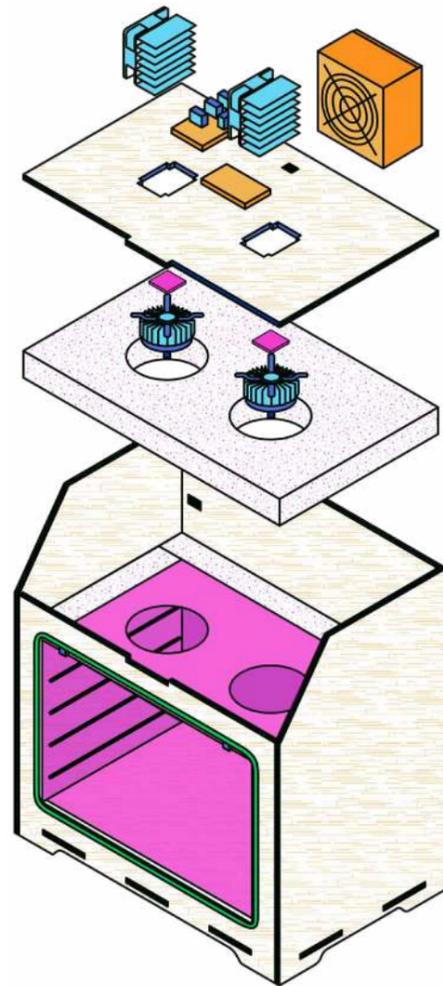
## ARMADO GENERAL



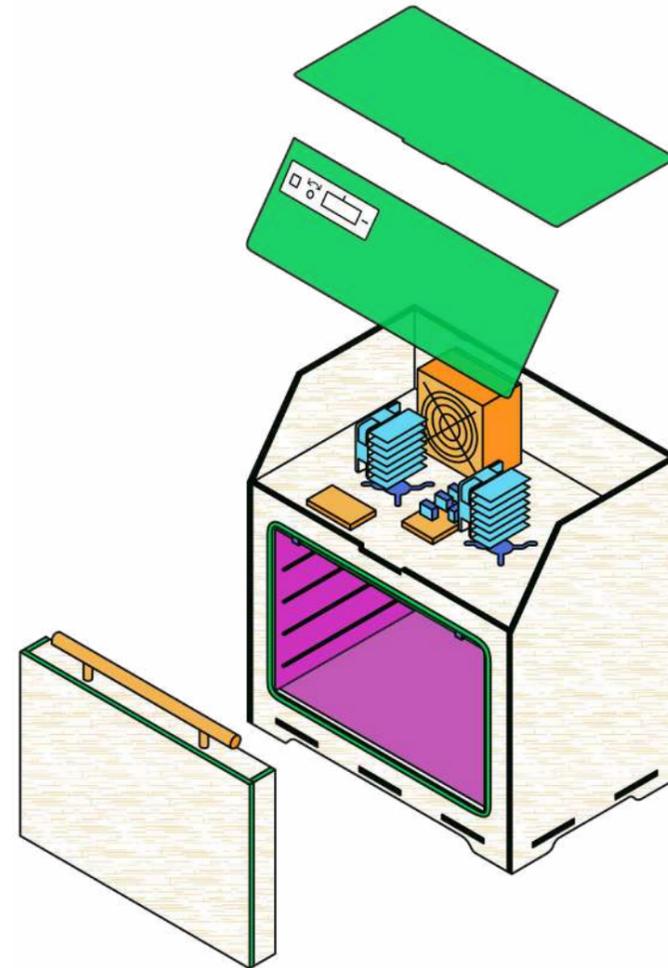
**1** Armado de cuerpo +  
aislación sin las tapas



**2** Introducción de caja interior  
pasando sensor con su cable

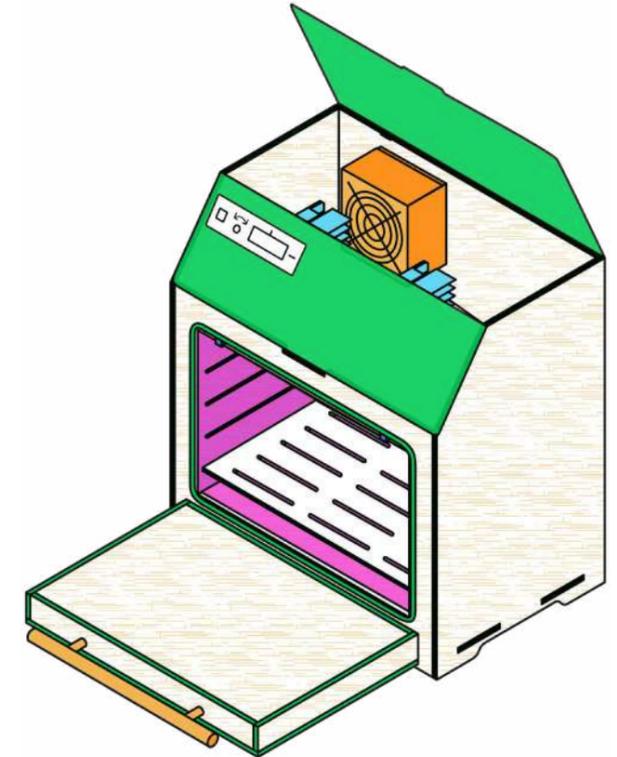


**3** Armado de "sandwich" de  
disipadores y placas peltier sobre  
tapa de cuerpo y aislación

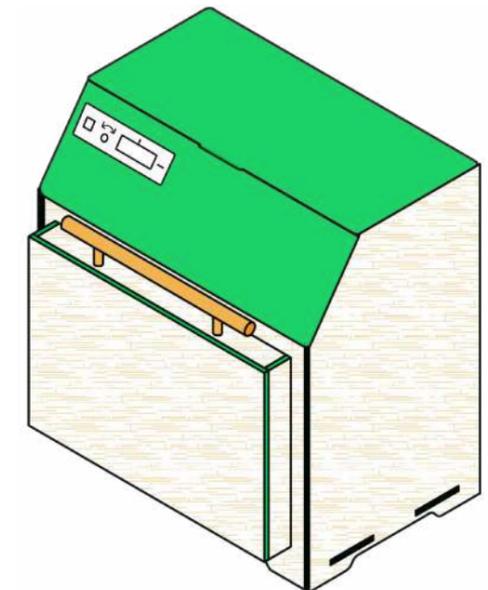


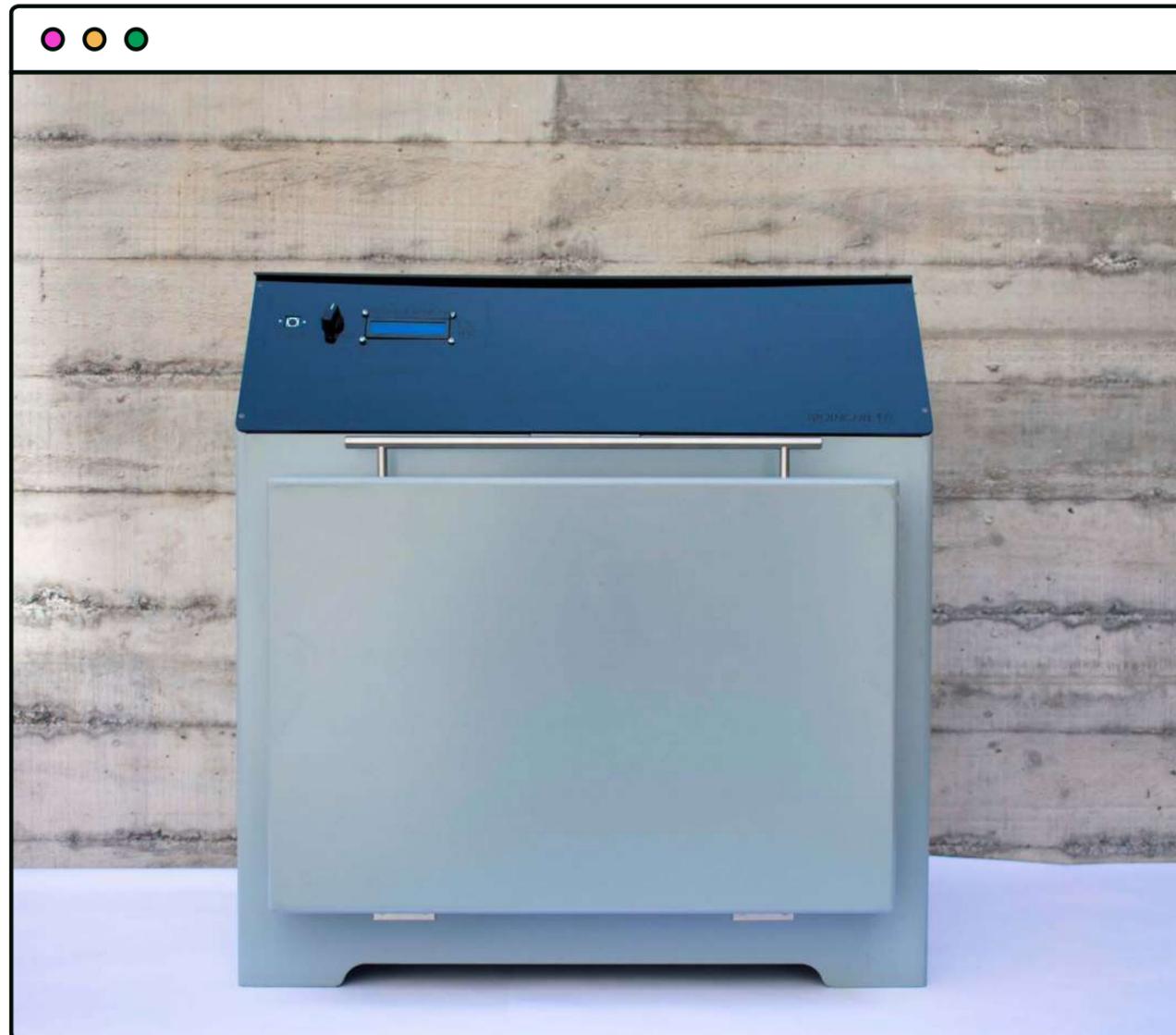
**4** Montaje electrónica, instalación de  
tapa acrílica abatible y panel de menú  
desmontable, e instalación de puerta

**5** Postura de bandejas al interior, revisión  
de conexiones del hardware y fijación de  
elementos del panel de control



**6** Enchufar a fuente de poder y  
encender, testear temperatura y  
comprobar data en la AppWeb





Vista Frontal Bionincub 1.0

## PASO 1

# ESTRUCTURA ENVOLVENTE

Descarga los planos para corte laser en el siguiente enlace:

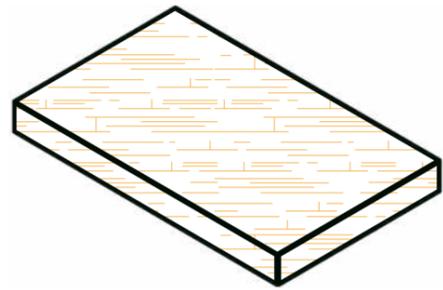
<https://osf.io/6e28g/>

El archivo se encuentran en formato CAD y vienen en unidad de milímetros, en este archivo encontrarás los planos de fabricación para:

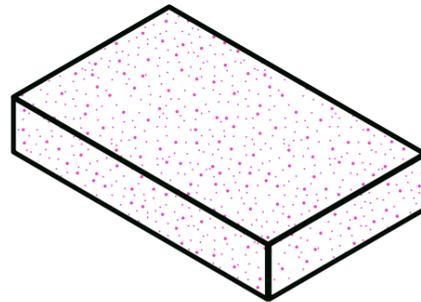
- Cuerpo (MDF 9mm)
- Puerta (MDF 9mm)
- Caja Aislación (Plumavit 50mm)
- Caja interior (Acrílico 2mm)
- Cubierta superior y Panel de control (Acrílico 3mm)
- Bandejas (Acrilico 5mm)

## MATERIALES

Archivo de despiece de costos y materiales: <https://osf.io/5h6qk/>



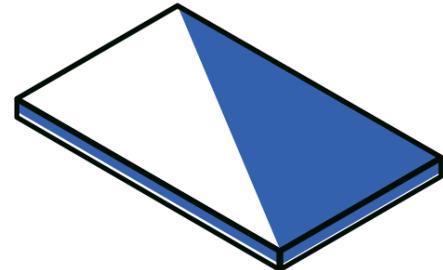
Placa MDF  
9mm - 152 x 244 cm  
(cuerpo exterior y puerta)



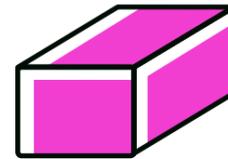
Plumavit alta densidad  
50mm - 50 x 100 cm  
(aislación)



Imán neodimio circular  
5 x 2 mm



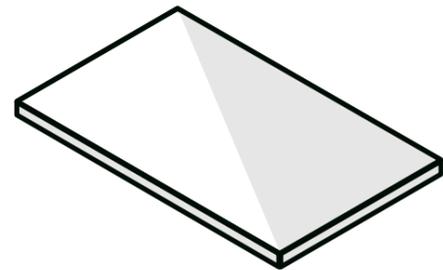
Placa Acrílico negro  
traslucido  
3mm - 45 x 60 cm  
(ambas tapas)



Imán neodimio  
15 x 10 x 1 mm



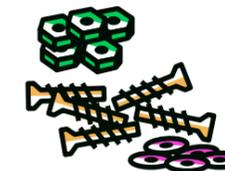
Tornillos cabeza Phillips  
1/4" - 10 unidades



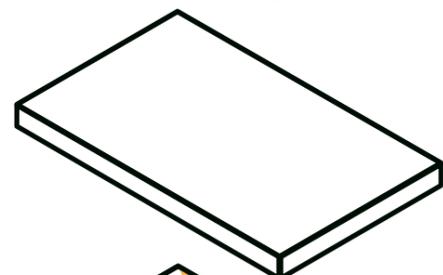
Placa Acrílico blanco  
2mm - 40 x 60 cm  
(caja interior)



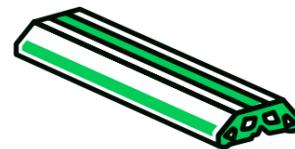
Imán neodimio  
13 x 9 x 6 mm



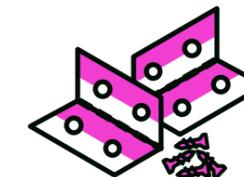
Pernos M3 + tuerca  
+ golilla  
40 mm



Placa acrilico  
transparente  
5mm - 40 x 60 cm  
(bandejas)



Burlete de goma negro  
5 x 14 mm - 2 mts



Bisagras para Puerta  
50 x 18 mm  
(con tornillos)

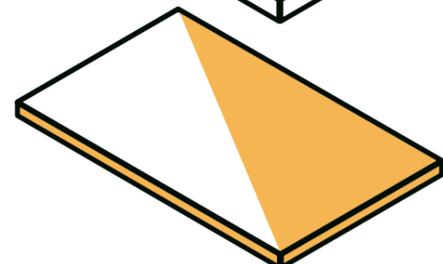
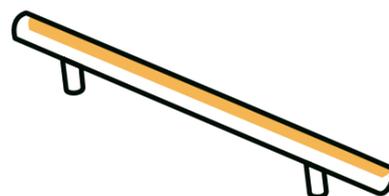
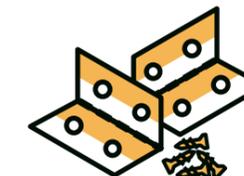


Lámina PAI  
0.5 mm - 40 x 60 cm

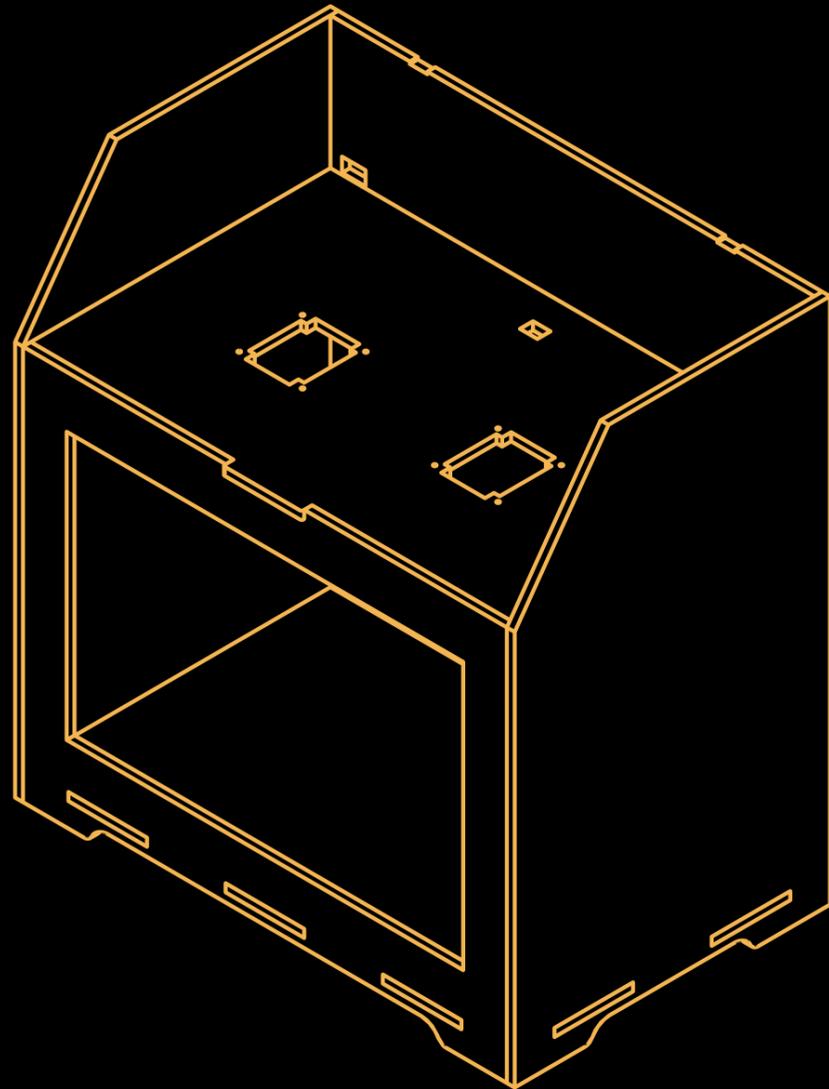


Tirador de acero  
inoxidable tubular  
380 mm

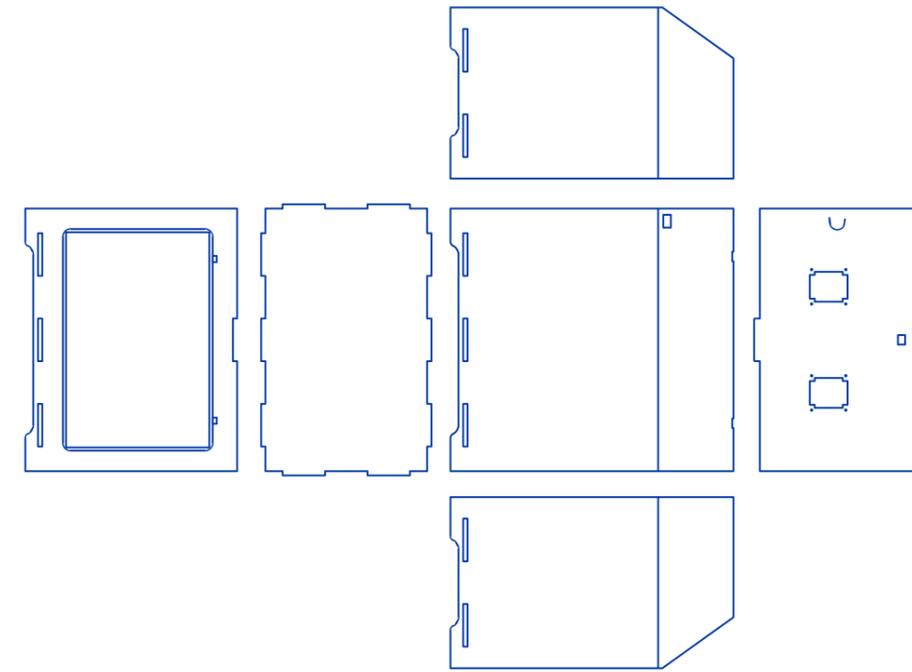


Bisagras para tapa  
Acrilica 26 x 10 mm  
(con tornillos)

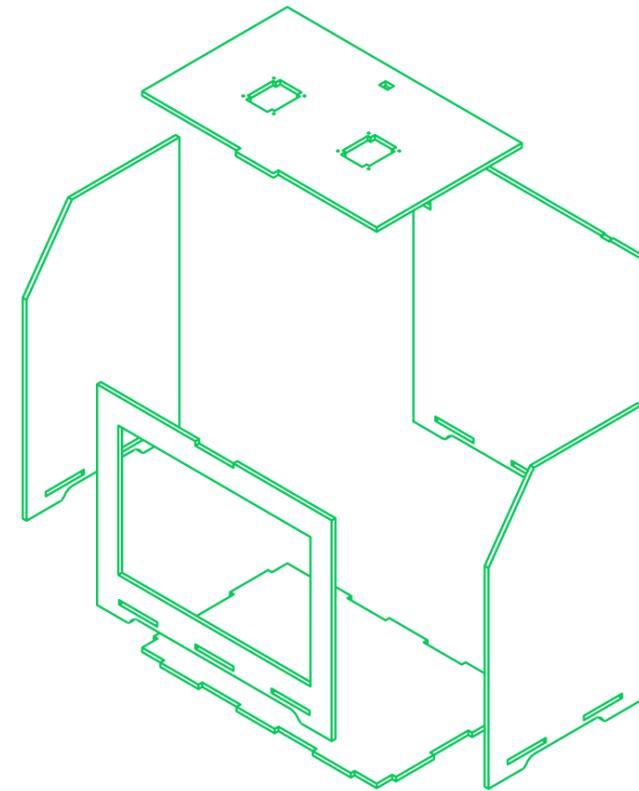
# CUERPO (MADERA MDF 9MM)



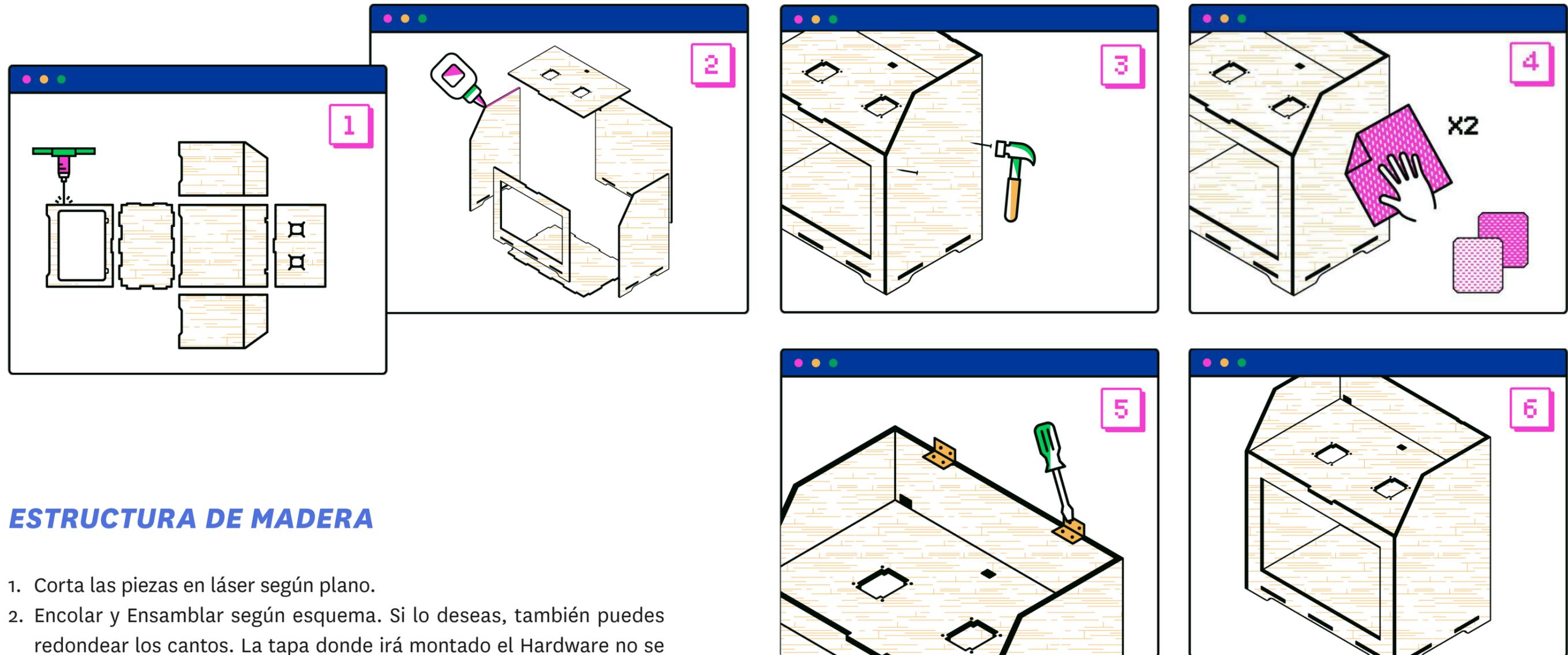
Modelo referencial



Piezas del plano



Esquema de ensamblado

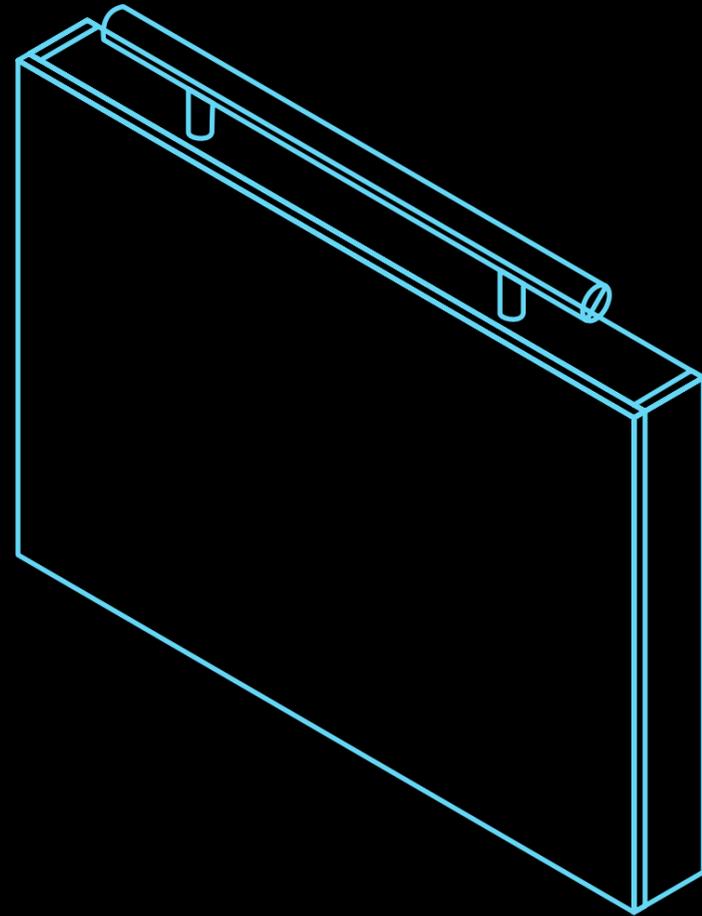


## ESTRUCTURA DE MADERA

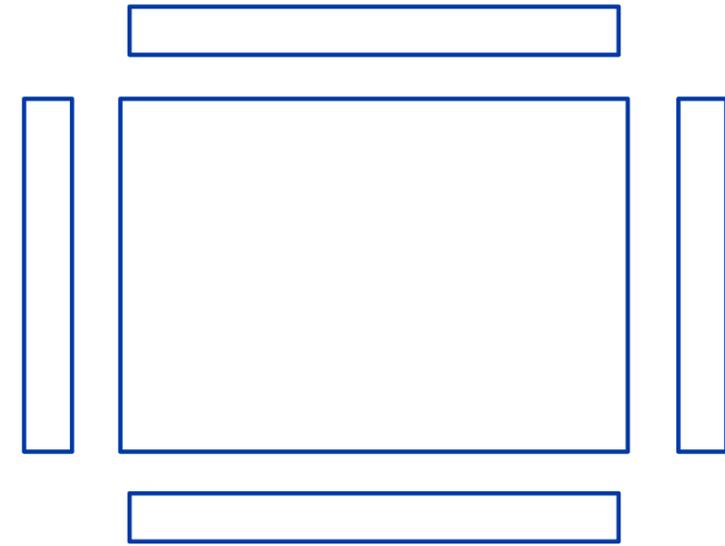
1. Corta las piezas en láser según plano.
2. Encolar y Ensamblar según esquema. Si lo deseas, también puedes redondear los cantos. La tapa donde irá montado el Hardware no se pega, sólo va sobrepuesta por encima de la aislación (ver armado general)
3. Clava puntas  $\frac{3}{4}$ " en cantos para reforzar el encolado
4. Lija toda la superficie a la vista con lija fina (400 y luego 1000), luego sella la madera con diluyente a la Piroxilina aplicando con paño (2 capas mínimo). Pinta si quieres darle un acabado más personalizado.
5. Atornilla las bisagras para la tapa de acrílico en los sacados del canto

6. Pega con pegamento Epóxico, el burlete de goma alrededor de la puerta según dibujo en planos. Deja secar y fija temporalmente con maskintape para mantener el burlete presionado contra la superficie. Realiza lo mismo para pegar los imanes grandes, ubícalos según dibujo en plano.

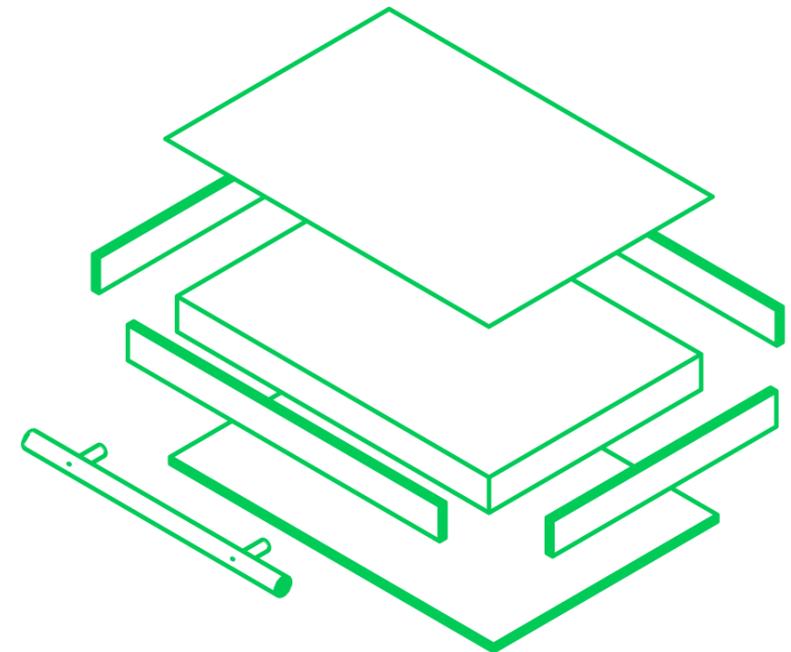
# PUERTA (MADERA MDF 9MM)



Modelo referencial



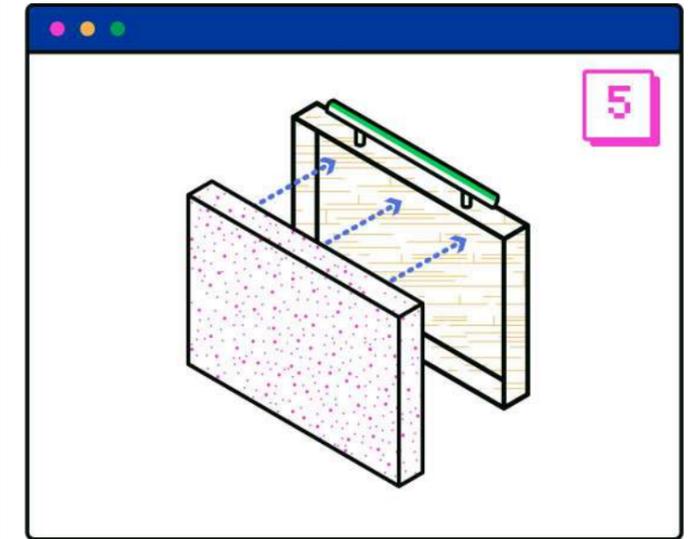
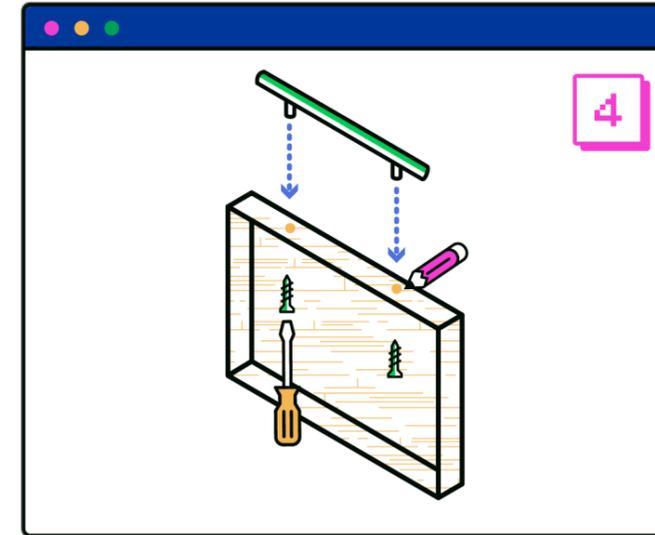
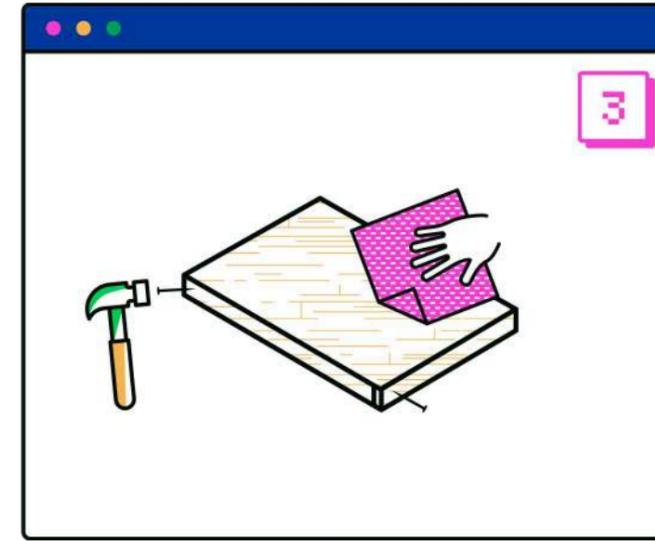
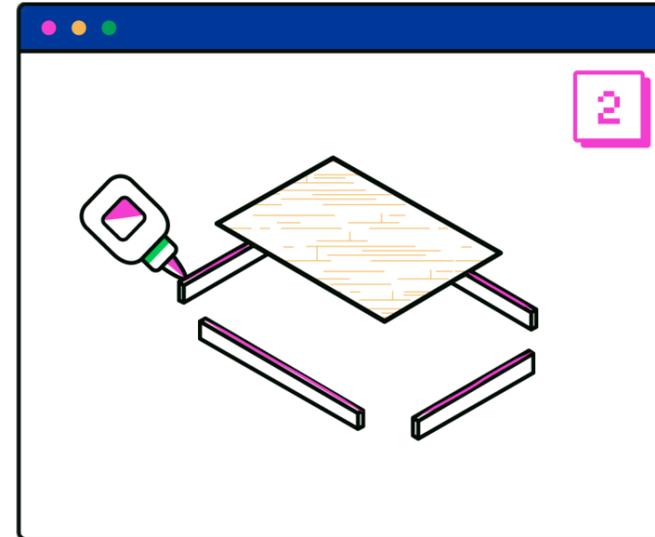
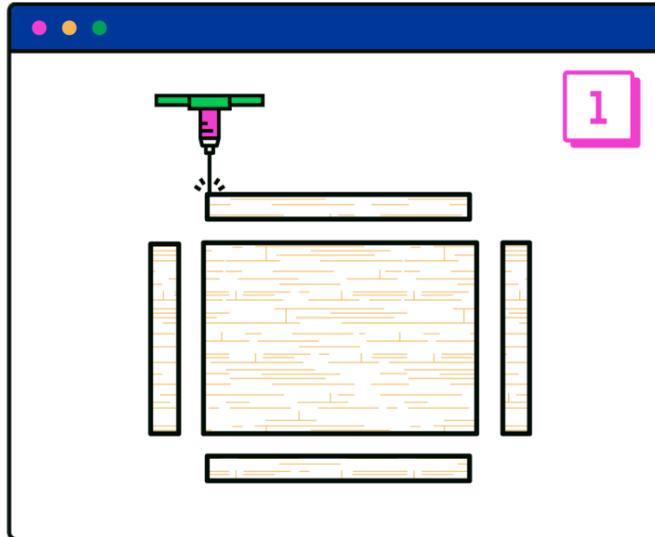
Piezas del plano



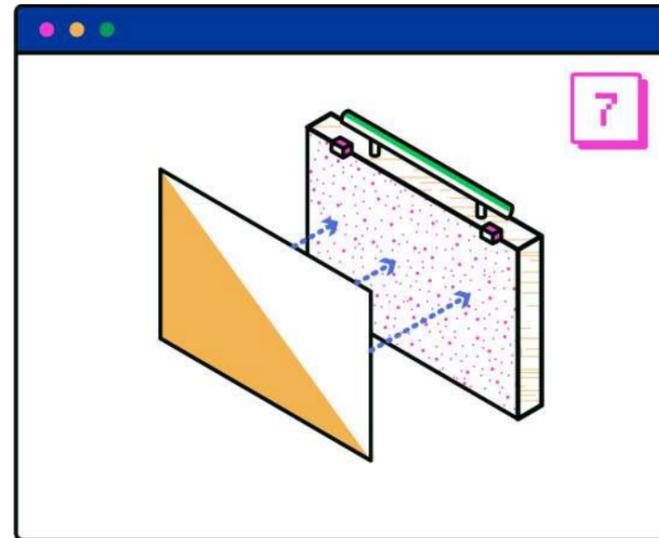
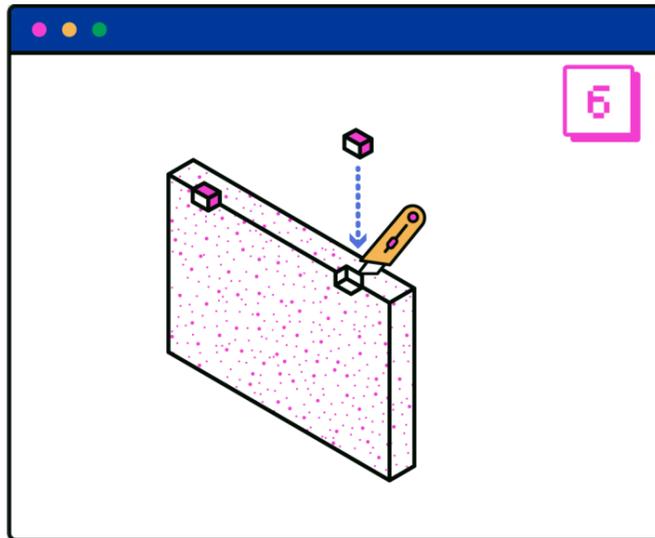
Esquema de ensamblado

## ARMADO DE PUERTA

1. Corta las piezas en láser según plano
2. Encolar y Ensamblar según esquema. Si lo deseas, también pueden redondear los cantos.
3. Clava puntas  $\frac{3}{4}$ " en cantos para reforzar el encolado y lija toda la superficie a la vista con lija fina (400 y luego 1000)

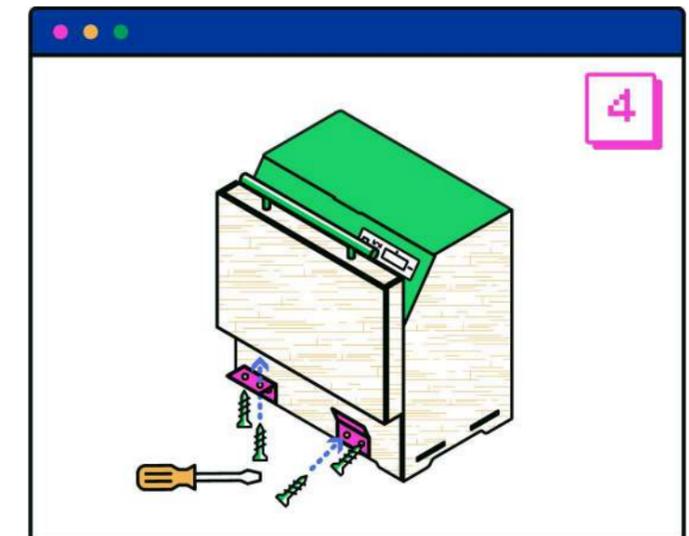
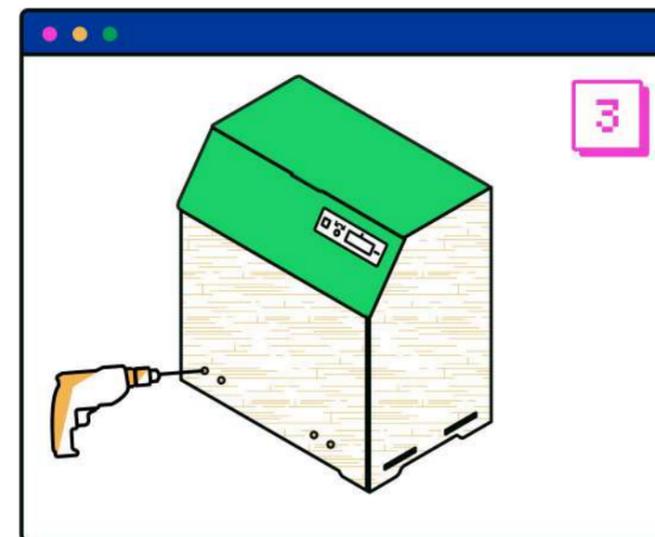
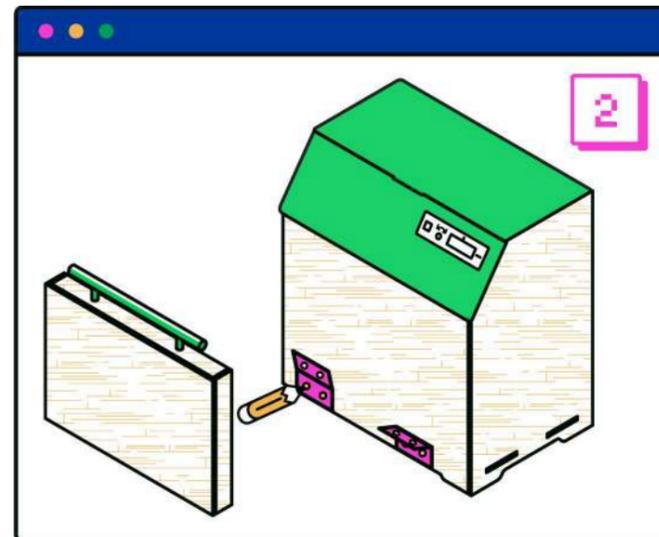
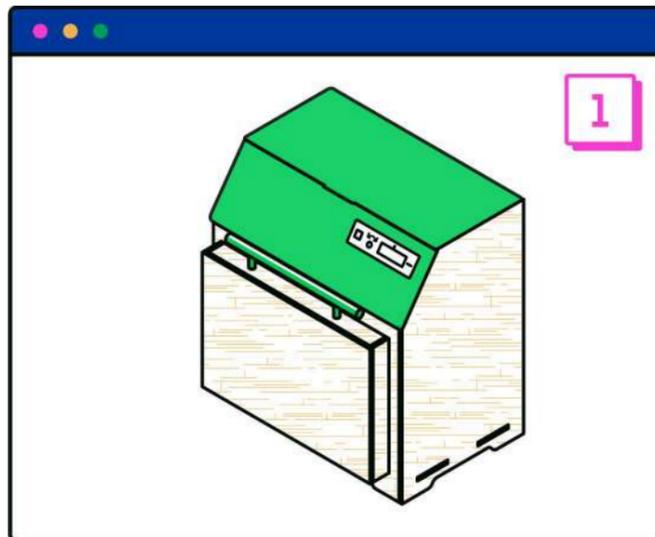


4. Para instalar el tirador, toma su medida y móntalo centrado como aparece en el esquema. Marca con un lápiz los puntos donde pasarán los tornillos. Perfora con una broca del espesor del tornillo que venga con el tirador (4-5mm) y luego instala el tirador atornillando desde el interior de la puerta.
5. Corta una plumavit del tamaño interior de la puerta para rellenarla como aislación



6. Para instalar el par de imanes que cerrarán magnéticamente la puerta perfora levemente el plumavit (con un cartonero caliente) en los rectángulos indicados en plano. Finalmente pega con Silicona caliente los imanes, quedando al raz de la plumavit (sin sobre salir)
7. Corta una lámina de plástico PAI blanco del tamaño idéntico de la tapa de la puerta (calcalo), esta lámina será la terminación interior de la puerta (sugerimos PAI de 0.5mm porque es una superficie fácil de limpiar y lavable). Termina la puerta sellando su cara interior con la lámina de Pai. Recomendamos pegamento para poliestireno para adherir el Pai al Plumavit y al contorno de Madera.

## INSTALACIÓN

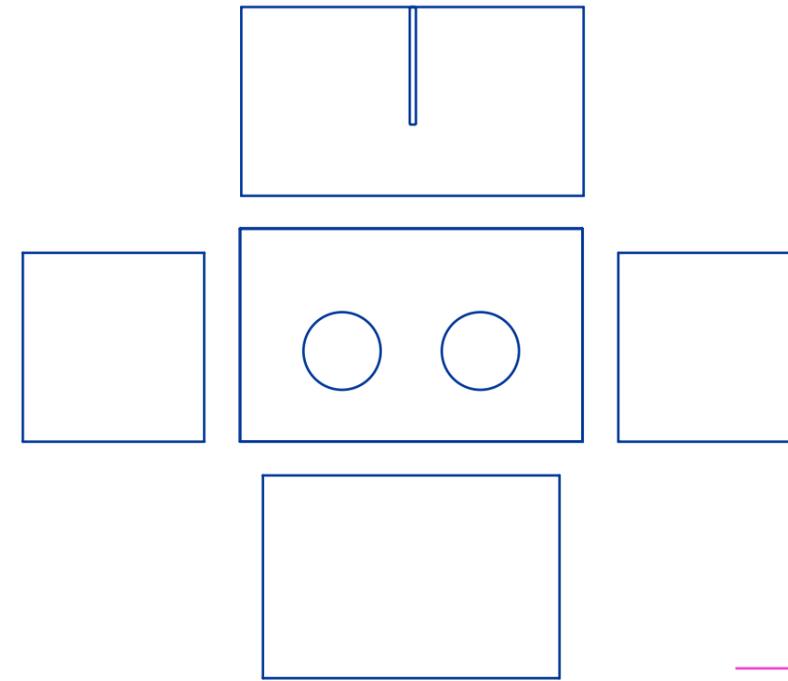
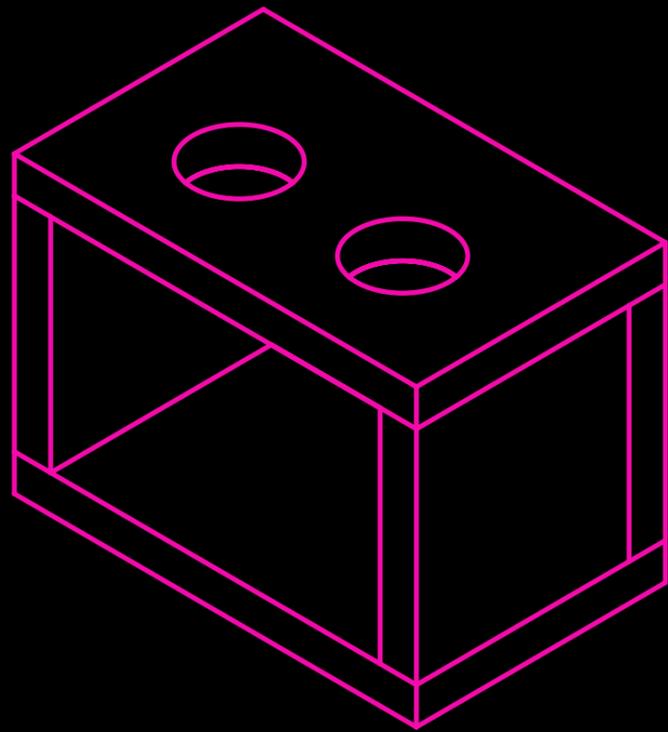


Por comodidad, se recomienda instalar la puerta una vez terminado el Montaje de electrónica.

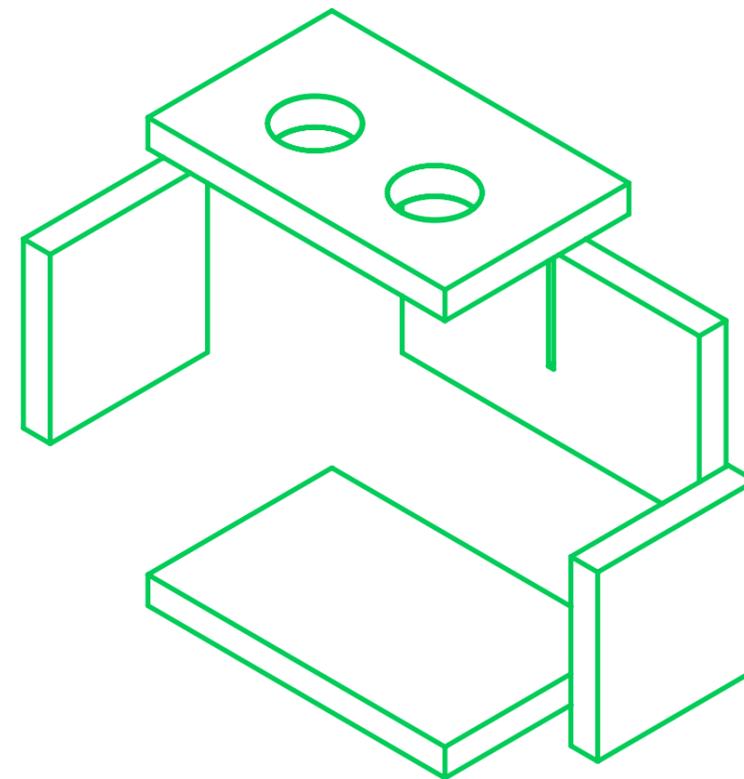
1. Posiciona la puerta de forma centrada
2. Posiciona las bisagras y marca con un lápiz los orificios para los tornillos

3. Perfora con una broca de madera de menor espesor que los tornillos a utilizar.
4. Posiciona nuevamente puerta y bisagras centradas y atornilla las bisagras al cuerpo y la puerta.

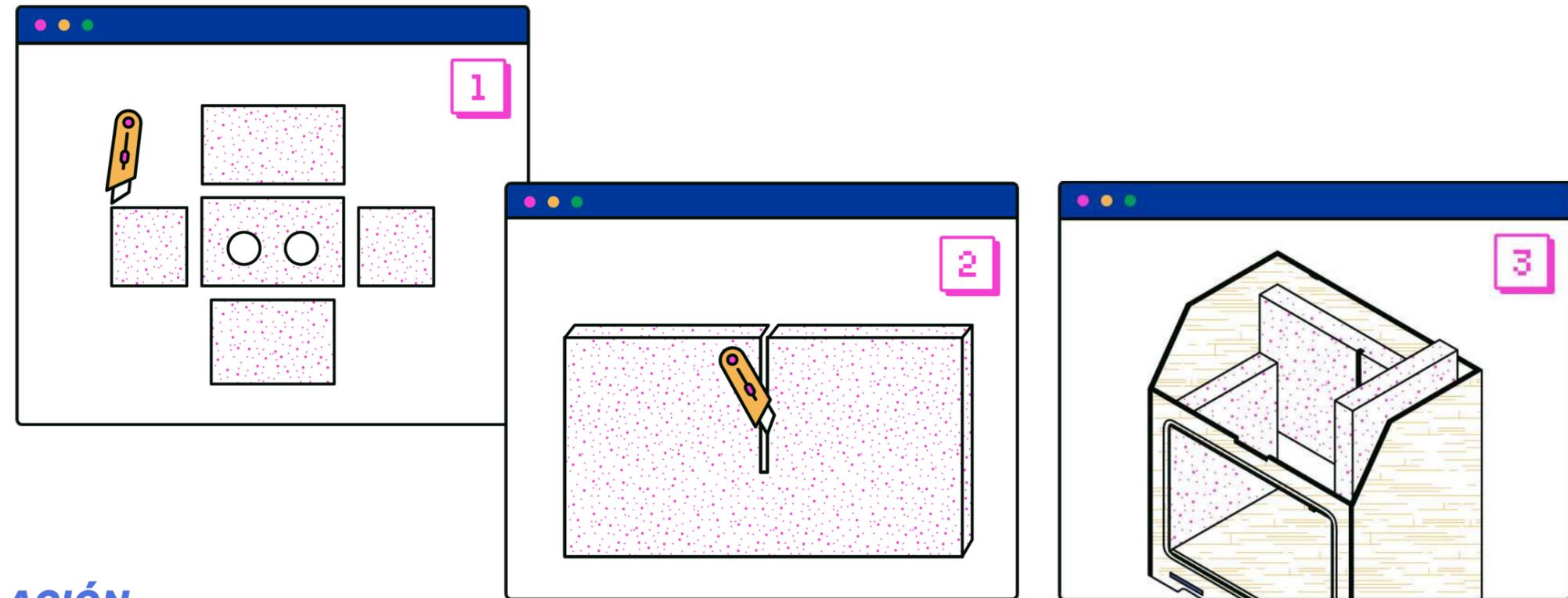
# CAJA AISLACIÓN (PLUMBYIT ALTA DENSIDAD SØMM)



Piezas del plano



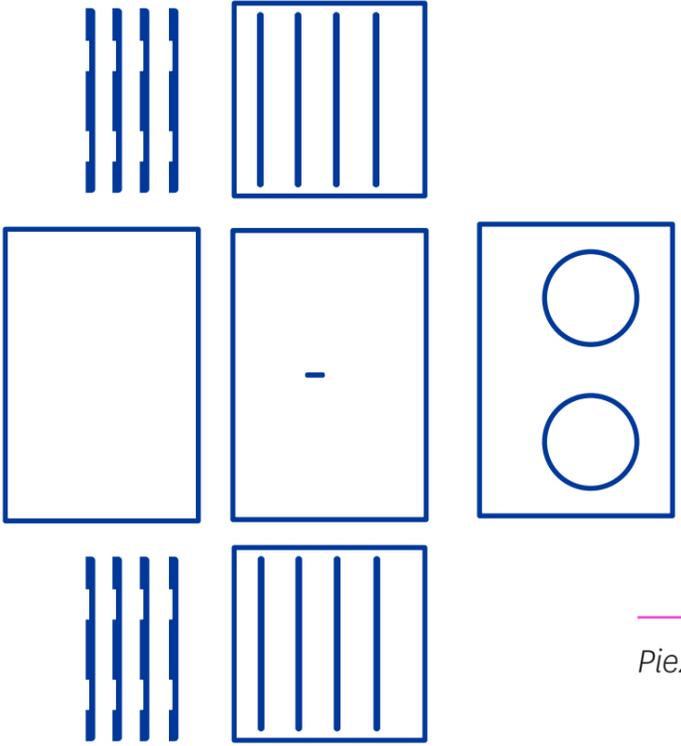
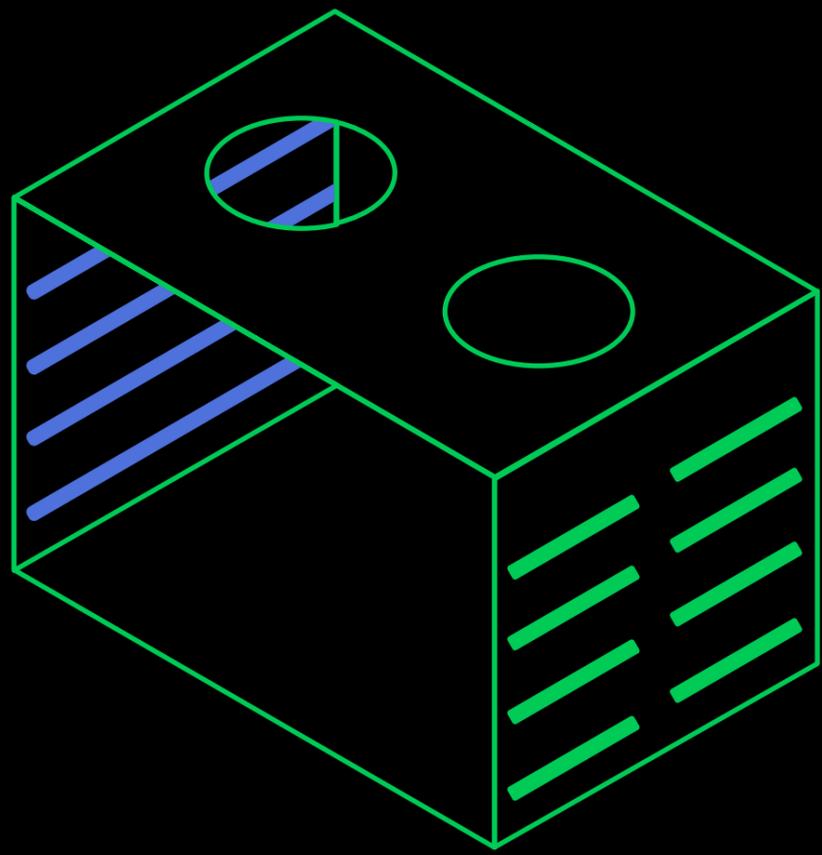
Esquema de ensamblado



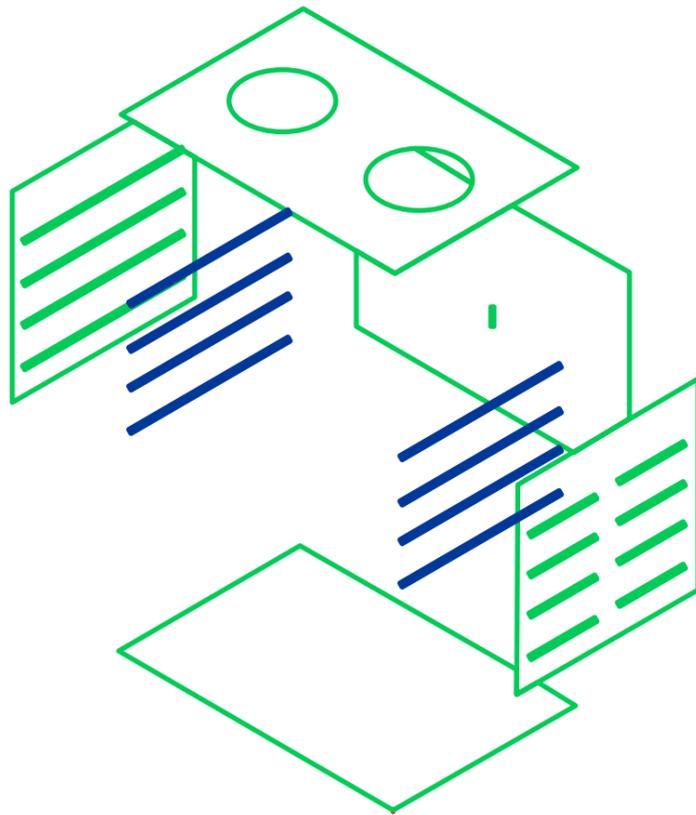
## **ARMADO DE CAJA DE AISLACIÓN**

1. Corta con cartonero la aislación de plumavit de alta densidad según las dimensiones del Plano
2. Realiza con cartonero, un surco según el plano, de 1cm de profundidad y 19cm de largo para que pase el cableado del sensor. No es necesario pegar las partes.
3. Arma la caja al interior del CUERPO como se muestra en el esquema general.

# CAJA INTERIOR (ACRÍLICO 2MM)

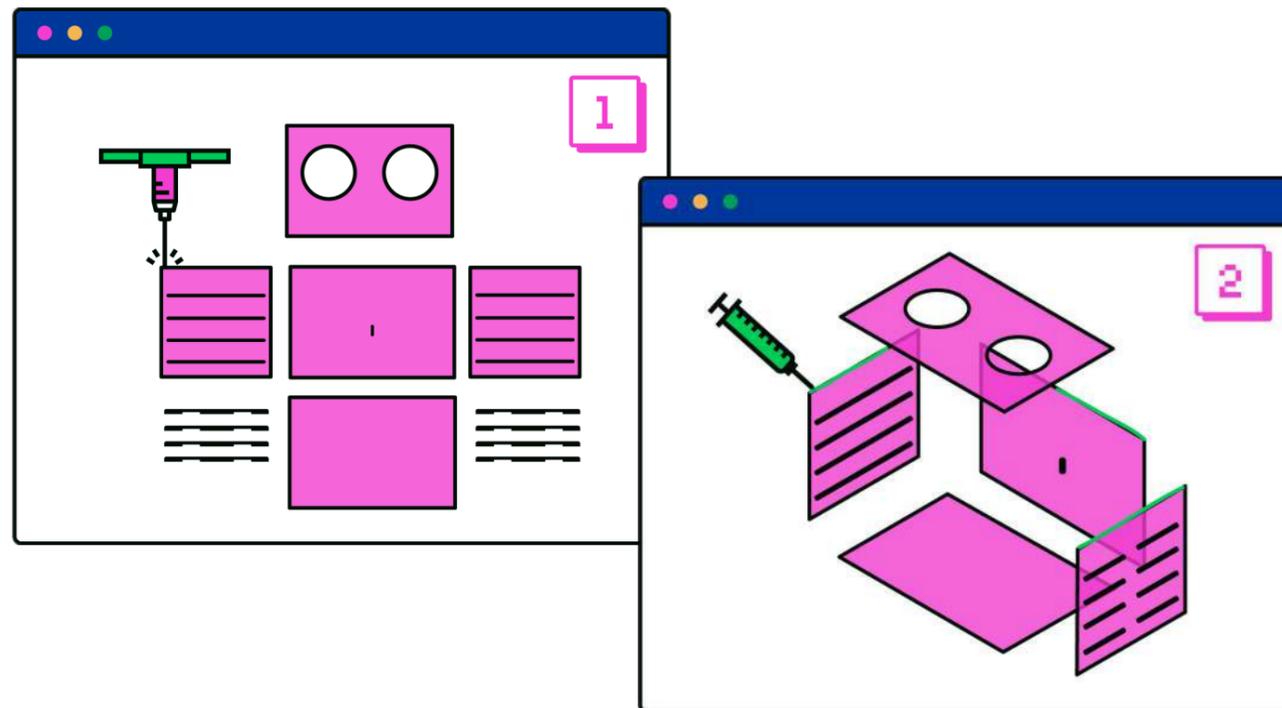


Piezas del plano



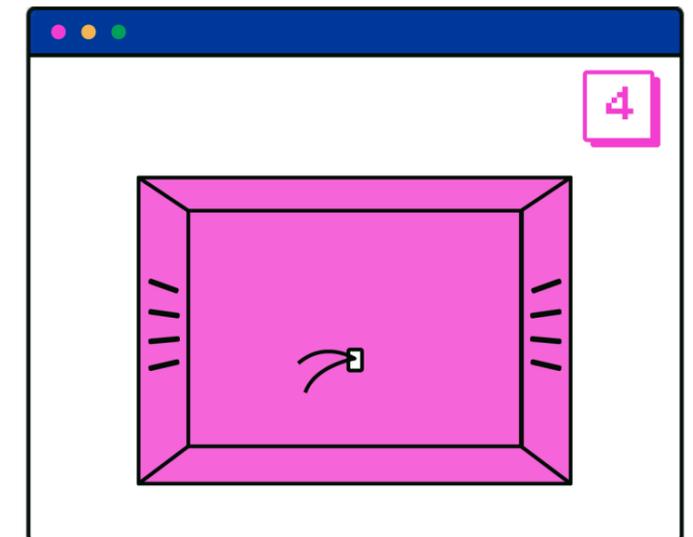
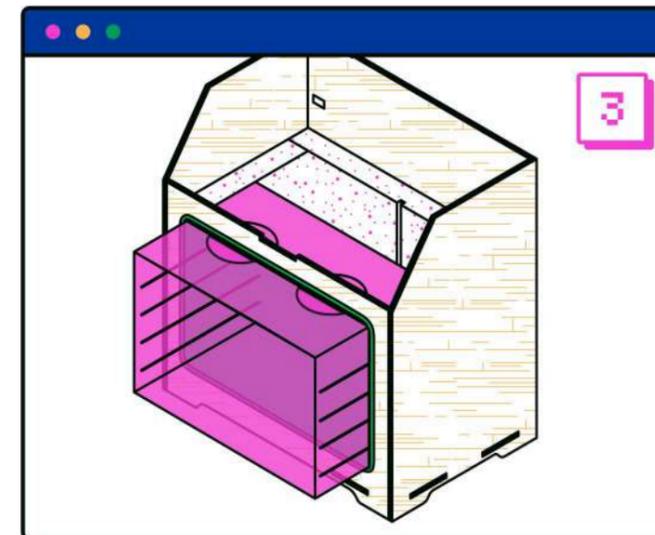
Esquema de ensamblado

## ARMADO DE CAJA ACRÍLICA

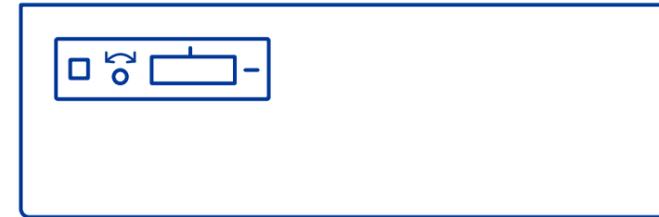
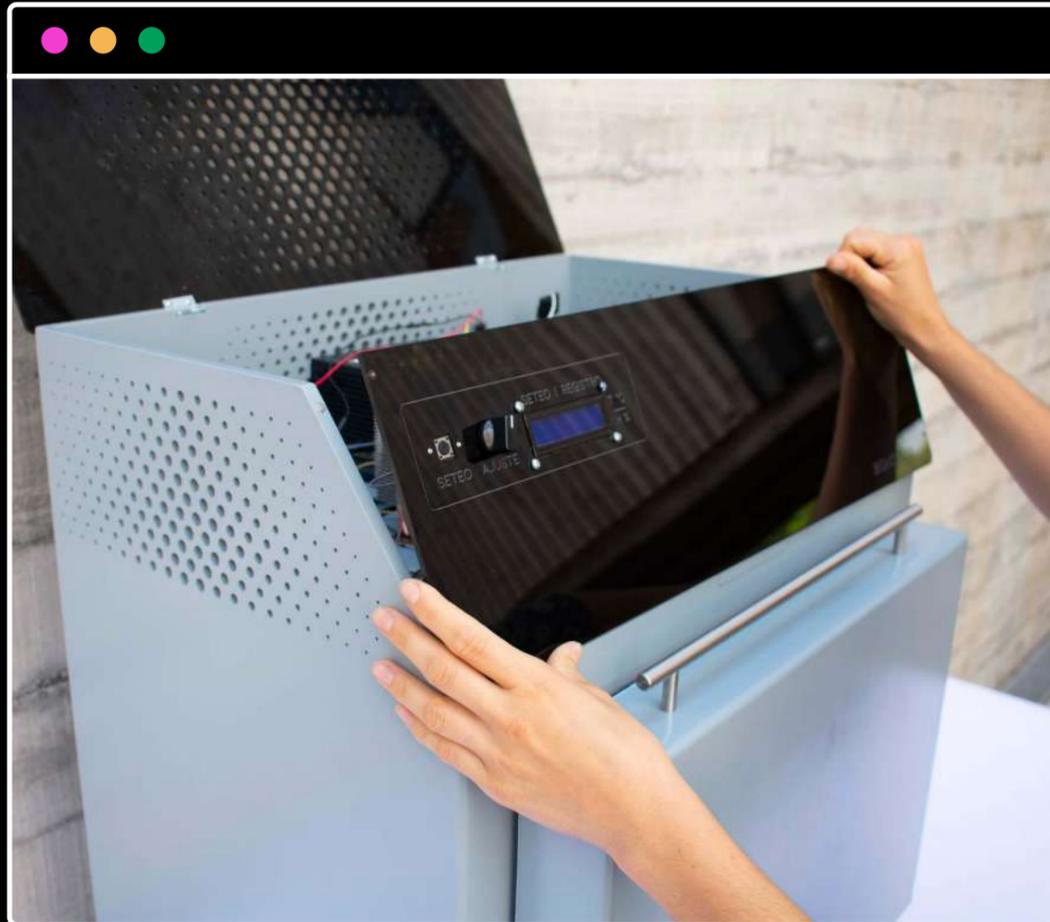


1. Corta en Láser (recomendamos siempre hacer un prueba antes del corte oficial del material para que este no se dañe)
2. Ensambla con Cianoacrilato o Cloroformo según esquema Inserta la caja interior por el frente del Cuerpo de madera (como se muestra en el esquema general), entrará presionando la aislación

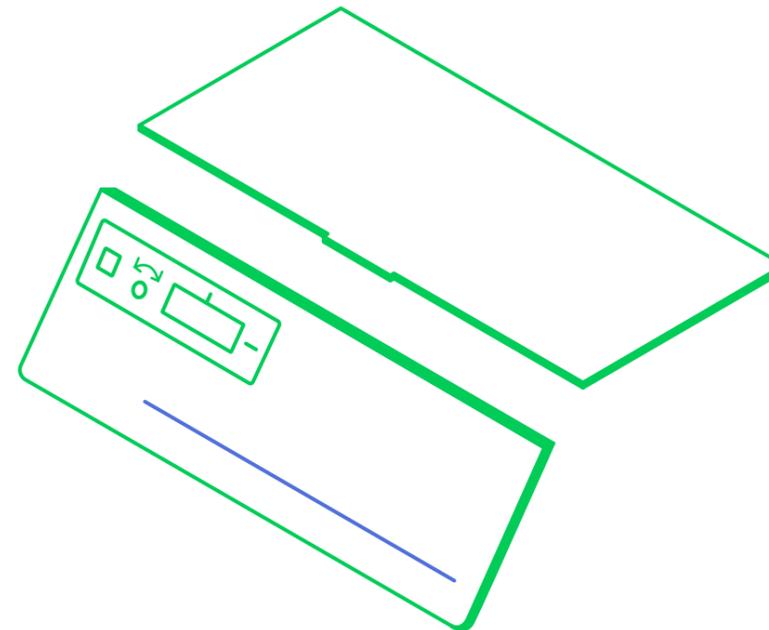
3. Antes de meter la caja completamente debes dejar pasado el sensor conectado con sus respectivos cables , este se incrusta en la perforación de la caja acrílica, quedando asomado hacia el interior.
4. Termina de meter la caja hasta que tope al fondo. los cables (que deben ser de 30cm aprox) quedan pasados hacia arriba por el orificio en la tapa superior de madera.



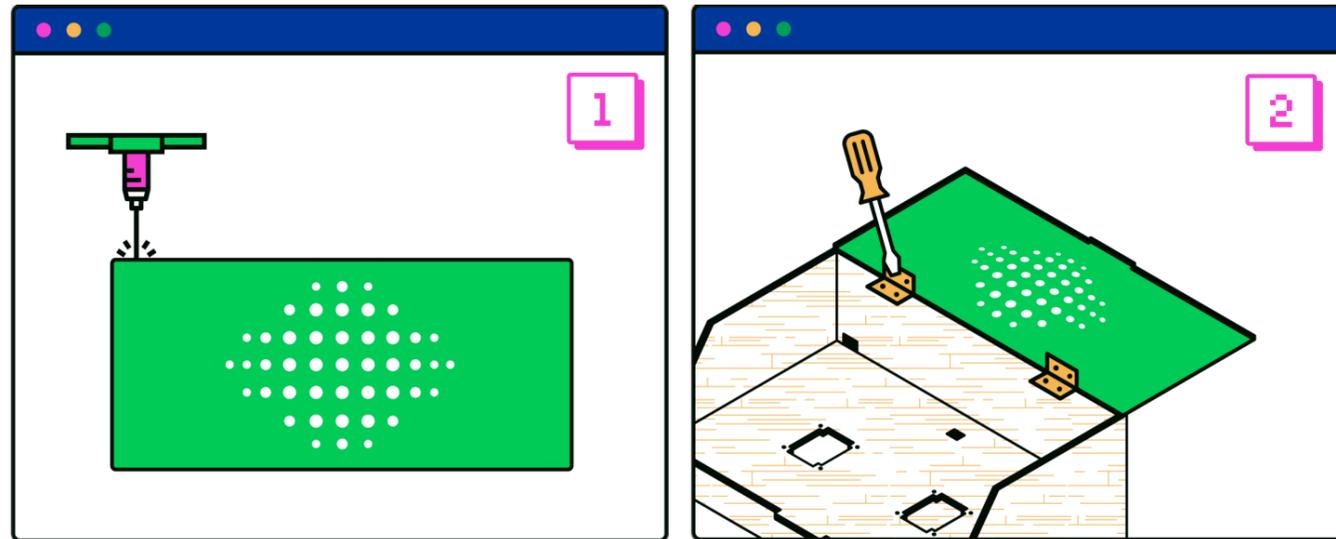
# CUBIERTA SUPERIOR ABATIBLE Y PANEL



Piezas del plano



Esquema de ensamblado

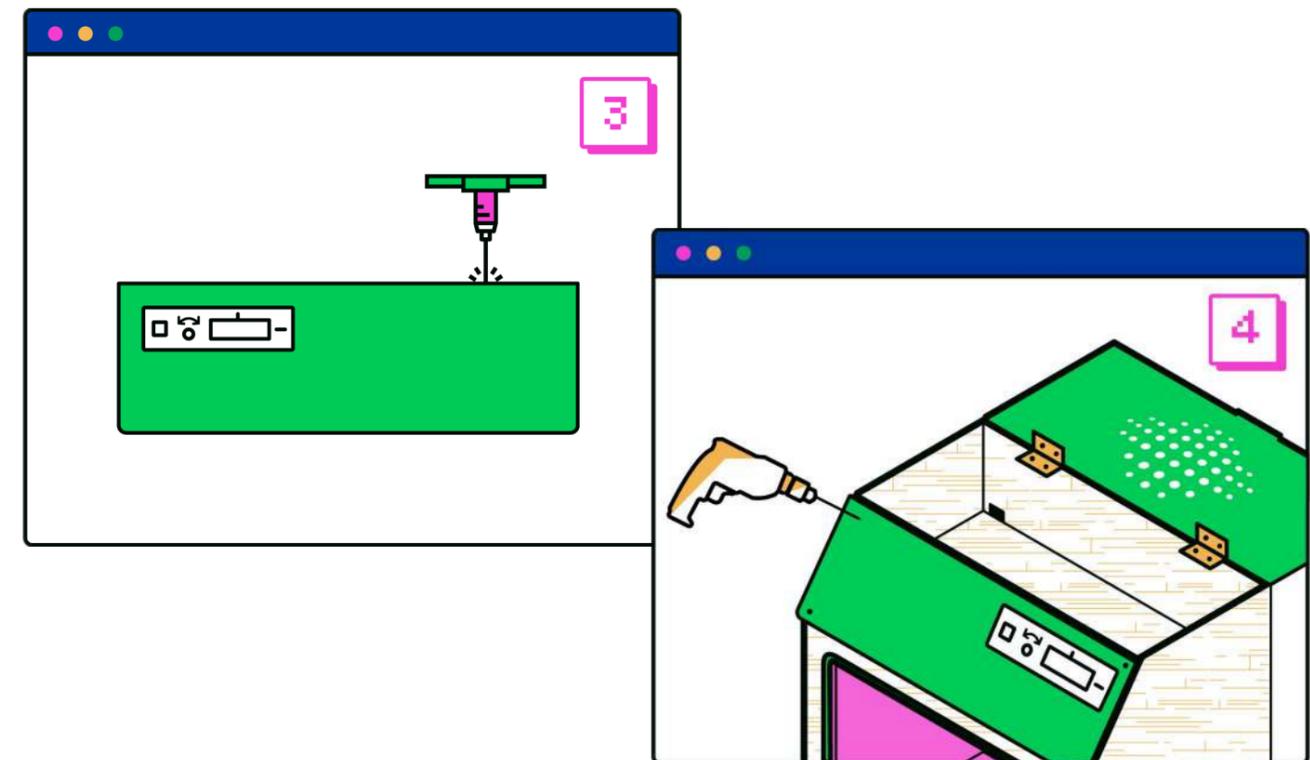


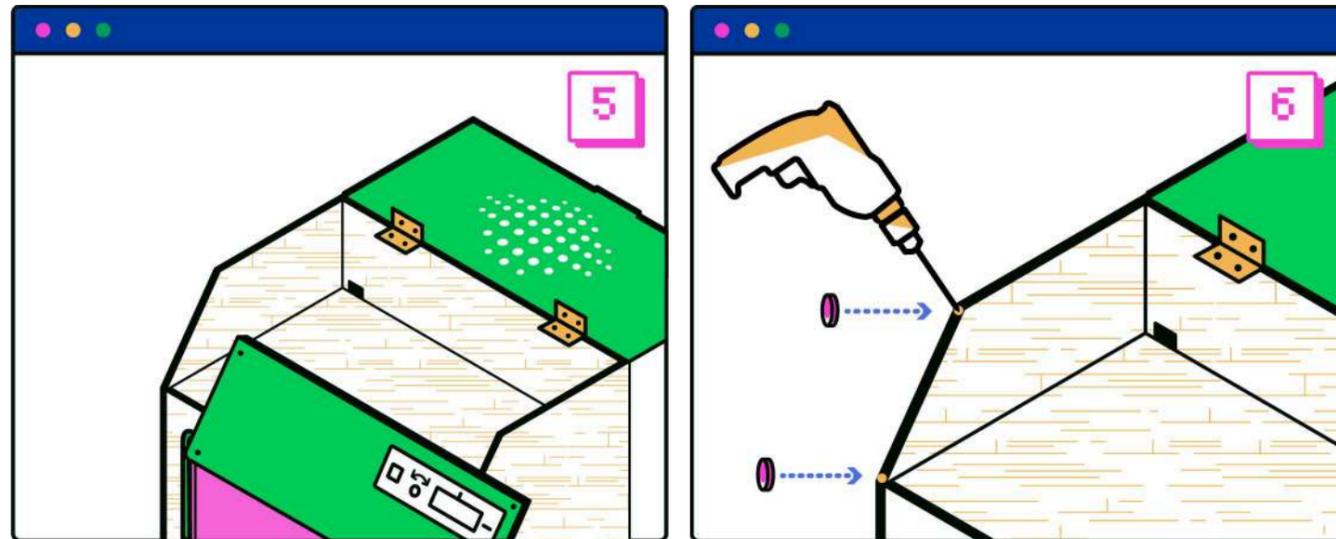
### **CUBIERTA SUPERIOR ABATIBLE (ACRÍLICOS COLOR SEMI TRANSPARENTE 4MM)**

1. Corta y graba en láser los acrílicos de colores (Aplica el siguiente paso casi al final, cuando hayas montado toda la electrónica sobre la tapa de madera removible)
2. Monta la pieza sobre las bisagras ya instaladas en el paso 1 y luego de cuadrar bien la pieza procede a perforar y atornillar o pegar según grabado en acrílico a las bisagras con pegamento epóxico.

### **CUBIERTA PANEL DE CONTROL SEMI FIJA (ACRÍLICO COLOR SEMI-OPACO 5MM)**

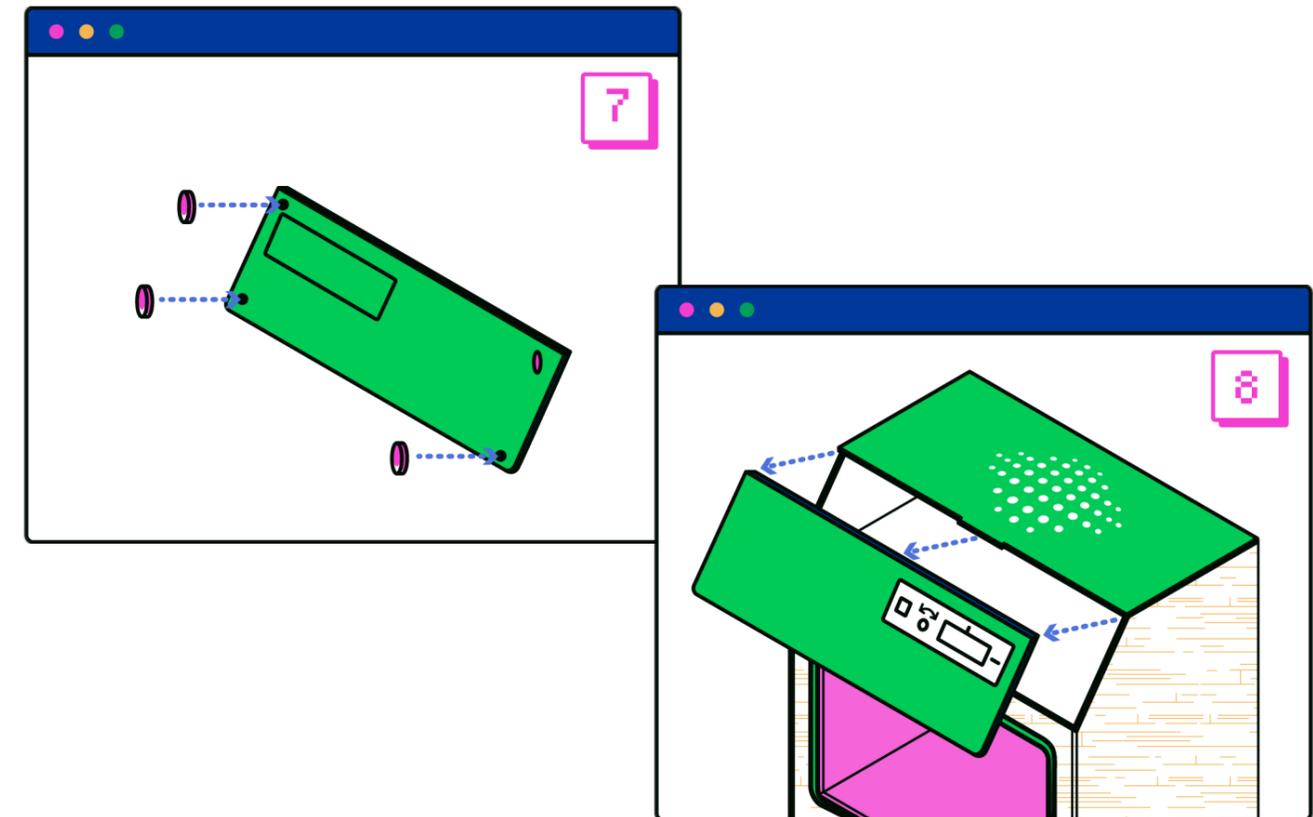
3. Corta y graba
4. Cuadra la pieza en los cantos como en la foto de la página anterior y perfora con broca muy fina (1mm) las 4 esquinas dónde se pegaran los imanes.





5. Remueve la pieza (con especial cuidado en recordar la cara que queda hacia el interior), tendrás las marcas de la broca en los cantos de madera y en el acrílico. En esas marcas, en madera y acrílico, con una broca de 5mm perfora a una profundidad de casi 2,5mm (sin atravesar el acrílico). Atención con el lado donde perforas el acrílico, debe ser por la cara que quedará mirando hacia al interior del prototipo.
6. Aplica pegamento epóxico, en los imanes, e insertarlos en las perforaciones del acrílico, presiona para que no sobresalgan de la superficie.

7. Luego inserta los imanes en los cantos de la madera, los cuáles recibirán a los imanes del acrílico, quedando la tapa firme pero fácil de remover. Al pegar cada imán en los cantos, cuida que sea el lado magnético correcto que recibirá a su par que se encuentra en el acrílico.
8. Remueve la pieza para comenzar montaje de electrónica



**PASO 2**

# ELECTRÓNICA

Para este paso ocuparemos los archivos de la carpeta “Códigos Bioincub1.0” del Repositorio (<https://osf.io/r72y3/>)

Además aquí (<https://osf.io/5h6qk/>) podrás ver el listado de componentes con sus detalles.

Te recomendamos disponer los componentes sobre la tapa de madera según el diagrama electrónico (<https://osf.io/hd5ac/>) y la foto de la izquierda para saber en qué posición quedarán y así poder comprender la extensión de los cables que conectan las partes.



Componentes electrónicos que conforman la Bioincub 1.0

## COMPONENTES



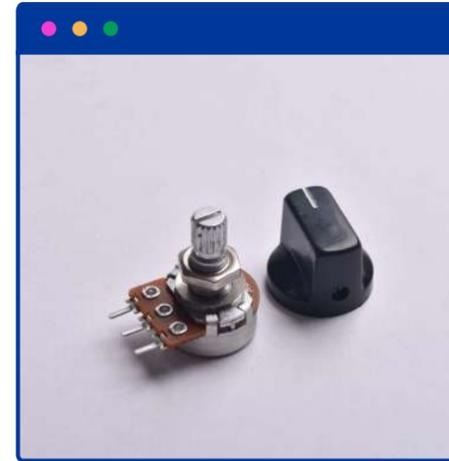
1 Placa WEMOS D1 WIFI (Esp 8266 Integrado)



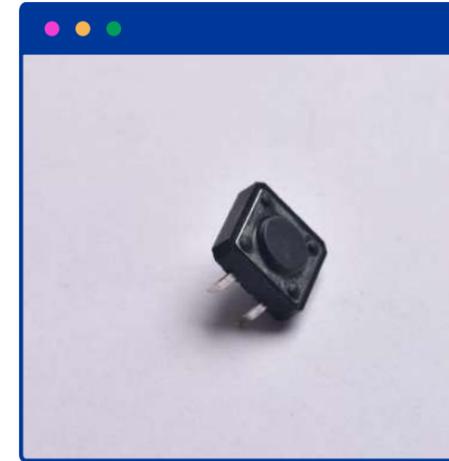
1 LCD screen I2C



1 Sensor temperatura y humedad HDC1080



1 Potenciómetro 10k + 1 perilla para potenciómetro



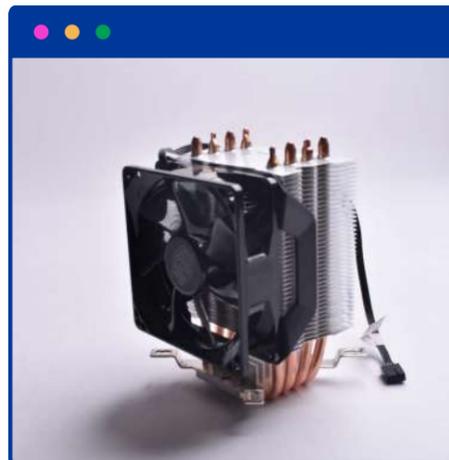
1 botón digital



1 BTS7960 Puente H / H-Bridge 43A Peak Power



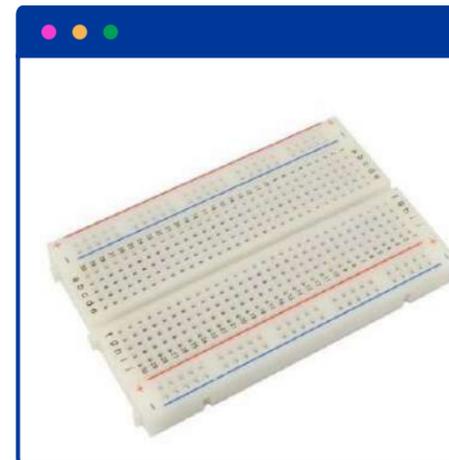
2 Peltier Plates 12706



2 Disipadores cooler Master



2 Disipadores Intel tipo circulares (descarte PC)



2 Protoboards



Conector DC adaptador Macho

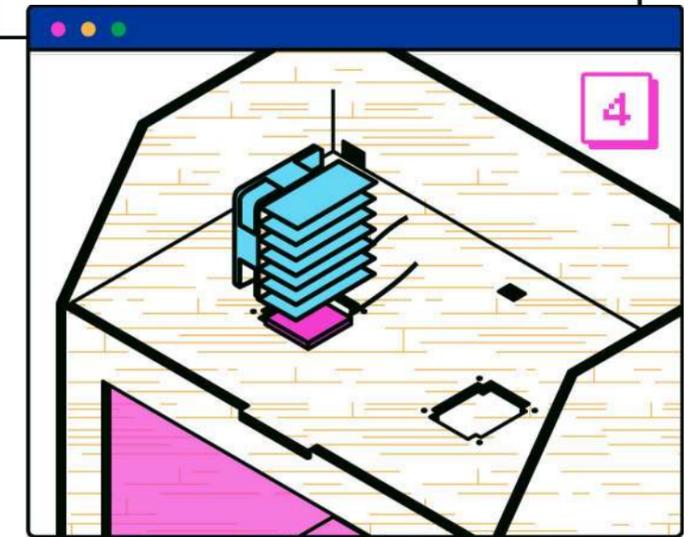
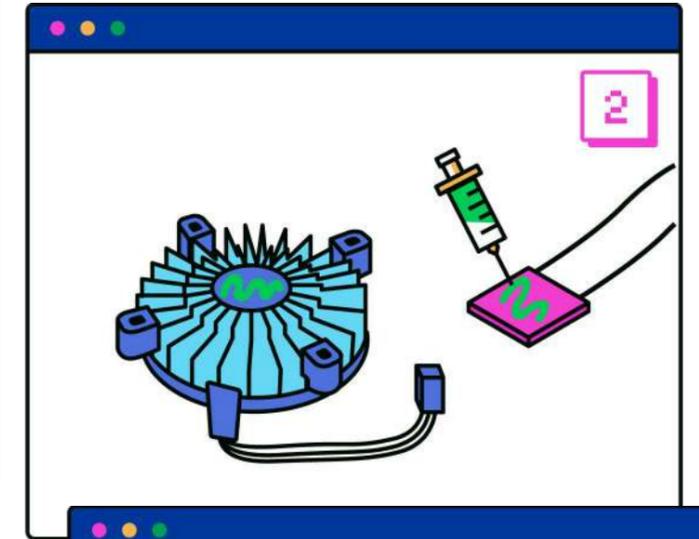
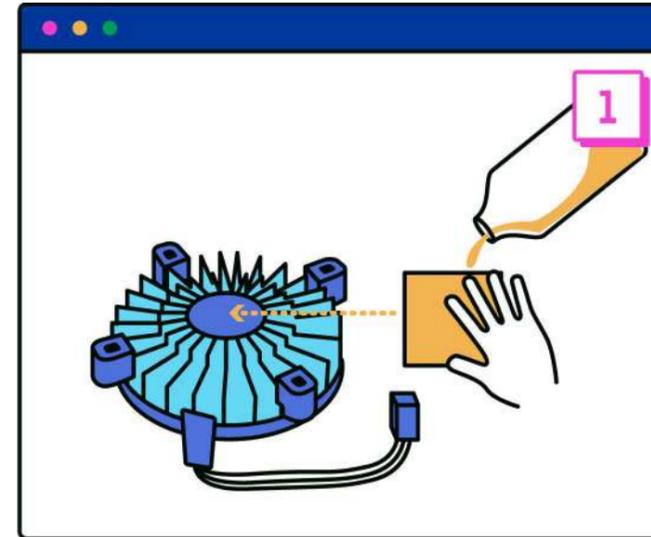


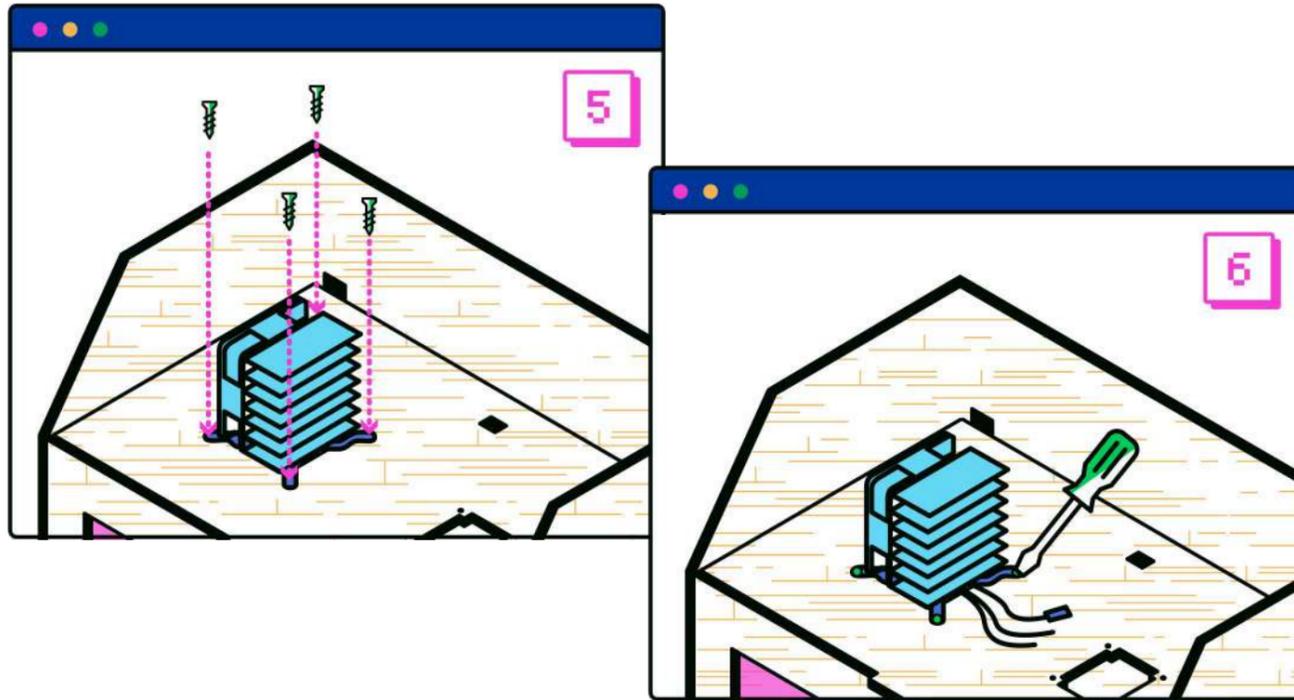
1 Fuente de Poder Genérica 500W

Te recomendamos disponer los componentes sobre la tapa de madera según el diagrama electrónico y la foto a continuación, para saber en qué posición quedarán y así poder comprender la extensión de los cables que conectan las partes.

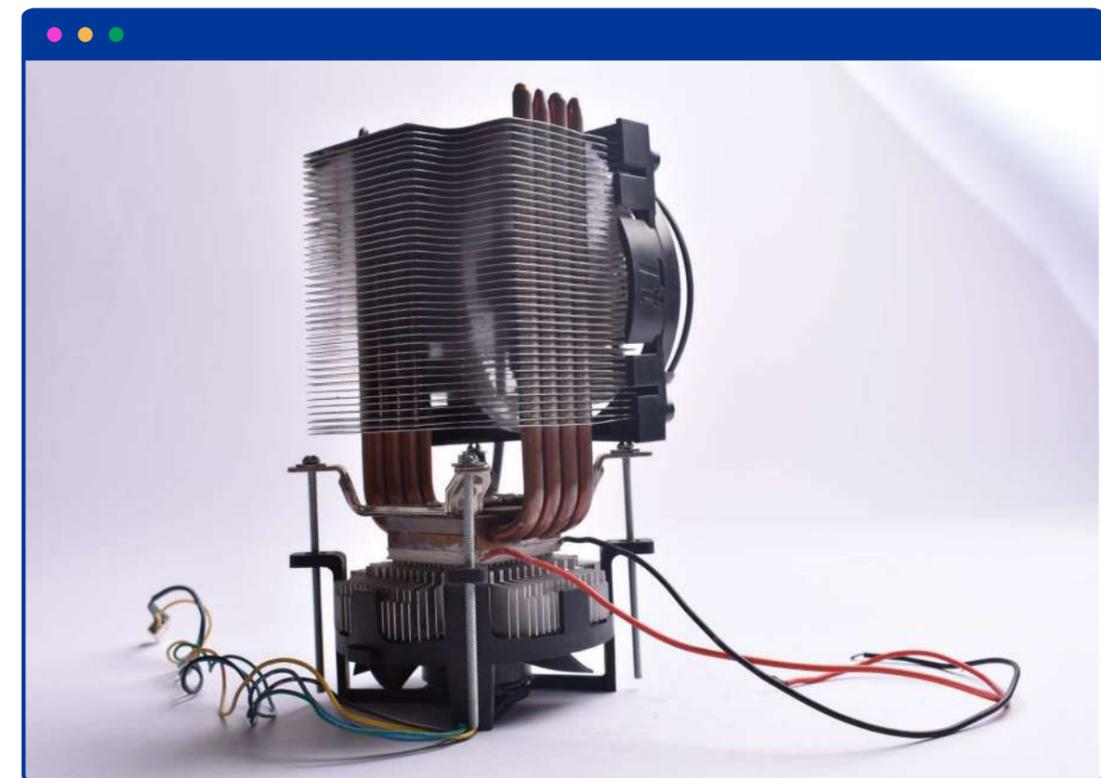
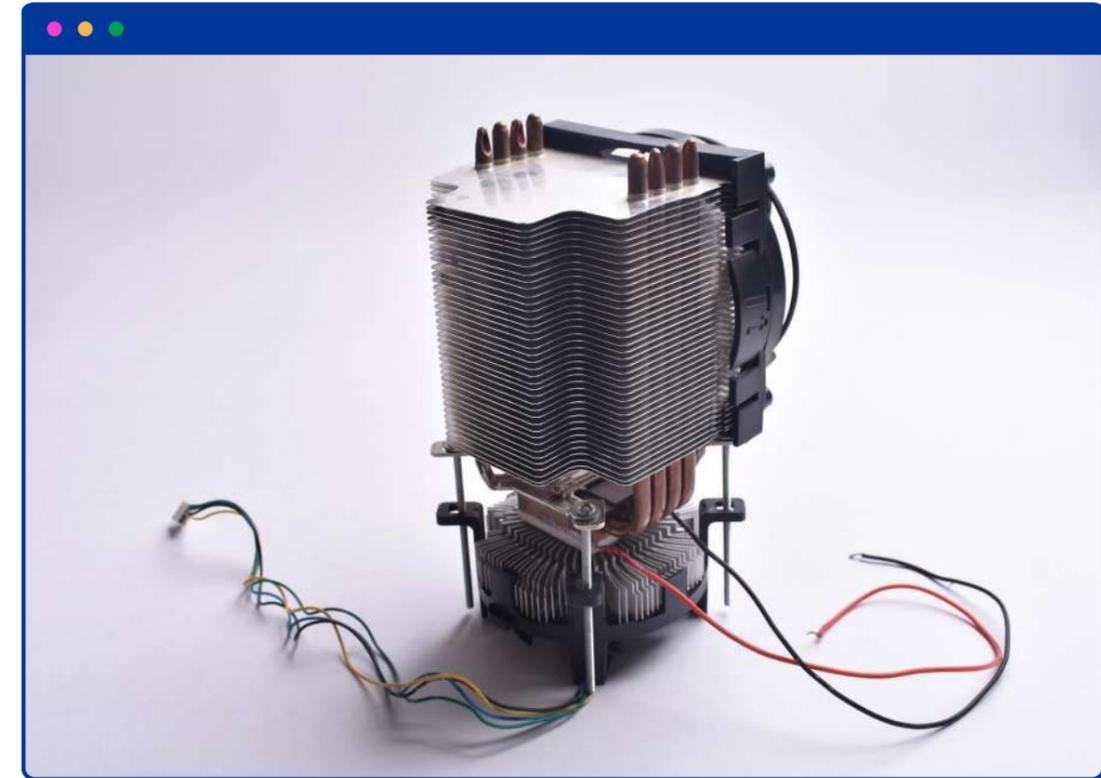
### **ARMADO DE SANDWICH PELTIER**

1. Prepara ambos disipadores (superior e inferior) limpiando sus superficies de contacto con alcohol
2. Aplica pasta disipadora en ambas caras recién limpiadas y también en ambas caras de la placa Peltier.
3. La peltier debe quedar con la cara dónde viene el código impreso para abajo, es decir, para el interior de la caja (cara fría por defecto) Posiciona el disipador inferior dentro de las perforaciones de la caja de aislación y desde arriba/ exterior sobre poner la peltier en el disipador
4. Luego poner el otro disipador, haciendo presión entre ambos





5. Con la ayuda de otra persona haz calzar las pieza de ensamble de los disipadores con los agujeros de la tapa removible y pasa los 4 tornillos (con golillas) hacia abajo, aprieta de a poco las tuercas desde el interior, no ajustes completamente. Procura pasar los cables del ventilador inferior para arriba de la caja (pasan por el orificio cuadrado donde va la peltier), también asegurate que los cables de las peltier salgan hacia el centro de la tapa
6. Aprieta los tornillos hasta que quede el sándwich firme a la tapa sin presionar en exceso.



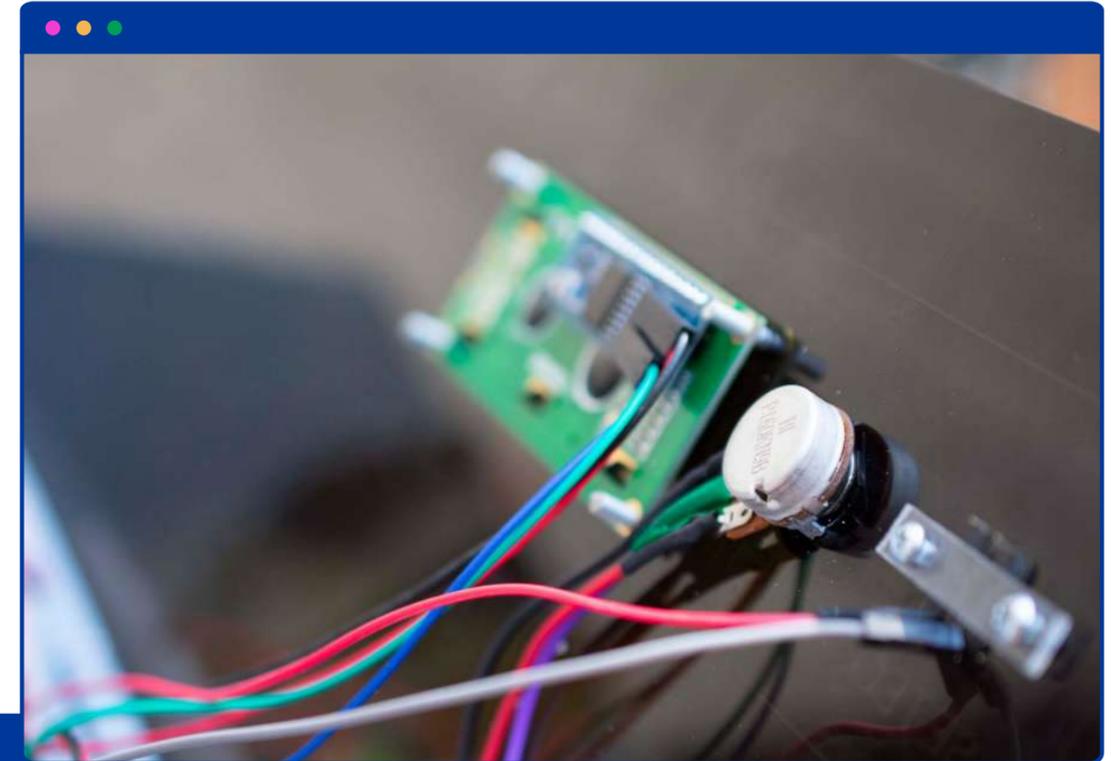
## CONEXIONES COMPONENTES

1. Conecta la WemosD1 a la Protoboard con los cables según el diagrama electrónico.
2. Conecta El Puente H a la Wemos según el diagrama electrónico.
3. Conecta las Peltier al puente H según diagrama electrónico.
4. Conecta el Sensor HDC1080 a la Wemos según diagrama electrónico, recuerda que el sensor ya está posicionado en el interior, quedando sus cables asomados por la tapa superior de madera.
5. Conecta los cables de los 4 disipadores a la Mini Protoboard según diagrama.
6. Conectar la Pantalla LCD a la Wemos y Protoboard según diagrama
7. Conecta el potenciómetro a la protoboard según diagrama

## ALIMENTAR CON LA FUENTE DE PODER

1. Para que se pueda encender debes hacer un puente de cable como en la siguiente foto, luego enchufar la fuente a la corriente y encender el botón para probar que el puente esté funcionando.
2. Alimentar los Ventiladores con 12V (cables amarillos de la fuente de poder) según diagrama.
3. Alimenta el puente H con 12V desde un molex de la fuente de poder como muestra el diagrama (DEBEN conectarse cables más gruesos que los jumper Wires, para resistir el amperaje de ambas placa peltier 2-3 Amperes cada una)
4. Alimenta la WemosD1 con 5V de la fuente de poder (cables rojos) como muestra el diagrama, usando un Conector DC macho.





## **MONTAJE DE PANEL DE CONTROL**

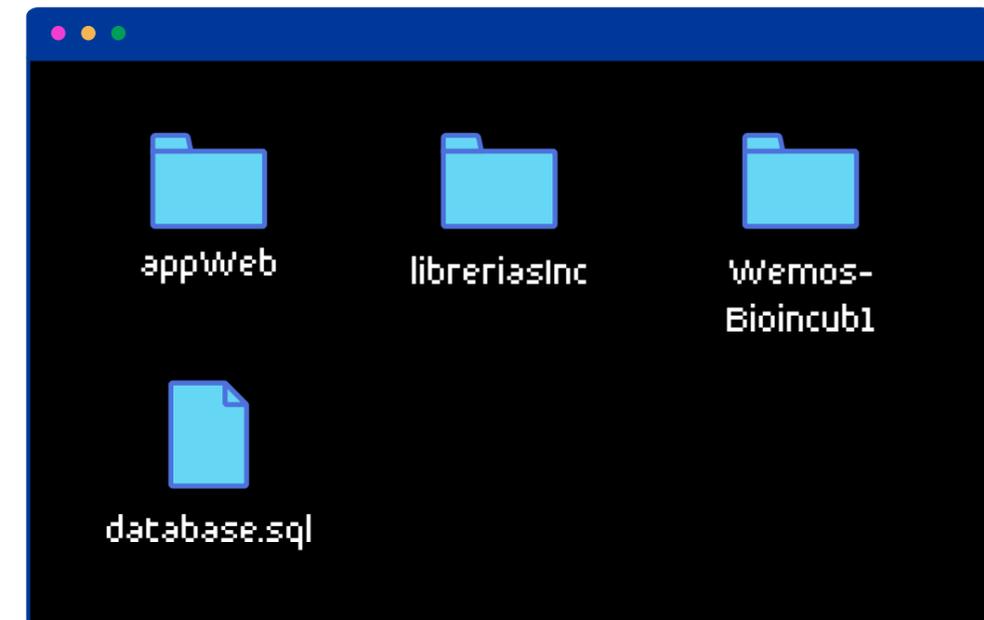
1. Al montar la pantalla LCD, perfora el acrílico dónde irán los tornillos y luego atornilla.
2. El potenciómetro tiene su propia tuerca y golilla, instalar según foto y luego poner la perilla.
3. El botón digital se mete a presión en la perforación cuadrada (cortada por la láser) desde el interior hacia el exterior y se ajusta con una pieza (en este caso de acrílico) perforando esta y el panel, para pasar dos tornillos.

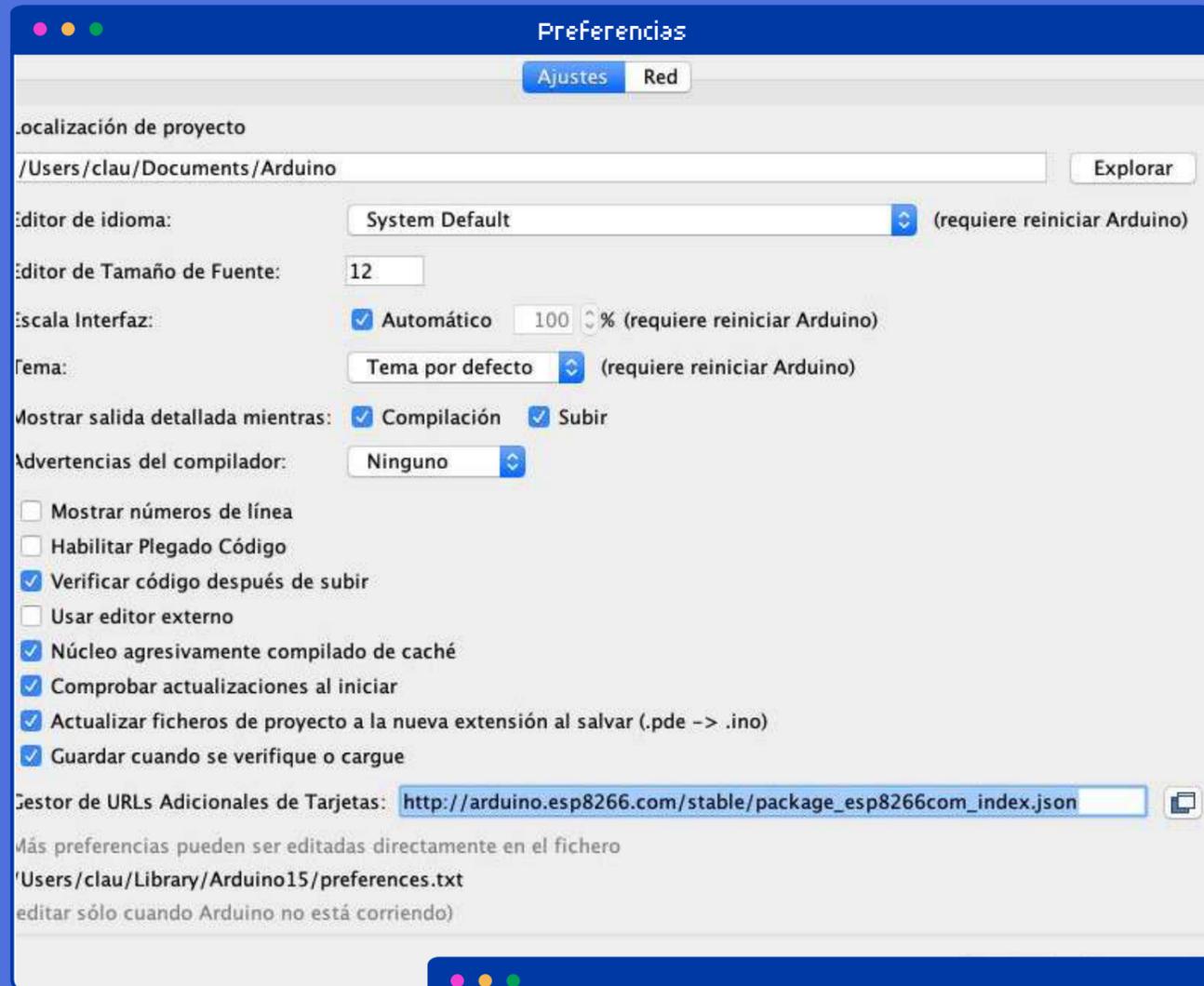


## PASO 3

# INSTALACIÓN SOFTWARE WEMOS D1

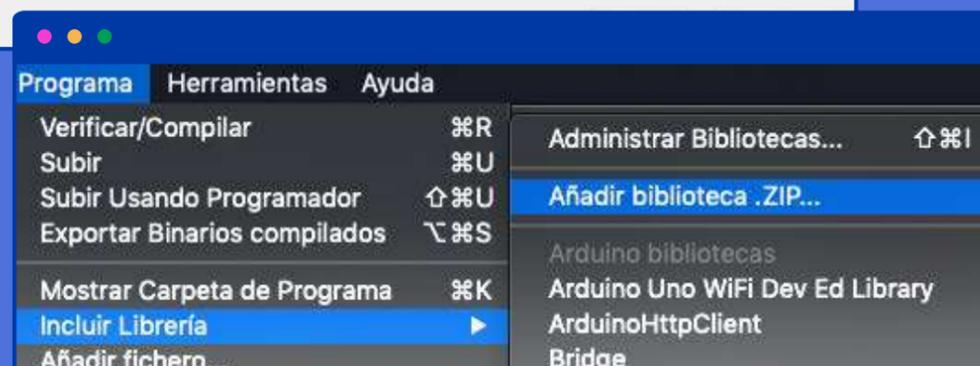
En el repositorio <https://osf.io/r72y3/files/> encontraras la carpeta de instalación “Codigos Bioincub 1.0”





Pantalla Arduino

imagen referencial



## INSTALAR CÓDIGO EN WEMOS D1

1. Para subir el código de la Incubadora a la WemosD1, usaremos el programa Arduino IDE. Descárgalo y luego instálalo. La última versión está disponible en el sitio web de Arduino. (Los pasos de instalación están disponibles [aquí](#))
2. Abre arduino IDE, ve a **Archivo > Preferencias**. Aparece un cuadro de diálogo. En este cuadro, está presente un cuadro de texto URL de administrador de placa adicional:

[http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json)

3. Selecciona Ok
4. Luego seleccionaremos la placa a la cual subiremos el código:  
**Herramientas > Placa > "Wemos D1 R1"**
5. Abre el archivo **WemosBioincub1.ino** (<https://osf.io/j8s2u/>) desde Arduino IDE para subir el código a la Wemos y haz una **verificación** para ver si tienes todas las librerías necesarias. En el caso que no las tengas instaladas, puedes verlas dentro de la carpeta **libreríasInc**, las librerías que se necesitan son las siguientes:

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Pantalla LCD
#include <Wire.h> // Conexión puerto I2C
#include <ESP8266WiFi.h> // Wemos Wifi
#include <ClosedCube_HDC1080.h> // Sensor Temperatura y humedad
#include <PID_v1.h> //sistema de control
```

6. Para agregar las librerías en **.zip**, debes ir a **Programa -> Incluir Librería -> Añadir biblioteca .ZIP**

## PLATAFORMA VISUALIZACIÓN DE DATOS

### Código Wemos y Servidor

Dentro de los códigos de la wemos, hay datos que deben cambiarse.

- Datos de conexión WIFI e IP servidor
- Url del sitio (web app)
- ID de la Incubadora

#### 1. Datos de conexión WIFI e IP Servidor:

##### //Wifi Connection Data

```
const char * ssid = "nombredetuRedWifi";
```

```
const char * password = "passworddetuRedWifi";
```

```
const char * host = "ipdelServidor"; //
```

Los 2 primeros datos son los que tienes configurado en tu lugar de trabajo u hogar. El tercer y último dato necesario lo puedes ver con tu proveedor de Hosting, en cpanel, se verá como en la imagen a la derecha, si tienes IP compartida.

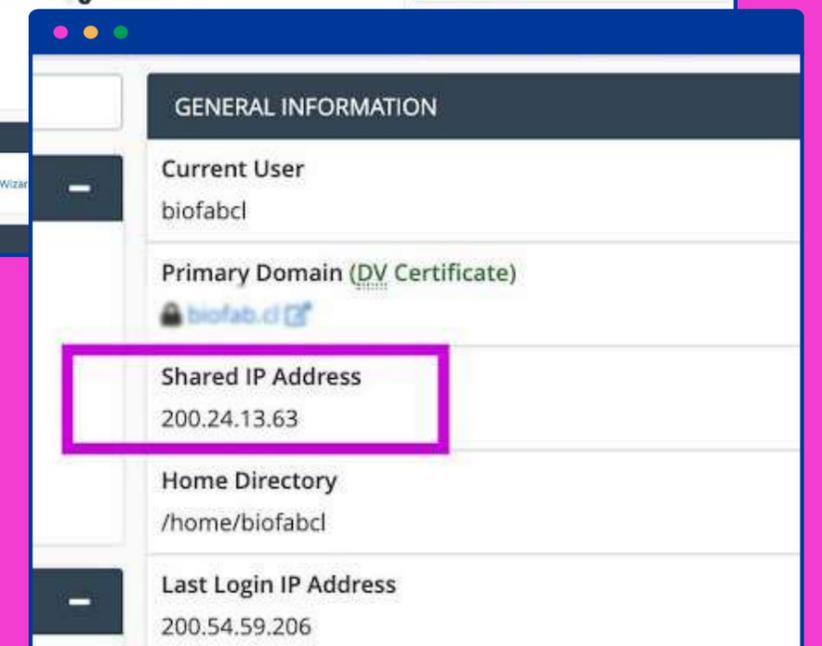
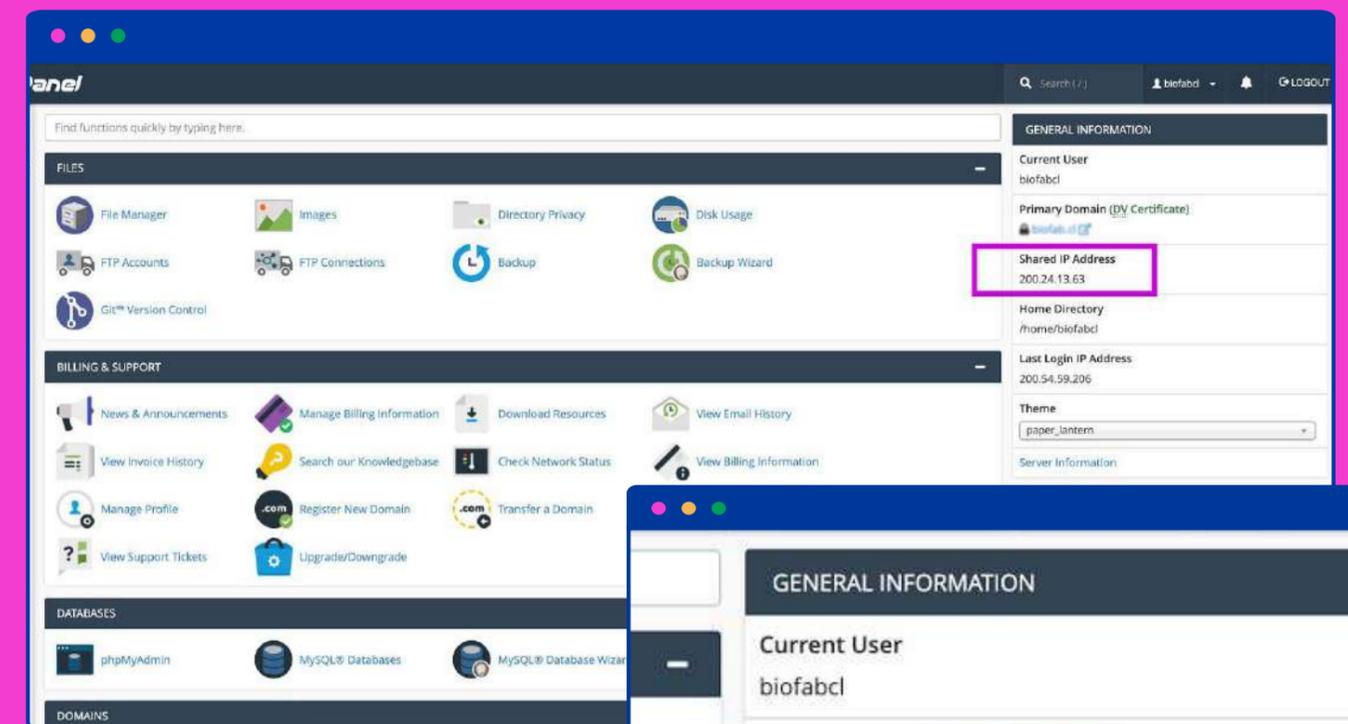
#### 2. URL WebApp:

Acá deberás poner la url donde estará almacenada la AppWeb (contenido carpeta appWeb).

##### url: dirección de tu hosting

```
String url = "http://url/api/data/create.php";
```

El archivo create.php es el que se encarga de recibir los datos de temperatura, humedad y ID de la incubadora.

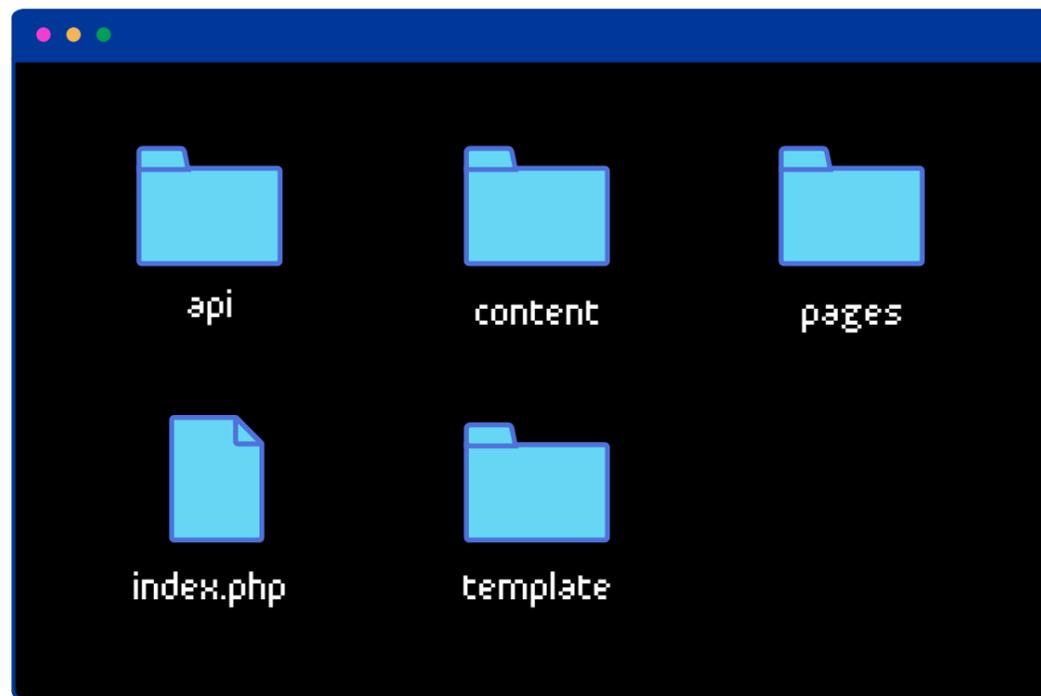


### 3. ID de la incubadora

La AppWeb te permite conectar más de una Incubadora (Wemos + sensor), podrás ir agregando las que necesites, pero para diferenciarlas, es necesario que cambies el ID cada vez que subas el código a otra WEMOS. Puedes usar la misma Incubadora (Wemos) para otro experimento y para diferenciar los datos, solo es necesario que cambies el ID.

```
String idincubadora = "?idincubadora=1"; //
```

Este dato es necesario que lo guardes, ya que lo utilizarás en la AppWeb una vez que agregues una incubadora.



contenido carpeta appWeb

## Configurar App Web

En la carpeta de la appWeb, encontrarás los archivos, los puedes montar de manera local o bien en tu servidor. Según la url donde subas tus archivos, ya sea local, en la raíz de tu servidor, subcarpeta o subdominio, lo que necesitas es tener clara la ruta de acceso.

Si no tienes conocimientos de manejo de servidores, en youtube puedes ver un manual de como utilizar cpanel. Acá un tutorial:

<https://www.youtube.com/watch?v=xRZpm4OXusY>

En el caso que quieras montarlo de manera local, puedes instalar un emulador de servidor. Puedes utilizar **Xampp** para Windows o **Mamp** para Mac. Acá un tutorial:

<https://www.youtube.com/watch?v=fehi8tol4uE>

1. La ruta de acceso del paso anterior, es un dato que debes cambiar dentro del archivo base-url.php, en la siguiente ruta:

**template -> common -> base-url.php**

Por ejemplo si lo hubieses subido en carpeta llamada **incubadora-micotextil**, la ruta sería como la siguiente

```
<?php $baseUrl = 'http://misitio.cl/incubadora-micotextil/'; ?>
```

2. Debes crear una base de datos, el usuario que se conectará y darle los permisos. Si trabajas con cpanel (por ejemplo) debes entrar al panel a través de <http://url/cpanel> una vez ingresado el usuario y clave (de tu proveedor de hosting), vas a crear base de datos, luego creas un usuario (recuerda guardar la clave), una vez creados debes vincularlos entre sí y finalmente dar los permisos al usuario.

archivo base-url.php

```
Project  
├── src  
│   ├── api  
│   ├── content  
│   ├── pages  
│   └── template  
│       ├── api  
│       └── common  
│           ├── base-url.php  
│           ├── business-exception.php  
│           └── database.php  
├── pages  
└── index.php
```

```
base-url.php  
1 <?php  
2 $baseUrl = 'http://misitio.cl/incubadora-micotextil/';  
3 ?>  
4
```

### Create New Database

New Database:

wayscl, nombredelabasededatos

Create Database

### MySQL Users

#### Add New User

Username: wayscl, nombredelusuario

Password: .....

Password (Again): .....

Strength: Very Strong (100/100)

Create User

### Manage User Privileges

User: wayscl\_nombredelusuario  
Database: wayscl\_nombredelabasededatos

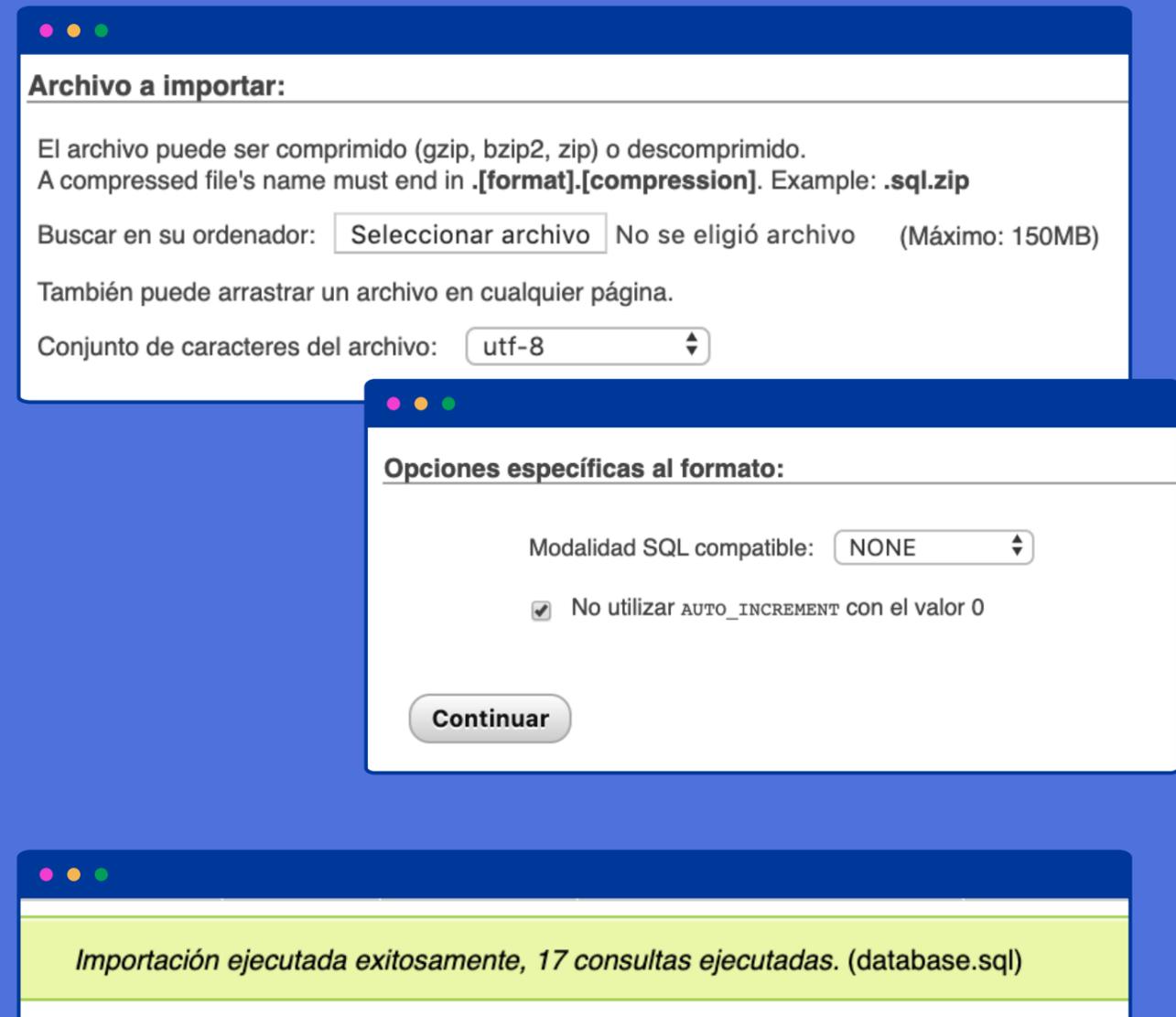
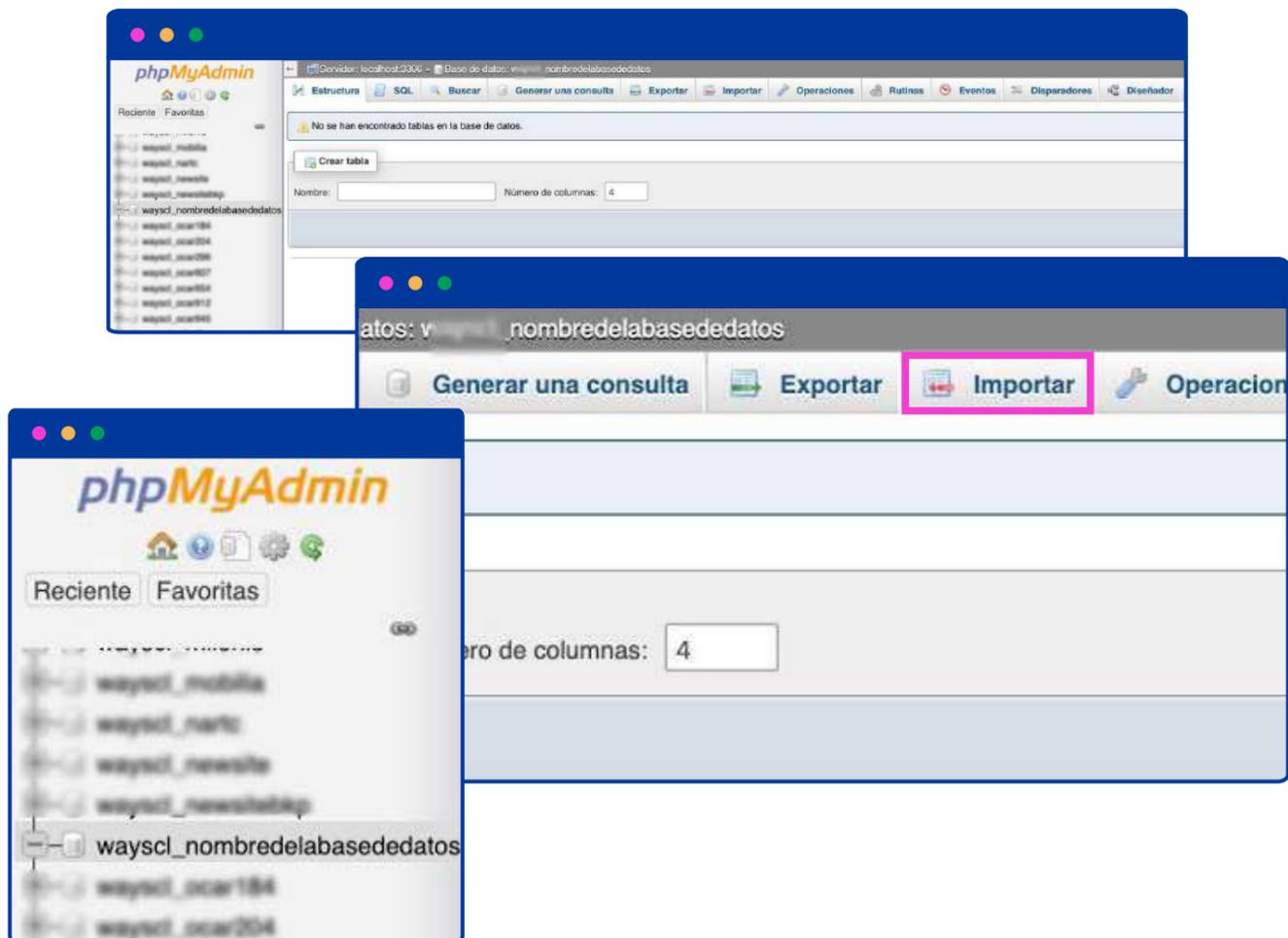
ALL PRIVILEGES

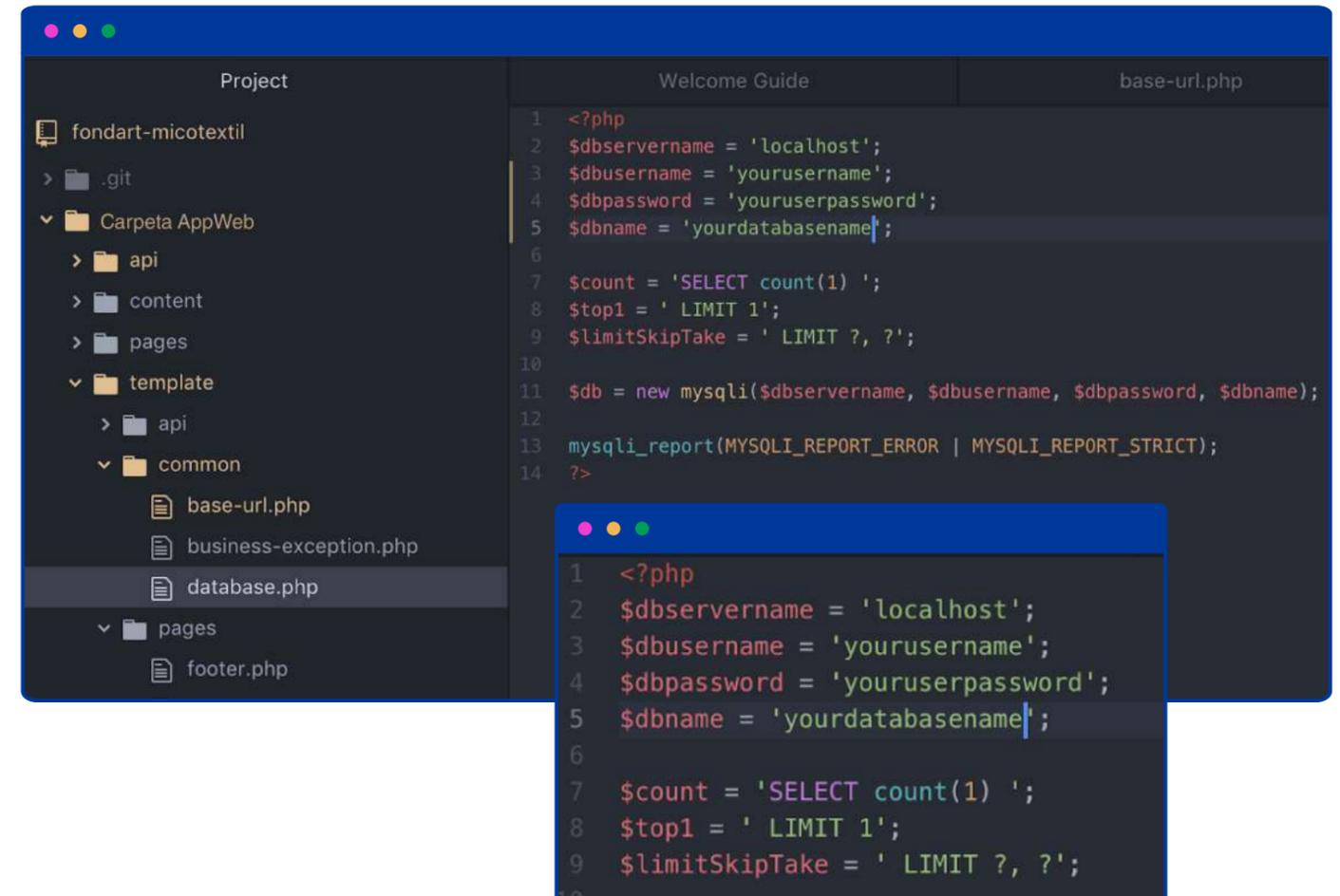
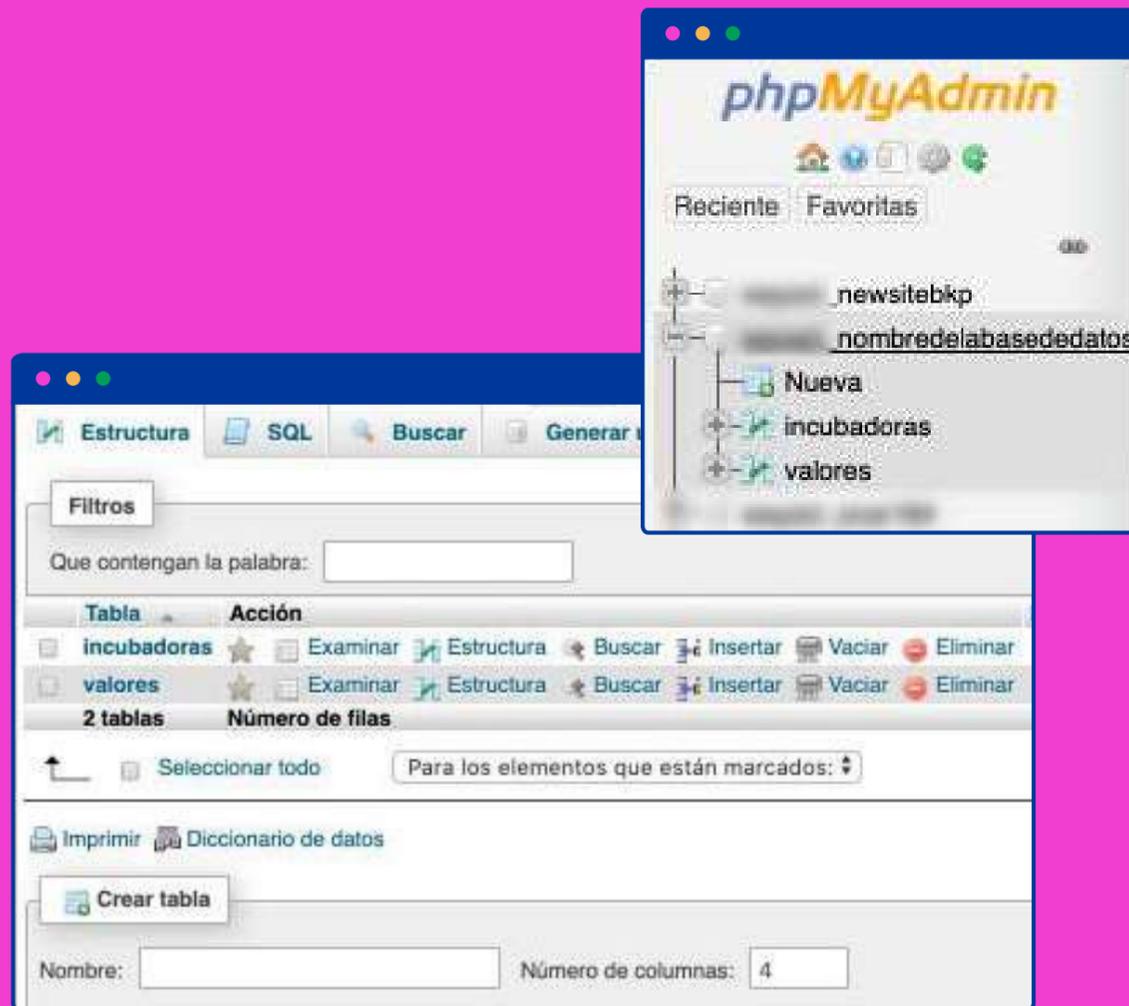
<input checked="" type="checkbox"/> ALTER	<input checked="" type="checkbox"/> ALTER ROUTINE
<input checked="" type="checkbox"/> CREATE	<input checked="" type="checkbox"/> CREATE ROUTINE
<input checked="" type="checkbox"/> CREATE TEMPORARY TABLES	<input checked="" type="checkbox"/> CREATE VIEW
<input checked="" type="checkbox"/> DELETE	<input checked="" type="checkbox"/> DROP
<input checked="" type="checkbox"/> EVENT	<input checked="" type="checkbox"/> EXECUTE
<input checked="" type="checkbox"/> INDEX	<input checked="" type="checkbox"/> INSERT
<input checked="" type="checkbox"/> LOCK TABLES	<input checked="" type="checkbox"/> REFERENCES
<input checked="" type="checkbox"/> SELECT	<input checked="" type="checkbox"/> SHOW VIEW
<input checked="" type="checkbox"/> TRIGGER	<input checked="" type="checkbox"/> UPDATE

Make Changes Reset

permisos de usuario en cpanel

3. Si bien creaste la Base de datos, actualmente está vacía. Es necesario que subas la base de datos **database.sql** para esto, debes ir a phpMyadmin. Selecciona la base de datos recién creada, la cual está actualmente vacía y luego presiona Importar en el menú superior. En la pantalla emergente, presiona Seleccionar archivo y elige **database.sql** (archivo en la carpeta de instalación), finalmente presiona continuar, si todo salió bien verás un mensaje de confirmación.





4. Selecciona nuevamente la base de datos que creaste, ahora hay 2 tablas dentro de la base de datos, una llamada incubadoras y otra llamada valores. Una vez que tengas estos datos, debes ingresarlos en el archivo database.php, ubicado en:

**template -> common -> database.php**

**`$dbusername` = 'nombre de usuario que creaste'**

**`$dbpassword` = 'password que creaste'**

**`$dbname` = 'nombre de la base de datos que creaste'**

## Usar App Web

Para agregar la Incubadora, abre la url donde subiste la appWeb, si todos los pasos anteriores están bien, deberías ver lo siguiente:



Presionar **Ver incubadoras** -> **Nueva Incubadora**

El primer dato a ingresar es el id de la incubadora, en la Wemos ingresaste un Id para esa incubadora en particular, acá debes ingresar el número que agregaste ahí, en este ejemplo era “1”

**Wemos: String idincubadora = “?idincubadora=1”;**

Luego debes ingresar un nombre a tu incubadora y finalmente alguna descripción. Ahora deberías verla en el selector.



## ¡Comienza a usar la Incubadora!

En el paso anterior creamos la Incubadora en la Webapp y la vinculamos a la Wemos. Ahora conecta la Wemos a tu PC para subir el código desde Arduino. Una vez cargado el código, conecta la Wemos a los 5V de la fuente de poder como sale en el diagrama electrónico.

Enciende la fuente de poder. La Wemos se conectará a la red wifi y empezará a enviar datos a la webapp. En la plataforma presiona “ver data”. Acá podrás ver lo datos de humedad y temperatura como gráfico. En la parte superior podrás elegir rango de fechas y si existen datos, verás el gráfico o la tabla de dicha selección, finalmente bajo las fechas podrás ver el botón “Intercambiar Vista”, esto te permite ver el gráfico en ancho completo.

Rango de fechas: 2019-10-28 2019-10-31

Oct 2019

Lun	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom
	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

medad %

*Prototipo final de investigación Incubadora 2019.*

Rango de fechas: 2019-11-04 2019-11-04

Temperatura °C

Fecha	Temperatura
2019-10-29 16:10:17	21.79 °C
2019-10-29 16:18:59	21.82 °C
2019-10-29 16:58:59	21.92 °C
2019-10-30 01:49:04	21.65 °C
2019-10-30 02:49:05	21.54 °C
2019-10-30 03:49:06	21.45 °C
2019-10-30 04:49:06	21.36 °C
2019-10-30 05:49:07	21.24 °C
2019-10-30 06:49:08	21.15 °C
2019-10-30 07:49:09	21.03 °C
2019-10-30 08:49:10	20.95 °C
2019-10-30 09:49:11	20.84 °C
2019-10-30 10:49:11	20.8 °C
2019-10-30 11:49:12	20.82 °C
2019-10-30 12:49:13	20.96 °C

Humedad %

Humedad %

48.5  
48.0  
47.5  
47.0  
46.5  
46.0  
45.5

2019-10-29 16:10:17 2019-10-29 16:18:59 2019-10-29 16:58:59 2019-10-30 01:49:04 2019-10-30 02:49:05 2019-10-30 03:49:06 2019-10-30 04:49:06 2019-10-30 05:49:07 2019-10-30 06:49:08 2019-10-30 07:49:09 2019-10-30 08:49:10 2019-10-30 09:49:11 2019-10-30 10:49:11 2019-10-30 11:49:12 2019-10-30 12:49:13



Para setear la temperatura deseada (25°C ideal para el micelio), debes presionar el botón SET del panel, aparecerá una flecha al costado de la T°, gira el potenciómetro hasta llegar a la T° deseada y presiona el botón para setearla, la flecha aparecerá ahora en Humedad (el hardware aún no incluye sistema de humidificación pero se dejó en el código para que aparezca el valor en la pantalla LCD para un siguiente “upgrade” del prototipo). Presiona Set nuevamente y quedaran fijados ambos valores deseados. Dependiendo si la T° ambiental (valores de la derecha en la pantalla) es mayor o menor a la T° seteada, las peltier comenzaran a enfriar o a calentar el interior de la incubadora. Esta orden es enviada por la wemos, quien a su vez le indica al Puente H invertir o no la corriente, de esta manera, la cara de la peltier que está hacia el interior, se calentará o se enfriará.

Esperamos que puedas fabricar con éxito tu prototipo, y que muchas personas realicen mejoras y adaptaciones a los requerimientos de cada experimentador!

# ⟨CONCLUSIONES Y PROYECCIONES⟩

## CONCLUSIONES

Todo el proyecto de investigación que hay detrás de esta guía-manual tuvo desafíos constantes en su desarrollo y sólo fué posible de concretar gracias a la participación y colaboración de muchas personas, diversas redes e instituciones.

La incubadora se inició con requerimientos más ambiciosos, que en el camino y por falta de tiempo y expertise tuvimos que dejar de lado. Por lo cual nos concentramos en terminar un prototipo que funcionara con el requerimiento básico para el cultivo de micelio de hongo, la temperatura. A su vez, logramos desarrollar una plataforma de visualización amigable, para poder monitorear datos de temperatura y humedad, teniendo la ventaja de observarlos en rangos de fechas determinados (duración de un experimento por ejemplo) y poder agregar más incubadoras a la misma plataforma de visualización.

En el caso del biomaterial, logramos conformar Micotextil con el micelio del hongo *Trametes versicolor* y una matriz de yute (fibra natural). Se utilizaron diferentes tipos de hongos (micelio) y fibras naturales lo que permitió evaluar y comparar cuál combinación daba mejor resultado al conformar Micotextil. Las iteraciones en los diferentes experimentos permitió vislumbrar diferentes formas de conformar el biomaterial.

Los films y coatings que se aplicaron al Micotextil permitieron lograr una mayor flexibilidad del material lo que permitió una exploración de este, generando pautas de cómo podemos diseñar indumentaria con Micotextil. Además la exploración al utilizar otros hongos y métodos permite proyectar nuevas maneras de conformar el micotextil.

## PROYECCIONES

Se proyecta emplear nuevos métodos para conformar micotextil, tanto en sus modos de crecimiento y cultivo como en la utilización de coatings y films, para así poder caracterizar el material de manera física, mecánica, simbólica y experiencial. Así podemos proyectar el micotextil como una aplicación concreta en el diseño de indumentaria

En cuanto al Hardware Científico Abierto, en esta guía hablamos siempre de prototipo ya que la incubadora no pretende ser un producto terminado, es decir, su diseño, código y funcionamiento quedan totalmente abiertos a través de su documentación publicada en el repositorio y en el manual. De esta forma el prototipo puede tener varias iteraciones a lo largo del tiempo y responder a necesidades específicas de cada lugar e investigación.

Como conclusión y en el marco del desarrollo de biomateriales basados en micelio de hongo, queremos realizar nuevas versiones de la incubadora, agregar un sistema de humidificación - punto que quedó documentado, pero por tiempo no se aplicó- así podremos incorporar nuevas variantes al prototipo como luz, control de CO<sub>2</sub>, entre otros e incorporar la información en la plataforma Webapp.

De esta forma y teniendo como experiencia esta investigación y las anteriores creemos que es importante e imprescindible la integración de redes de colaboración, ya sean colectivas o individuales en este tipo de desarrollos. Sin ellas, sin la empatía, sin el compañerismo, sin el acceso a la información, este tipo de proyectos no podrían ser visibles, más aún cuando domina un sistema que no fomenta este tipo de iniciativas.





FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE



PROGRAMA IBEROAMERICANO DE CIENCIA  
Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO