



La aventura  
de aprender

# CÓMO HACER

un Laboratorio  
biomaker:  
Bioimpresión  
con bacterias



INSTITUTO NACIONAL DE  
TECNOLOGÍAS EDUCATIVAS Y DE  
FORMACIÓN DEL PROFESORADO



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE EDUCACIÓN, FORMACIÓN PROFESIONAL  
Y DEPORTES

## MINISTERIO DE EDUCACIÓN, FORMACIÓN PROFESIONAL Y DEPORTES

Dirección General de Evaluación y Cooperación Territorial  
Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (INTEF)  
Recursos Educativos Digitales



La **Aventura de Aprender** es un espacio de encuentro e intercambio en torno a los aprendizajes para descubrir **qué prácticas, atmósferas, espacios y agentes hacen funcionar las comunidades**; sus porqués y sus cómo o en otras palabras, sus anhelos y protocolos.

Este proyecto parte de unos presupuestos mínimos y fáciles de formular. El primero tiene que ver con la convicción de que **el conocimiento es una empresa colaborativa, colectiva, social y abierta**. El segundo abraza la idea de que **hay mucho conocimiento que no surge intramuros de la academia** o de cualquiera de las instituciones canónicas especializadas en su producción y difusión. Y por último, el tercero milita a favor de que **el conocimiento es una actividad más de hacer que de pensar** y menos argumentativa que experimental.

Estas guías didácticas tienen por objetivo **favorecer la puesta en marcha de proyectos colaborativos que conecten la actividad de las aulas con lo que ocurre fuera del recinto escolar**.

Sin aventura no hay aprendizaje, ya que las tareas de aprender y producir son cada vez más inseparables de las prácticas asociadas al compartir, colaborar y cooperar.

<http://laaventuradeaprender.intef.es>

**Proyecto concebido y coordinado por**

**Antonio Lafuente**

para INTEF

<https://intef.es>

NIPO (formato html) 164-24-001-7

NIPO (formato PDF) 164-24-002-2

NIPO (formato web) 164-24-010-3

DOI (formato web) 10.4438/LADA\_164240103

DOI (formato PDF) 10.4438/LADA031\_2024

Por Vanessa Lorenzo Toquero para INTEF

Obra publicada con licencia de Creative Commons Reconocimiento-Compartir Igual 4.0



Licencia Internacional.

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

### Derechos de uso

El texto de esta guía ha sido creado expresamente para este artículo.

Imagen Portada. Bioimpresión "Hello Future". Fotografía: Vanessa Lorenzo Toquero [CC-BY SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Para cualquier asunto relacionado con esta publicación contactar con:

Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado  
C/Torrelaguna, 58. 28027 Madrid.

Tfno.: 91-377 83 00. Fax: 91-368 07 09

Correo electrónico: [lada@educacion.gob.es](mailto:lada@educacion.gob.es)

# ÍNDICE

Introducción . . . . .	4
Materiales . . . . .	6
Pasos . . . . .	8
Recursos . . . . .	29

## QUIÉN HACE ESTA GUÍA

**Vanessa Lorenzo Toquero** es una artista e investigadora híbrida en [hybridoa.org](http://hybridoa.org), y miembro del comité de [Hackuarium](http://Hackuarium) biohackerspace en Lausanne. Estudió Ingeniería en Diseño de Producto (Mondragón Unibertsitatea, 2008), Postgrado en Conceptualización y Desarrollo de Producto (Elisava, Barcelona, 2010) y un Máster en Diseño de Medios (HEAD-Ginebra, 2016). Vanessa crea ecologías de medios híbridos entre la naturaleza, los seres que cohabitan en ella y las tecnologías que los entrelazan. Estos ensamblajes de medios interactivos y biológicos buscan resaltar la agencia del más-que-humano\* para hacer posible simpatías extrañas entre especies e imaginar futuros post-antropocéntricos\*\*. Originaria de Barakaldo, y basada en Lausana (Suiza), la autora ha expuesto internacionalmente, participando en conferencias y desarrollando talleres que se centran en la poesía radical del más-que-humano. Ella se nutre de y cree en comunidades de hackers/artistas que trabajan en espacios alternativos que tienen el poder de subvertir el papel dominante de la ciencia y la tecnología tradicionales.

*(\*) todos los seres con agencialidad y que no son humanos como animales, plantas, bacteria pero también robots, algoritmos y cambio climático.*

*(\*\*) futuro donde no solo el ser humano esté en el centro, sino el conjunto de los seres que habitamos el planeta. Esto pasa por ser conscientes de la existencia de otras especies, y nuestra íntima co-dependencia con ellas.*

### Disclaimer

Esta es mi experiencia personal, y por lo tanto seguro que hay otras formas de hacerlo. Supongo que esto que te cuento puede resultar un poco surrealista o complejo. A mi también me lo pareció al principio! Espero que esto no te pare. También es posible que algunas cosas a veces aparezcan en términos inhabituales. El lenguaje no te debe detener. También me pareció un poco extraño cuando aprendí y, por fortuna, no me desanimé, y ahora sigo aprendiendo cosas que nunca imaginé. Dale caña!

# INTRO DUCCIÓN

¿Y si pudiéramos producir colores a partir de las bacterias en nuestras cocinas? ¿Y si pudiéramos reciclar materiales, colores y máquinas para crear de otra manera? La biología garaje o biohacking es la idea de hacer por uno mismo aquellas ac-

tividades reservadas al sistema de producción industrial y académico; es imaginar a la gente apropiarse de un conocimiento reservado, para construir y crear con biotecnología abierta.



1. Proyecto "Pr\_inkt plastic, it's fantastic!" desarrollado entre la HEAD-Genève y Hackuarium. Fotografía por Dylan Perrenoud, 2015.

A medida que la tecnología amplía nuestra capacidad humana para dar forma a objetos y entornos, el desarrollo de las biociencias añade una paleta más diversa para crear: la materia viva. La creación con materia viva se ha “cocinando” desde la década de 1990, cuando la investigación en la intersección entre tecnología, biología y arte fué impulsada por biomakers y bioartistas en el campo de la biología sintética, la genética o la ingeniería de tejidos influyendo también en el diseño y el arte contemporáneo.

Además, el movimiento biohacking, biología “hazlo tu misma” o “do-it-yourself” (DIYBio) han otorgado, desde hace poco más de una década, acceso a herramientas para las personas ajenas al

mundo de las ciencias o la biotecnología. Esta peculiar sinergia apoya el resurgimiento de proyectos transdisciplinarios influyendo en la forma en que los artistas y diseñadores trabajan.

Es importante destacar que, hoy en día, la trascendencia de esta nueva paleta de herramientas es mucho mayor, ya que manipulan la materia viva y, en definitiva, la vida. Esto puede ser muy beneficioso para el conjunto de la sociedad ya que ayudan a crear un nuevo conocimiento y un diálogo fuera del hermetismo del laboratorio. Igualmente, estas herramientas requieren toda nuestra atención y explorarlas de una forma colectiva, abierta e informada.



2. Participantes en el taller “Magik Ink – Hacking the Printer” impartido en el [Center for Future Publishing](#) de la HEAD-Genève, 2017. Fotografía: Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)



3. Biohacker y artista Maya Minder, participante en el taller “XGBML” impartido por Raphaëlle Mueller y Vanessa Lorenzo para la [Sémiosphère du Commun](#) en Utopiana, Ginebra, 2018. Fotografía: Raphaëlle Mueller, 2017 [CC BY-NC 4.0](#)

Esta guía nos introduce a la creación con pigmentos biológicos, en concreto a la bioimpresión con bacterias. Los pigmentos biológicos o bio-pigmentos son partículas coloreadas en organismos vivos como las bacterias, plantas o algas. La clorofila verde, por ejemplo, se puede encontrar en cianobacterias como la espirulina.

Aprenderemos también sobre la microbiota humana. La microbiota es una comunidad ecológica de microorganismos, como bacterias, que habitan nuestro cuerpo y de otros seres multicelulares desde plantas a animales. Estos seres microscópicos se encuentran generalmente asociados a tejidos sanos (piel, mucosas, etc.) y son esenciales para llevar a cabo funciones inmunológicas, hormonales y metabólicas. En nuestra piel existen bacterias que producen color en función de la presencia de la luz, composición del sustrato y la temperatura de incubación. Los pigmentos deri-

van de distintos productos químicos como carotenoides, pirroles y otros. A continuación exploraremos las bacterias productoras de color, así como sus métodos de cultivo para imprimir con ellas.



4. Bacterias la mano. Fotografía: Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)

# MATERIALES

Nota: Antes de proceder, procura mantener las superficies limpias con 70–96% de etanol, guantes, evitar hablar o llevar máscara. Es recomendable que tengas a mano una cocinilla de gas con llama regulable para ayudar a la circulación de aire

limpio en la zona de trabajo. Si no fuera posible, una vela grande también vale (imagen 5). También se puede crear un espacio cerrado con una caja (imagen 6). Mantén la llama fuera del alcance de los niños.



5. Taller “Bioink” con Open Science School (CRI, París) en Hackuarium, Lausanne, 2017. Fotografía por Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)

## AZUL SPIRULINA (CYANOBACTERIA):

- ✓ Espirulina liofilizada en polvo [link](#)
- ✓ Agua (del grifo)
- ✓ Papel absorbente
- ✓ Filtro de café



6. Participantes en el taller “Magik Ink – Hacking the Printer” para [Center for Future Publishing HEAD-Genève](#), 2017. Fotografía: Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)

## PREPARACIÓN DE MEDIO DE CULTIVO LB Y L AGAR

- ✓ Placas Petri circulares de plástico(90 mm x 15 mm) [link](#)
- ✓ Opcional placas petri cuadradas 120mm x 120mm x 15mm [link](#)
- ✓ Agar-agar [link](#)
- ✓ Tryptone [link](#)
- ✓ NaCl (cloruro de sodio, sal común o sal de mesa)
- ✓ Extracto de levadura [link](#)
- ✓ Agua desmineralizada (agua de planchar, neutra sin perfume) [link](#)
- ✓ Glycerol (no imprescindible) [link](#)

Opcional (en lugar de tryptone, NaCl, extracto de levadura y agar):

- ✓ LB, medio de cultivo Luria Bertani (LB) ya preparado [link](#)

## SERIGRAFIA CON BACTERIAS PRODUCTORAS DE BIOPIGMENTOS:

- ✓ Tela de silicona [link](#)
- ✓ Placas petri cuadradas 120mm x 120mm x 15mm [link](#)
- ✓ Agar-agar [link](#)
- ✓ Óxido mineral, pigmento azul en polvo (no imprescindible) [link](#)
- ✓ LB, medio de cultivo Luria Bertani (LB) ya preparado [link](#)

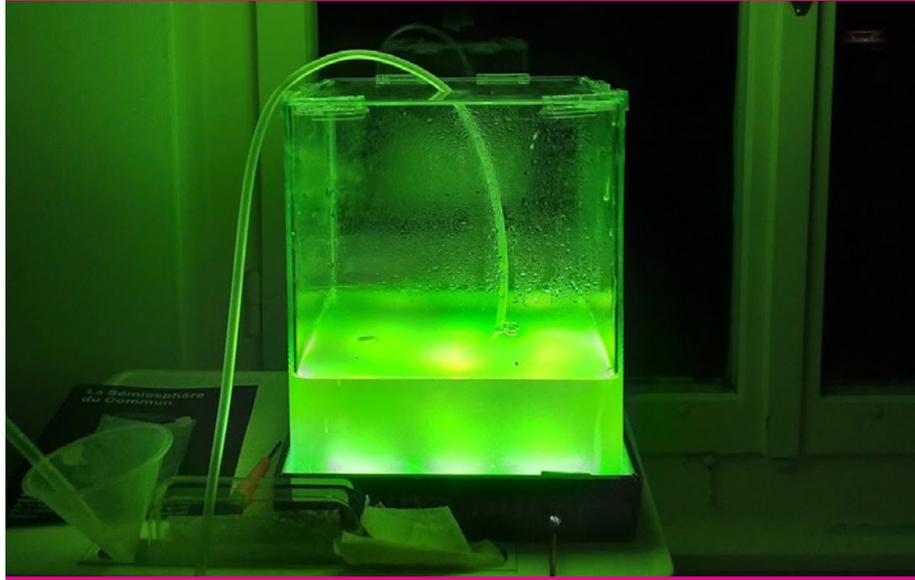
## BIOIMPRESION CON BACTERIAS:

- ✓ Impresora 3D MakerBot Thing-O-Matic (2010) [link](#) o similar (imagen 6)
- ✓ Pipeta Pasteur de vidrio [link](#)
- ✓ Cocinilla de gas o vela [link](#)
- ✓ Botella o erlenmeyer de vidrio
- ✓ LB, medio de cultivo Luria Bertani (LB) ya preparado [link](#)
- ✓ Agar-agar [link](#)
- ✓ Opcional placas petri cuadradas 120mm x 120mm x 15mm [link](#)
- ✓ Bomba peristáltica (con motor paso-a-paso) [link](#)
- ✓ Tubo de silicona de unos 3 o 4 mm diámetro interno [link](#)
- ✓ Bacterias :
  - ✓ Micrococcus Luteus (Amarillo, Bioseguridad 1) (gratis, piel)
  - ✓ Micrococcus Roseus (Rosa salmón, Bioseguridad 1) (gratis, piel)
  - ✓ Chromobacterium Lividum (Violacein, Bioseguridad 1) (pedir a ATTC) [link](#)

## EXTRACCIÓN DE TINTAS

- ✓ DSL 10% , detergente super potente [link](#)
- ✓ Pipeta de plástico (3mL) [link](#)
- ✓ Microtubos Eppendorf de 1,5mL [link](#)
- ✓ Ethanol [link](#)
- ✓ Agitador Vortex [link](#)
- ✓ Placa calefactora/agitadora (no imprescindible) [link](#)

# PASOS



7. Spirulina de Jacques Falquet en Utopiana. Vanessa Lorenzo, 2020 CC BY-SA 4.0

## INTRODUCCIÓN A LOS BIO- PIGMENTOS

Los bio-pigmentos son partículas coloreadas en organismos vivos como las plantas, algas o bacterias. Por ejemplo, la clorofila verde, se puede encontrar en algas o en cianobacterias como la spirulina (imagen 7), donde también se encuentran pigmentos azules como la ficocianina. La violaceína se encuentra en bacterias como *Janthinobacterium lividum* (imagen 8).



8. Bacterias de color, Lausanne, 2018.  
Vanessa Lorenzo Toquero CC BY-SA 4.0

# EXTRACCIÓN DEL AZUL SPIRULINA O FICOCIANINA

La espirulina es un alga unicelular azul-verdosa, conocida como "supercomida" por ser una fuente importante de proteínas, vitaminas y minerales. Es uno de los organismos más resistentes y diversos ya que se adaptan y habitan los parajes más variados y extremos de la tierra desde desiertos a aguas termales o salinas.

Además, en su interior contiene tres pigmentos: azul, verde y naranja que se pueden utilizar para colorear alimentos y materiales. El pigmento azul se llama ficocianina y es el único de los tres pigmentos solubles en agua. Para extraer el pigmento azul, hay que secar el cultivo o usar espirulina liofilizada (seca), que se puede encontrar en las herboristerías o por internet (ver materiales). Ingredientes:

- 2 cucharaditas de spirulina liofilizada
- Agua del grifo, en relación 1:1 (a ojo, misma cantidad de uno que de otro)
- Papel absorbente
- Filtro de café



Mezcla bien la espirulina con un chorrillo de agua hasta que el polvo se haga una pasta. Vuelve a echar agua hasta que se quede líquido y la cuchara pueda moverse fácilmente. Deja reposar un par de horas y retira la capa de tinta azul que aparecerá en la superficie con una cuchara o introduciendo papel absorbente (Imagen 9).

También se puede filtrar la mezcla con un filtro de café muy fino (imagen 10).



9. Ficocianina absorbida por el papel.  
Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)



10. Filtro de café para ficocianina. Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)

Las ventajas de usar las algas como fuente de tintes y colorantes alimentarios son:

- Valor nutritivo: La mayoría de los pigmentos tienen un alto valor nutritivo a diferencia de sus homólogos sintéticos.
- Respeto al medio ambiente: El proceso de producción de colorantes naturales a partir de algas no implica el uso de productos químicos nocivos y/o contaminantes.

- No toxicidad y no carcinogenicidad: Los pigmentos derivados de las algas han sido certificados como seguros para su uso como colorantes alimentarios. Estas razones han contribuido a aumentar la necesidad de colorantes y tintes ecológicos no tóxicos de las algas.

# INTRODUCCIÓN A LAS BACTERIAS PRODUCTORAS DE PIGMENTOS

La microbiota es una comunidad de microorganismos, como bacterias, que habitan nuestro cuerpo. Estos seres microscópicos se encuentran generalmente asociados a tejidos sanos (piel, mucosas, etc.) y son esenciales para llevar a cabo funciones inmunológicas, hormonales y metabólicas. En nuestra piel (y en la de otros animales) existen bacterias que producen color en función de la presencia de la luz, composición del sustrato y la temperatura de incubación. Los pigmentos derivan de distintos productos químicos como carotenoides, pirroles y otros. Los carotenoides, por ejemplo, protegen a la célula de la foto-oxidación y da a las bacterias colores que van desde el tono amarillo al rosa.

En esta guía trabajaremos con pigmentos extraídos de bacterias de nuestra propia piel para la producción de bio-pigmentos y bio-impresión como *Micrococcus Luteus* (amarillo), *Micrococcus Roseus* (rosa) o adquiridas por internet como *Janthinobacterium lividum* (violeta) o *Chromobacterium violaceum*. Desde que inicié este proyecto en 2015 en Hackuarium y HEAD-Genève, se han restringido bastante la venta de cultivo de bacterias por internet, por lo que recomiendo hacer uso de las propias bacterias de colores que se pueden obtener de nuestra propia piel (amarillas, rosas).



## CONDICIONES Y CRECIMIENTO BACTERIANO

Las condiciones físicas (temperatura, luz), químicas (acidez, pH), toxicidad o nutrientes influyen en el desarrollo de las bacterias, los pigmentos y su naturaleza física del color.

### TEMPERATURA:

En teoría, las bacterias pueden crecer a todas las temperaturas entre el punto de congelación del agua y la temperatura a la que se coagula la proteína o el protoplasma. En algún lugar entre estos puntos máximo y mínimo se encuentra la temperatura óptima a la que las bacterias crecen mejor. La mayoría de las células mueren después de la exposición a tratamientos térmicos del orden de 70 ° C durante 15 segundos, aunque los organismos formadores de esporas requieren un tratamiento térmico más severo con vapor a 120 °C durante 30 minutos. Las bacterias se pueden clasificar según la preferencia de temperatura: las bacterias psicrófilas crecen por debajo de 16 °C, las bacterias mesófilas crecen entre 16 y 40 ° C, y las bacterias termófilas crecen a más de 40 ° C.

### NUTRIENTES:

Las bacterias necesitan nutrientes para su crecimiento y algunas necesitan más nutrientes que otras. Las bacterias normalmente se alimentan de materia orgánica; además de material para la formación de células, la materia orgánica también contiene la energía necesaria. Dicha materia debe ser soluble en agua para poder atravesar la membrana celular. Por tanto, las bacterias necesitan agua para transportar nutrientes a la célula.

### AGUA:

Las bacterias no pueden crecer sin agua. Muchas bacterias mueren rápidamente en condiciones secas, mientras que otras pueden tolerar las condiciones secas durante meses.

### OXÍGENO:

Los animales necesitan oxígeno para sobrevivir, pero las bacterias difieren en sus necesidades y en su capacidad para utilizar el oxígeno. Las bacterias que necesitan oxígeno para crecer se denominan aeróbicas, las que no se denominan anaeróbicas. Algunas bacterias pueden vivir con o sin oxígeno y se conocen como bacterias anaeróbicas facultativas.

### ACIDEZ:

La acidez de un sustrato nutriente se expresa más simplemente como su valor de pH. La mayoría de las bacterias prefieren un entorno de crecimiento con un pH de aproximadamente 7, es decir, neutralidad.

En el siguiente experimento, manipularemos y cultivaremos diferentes cepas de bacterias productoras de pigmentos y observaremos su crecimiento. La pigmentación es una característica común a muchas especies de bacterias y juegan un papel importante en la supervivencia de los organismos que los producen (extraído de MicrobeWiki). Usaremos 3 cepas diferentes en nuestro experimento.

# MEDIOS DE CULTIVO

Luria-Bertani (LB) es un medio de cultivo rico en nutrientes que se utilizan para el cultivo de bacterias.

La siguiente receta se utiliza para preparar una solución de LB líquido de 500 ml:

- Mezclar 5 g de triptona, 5 g de cloruro de sodio (NaCl) y 2,5 g de extracto de levadura y añadirlos a una botella de 1 L de Duran. (también se puede adquirir la mezcla LB hecha, necesitaremos 7,5gr)
- Medir aproximadamente 500 ml de agua destilada y añadirlos a la botella de Duran.
- Agitar la botella para disolver los reactivos.
- Para esterilizar se necesita un autoclave en un ciclo de 20 min a 120°C y a una presión 15 psi. Si no tuvieras acceso a un autoclave, puedes usar una olla a presión, con una base de vapor y 3 botes de vidrio (de mermelada, por ejemplo), semi-llenos y semi-cerrados (importante! No cerrarlos ni llenarlos completamente) envueltos en un paño de tela para sostenerlos y protegerlos.





11. Botellas de LB líquido en olla. Vanessa Lorenzo Toquero [CC BY-SA 4.0](#)

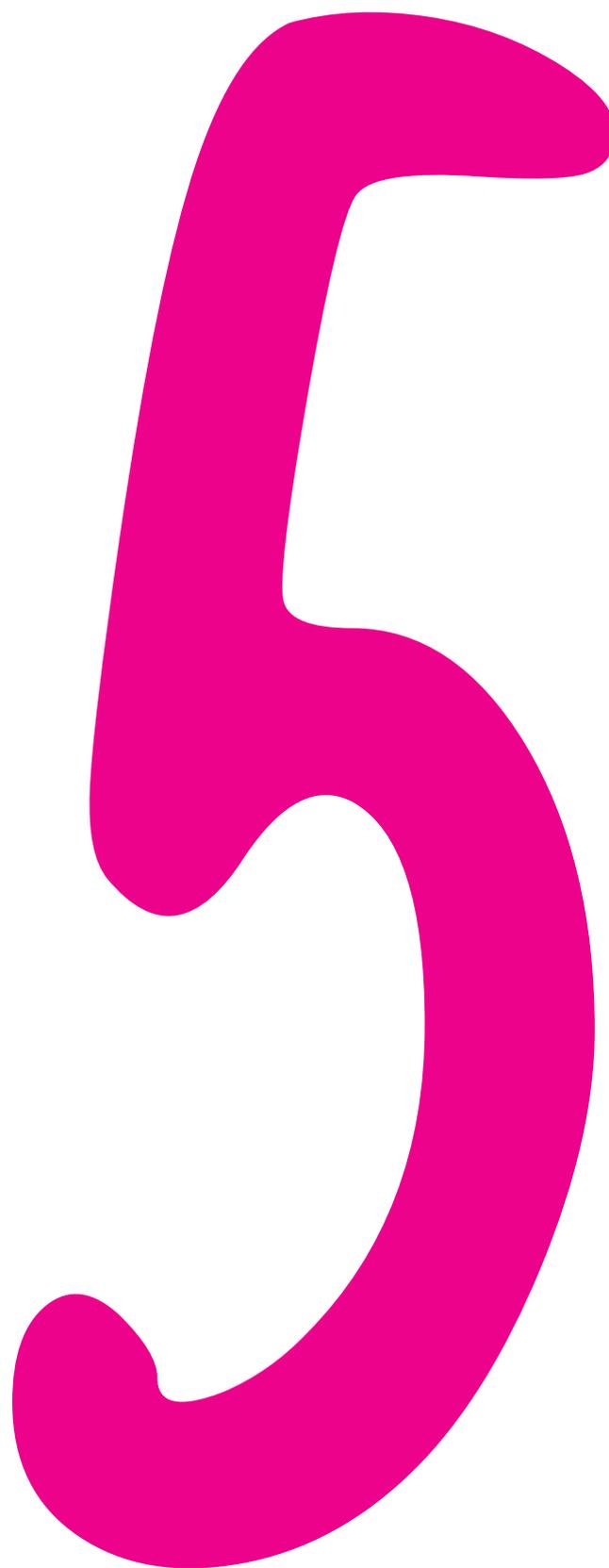
La siguiente receta se utiliza para preparar una solución de LB agar de 500 ml y consiste básicamente en añadir 7.5 gramos de agar a la mezcla anterior de LB. La palabra “agar” viene del malayo agar-agar y se utiliza como espesante. Es más consistente que la gelatina y es de origen vegetal. Esta cantidad será suficiente para hacer aproximadamente 20–30 platos:

- Mezclar 7.5 gramos de agar, 5 g de triptona, 5 g de cloruro de sodio (NaCl) y 2,5 g de extracto de levadura y añadirlos a una botella de 1 L de Duran. ¡Ojo! Nunca llenaremos las botellas más de la mitad. (también se puede adquirir la mezcla hecha)
- Para un efecto estético, es posible colorear el medio LB, preferiblemente con pigmentos minerales de grado cosmético aptos para uso en cremas, como  $\frac{1}{4}$  de cucharada de café de pigmento mineral azul, por ejemplo (ver materiales).
- Una vez esterilizados, verter una capa de 2-3mm en cada plato petri antes de que se solidifique el agar (aprox. a menos de  $55^{\circ}\text{C}$ )

# CULTIVO DE BIOPIGMENTOS



12. *Micrococcus Luteus*.  
Foto tomada por Dylan Perrenoud, 2015.







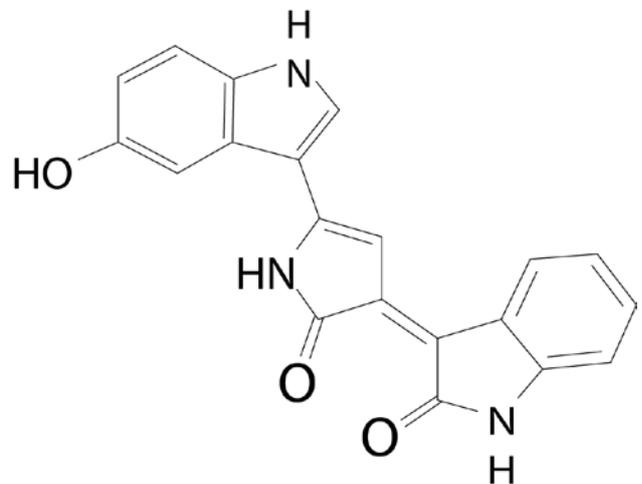
16. *Janthinobacterium lividum*. Foto tomada por Dylan Perrenoud, 2015.

## JANTHINOBACTERIUM LIVIDUM

Bacteria aerobia que tiene un color violeta oscuro distintivo (casi negro) debido a la producción de violaceína. Sus propiedades antifúngicas son de particular interés ya que *J. lividum* se encuentra en la piel de ciertos anfibios, incluida la salamandra de lomo rojo *Plethodon cinereus*, donde previene la infección por el devastador hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*.

Para cultivar las bacterias inoculamos la bacteria en una placa con LB agar, y una temperatura acogedora de 25 a 30 °C (si no dispones de un incubador, puedes ponerlo detrás de la nevera donde suele haber una temperatura constante). Las bacterias violetas se desarrollarán en su plato después de 4 o 7 días. ¿Quieres tinta? Una vez lanzado el cultivo, lo mejor es transportarlos con una espátula estéril a una botella de LB (líquido) + 1% de glicerol (líquido, 5ml por 500ml de medio LB en nuestro caso), agitarlo constantemente a unas 270 rpm en una agitadora de 4 a 7 días, a una temperatura de 25-30°C.

Nota: El glicerol es un refuerzo para aumentar la producción de violaceína. También crecen en medio Ty + 1% glicerol para una producción máxima de pigmento, aunque en este guía trabajaremos sólo con LB.

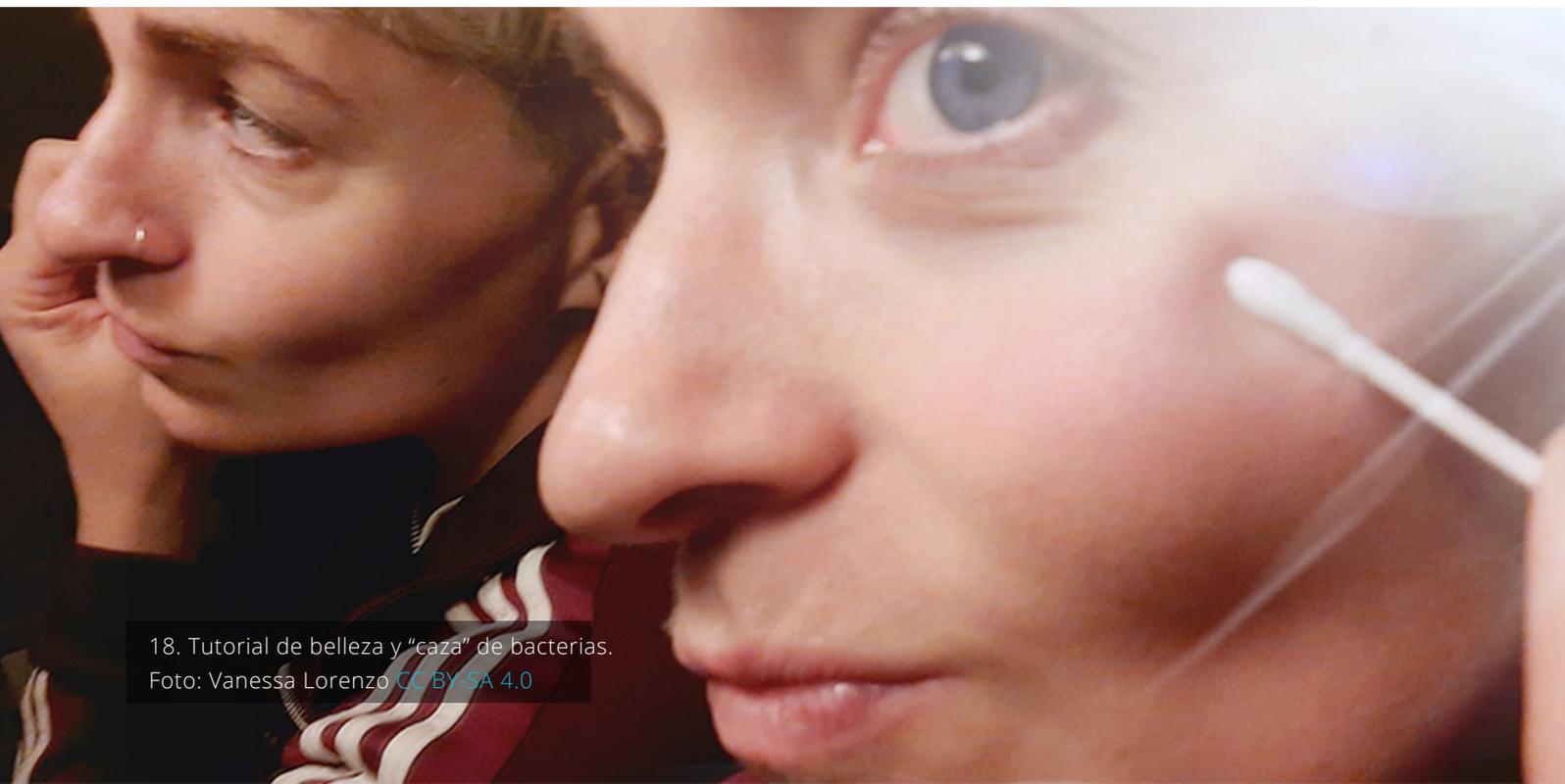


17. Molécula de *Janthinobacterium lividum*. Estructura química de la violaceína, un pigmento violeta que se encuentra en *Janthinobacterium lividum*.

# SELECCIÓN DE BACTERIAS

## INOCULAR BACTERIAS DE NUESTRA PIEL

Las bacterias se pueden pedir por internet en ciertos casos, pero suelen ser caras. Por qué pagar cuando las tenemos gratis en la piel? Con la cara limpia, coge un bastoncillo y frótalo contra la piel, insistiendo en las zonas más grasas. A continuación, inocula con el bastoncillo una placa petri con medio LB agar. Mantenerlo a una temperatura constante de unos 30°C (detrás de la nevera, por ejemplo) de 3 a 5 días hasta que se hagan visibles las bacterias de colores.



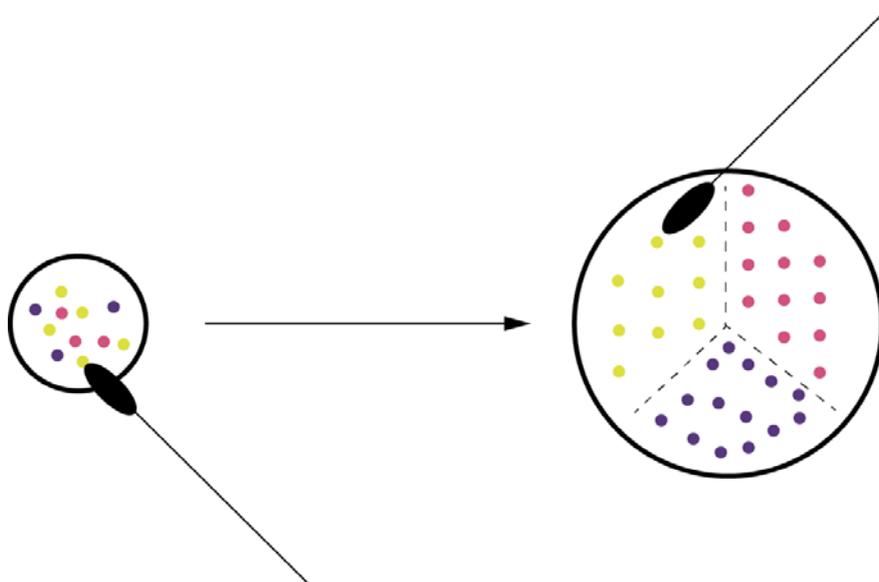


19. Corinna Mattner (Hackteria) inoculando bacterias de su piel durante el LSD Festival en Basel, 2018.  
Fotografía: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

## SELECCIONAR Y PROPAGAR SUS COLORES

Una vez pasado el tiempo, coger un bastoncillo o palillo dental (para mayor precisión) por cada color que veamos y queremos aislar. Impregnamos con cuidado el bastoncillo en las bacterias de un

color y lo inoculamos en una nueva placa petri. Esperar otros 3 días aproximadamente para ver el resultado. Repetir hasta tener un cultivo únicamente de este color.



20. Proceso de selección y propagación por colores.  
Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

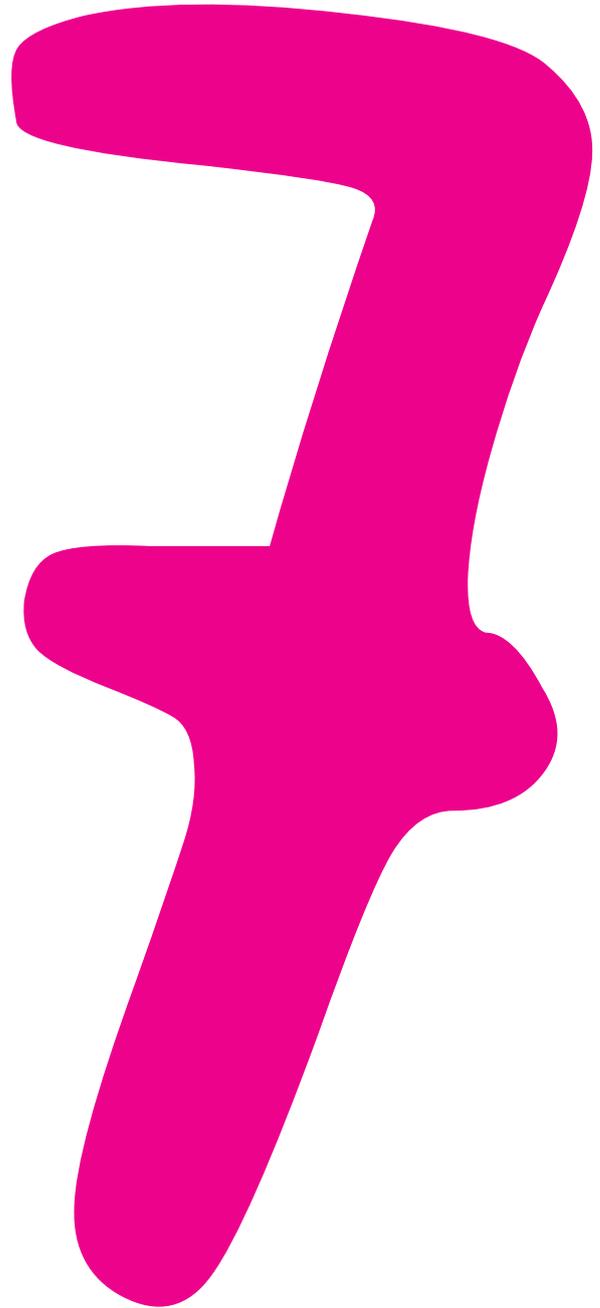
# SERIGRAFIA CON BACTERIAS

Ahora puedes dibujar con bacterias de colores sobre placas de petri o experimentar y usar las bacterias en diferentes condiciones para controlar su crecimiento. Ten en cuenta las condiciones de cultivo y anticipáte a los resultados de antemano como ejercicio. Los pigmentos normalmente son producidos por bacterias, plantas o incluso animales o de defensa como reacción al estrés ambiental. ¿Qué podemos hacer con estos pigmentos naturales? Investiguemos ideas.

Para colorear con pigmentos puedes usar dos técnicas. Una es tipo serigrafía, con plantillas que diseñaremos. La otra consiste en extraer solo los pigmentos del cultivo líquido.

Para serigrafiar con bacteria utiliza lo siguientes materiales:

- Tela de silicona
- Platos petri (por ejemplo, cuadrados)
- LB agar (coloreado con óxido mineral azul en polvo)

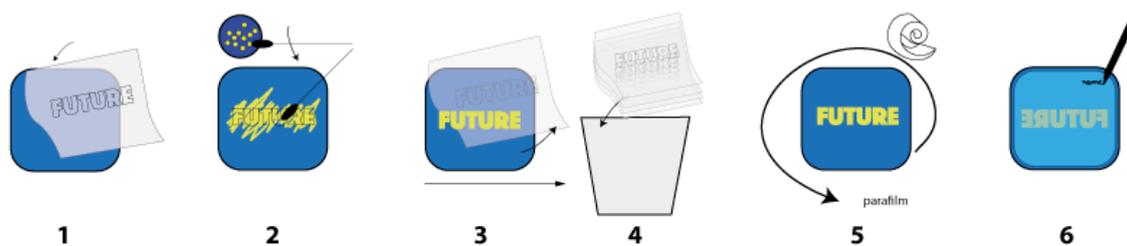


Con un diseño gráfico o logotipo vectorial en un programa libre como Inkscape (o de pago como Illustrator), se puede cortar la tela de silicona en la cortadora láser. La razón por la cual utilizamos tela de silicona es porque aguanta altas tempera-

turas (láser) y se puede esterilizar en autoclave o olla a presión hasta 230°C, así evitamos la contaminación de nuestro diseño con otro tipo de bacterias o microorganismos, aunque esto también puede ser interesante a nivel estético.



21. Taller de serigrafía con bacterias para Prototipoak 2018, en Azkuna Zentroa, Bilbao. Foto: Jon Palomar, 2018.



22. Secuencia de serigrafía bacteriana. Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Con un pincel o espátula, recoge las bacterias de colores de nuestro cultivo previamente preparado y rellena los huecos de nuestra plantilla de silicona. Retira la plantilla (almacenamos las usadas en un recipiente o papel de aluminio para posterior esterilización en olla a presión) y tapamos la placa pe-

tri con film de parafina (tapa, sella y deja respirar) para almacenarla boca abajo (recomendable escribir el nombre y la fecha) a temperatura constante de 30°C durante 3 o 5 días. El resultado se puede ver en la imagen de portada de esta guía.

# EXTRACCIÓN DE BIOTINTAS

Para extraer pigmentos para colorear, habría que cultivar antes los pigmentos seleccionados en LB líquido en botella (ver paso 6).

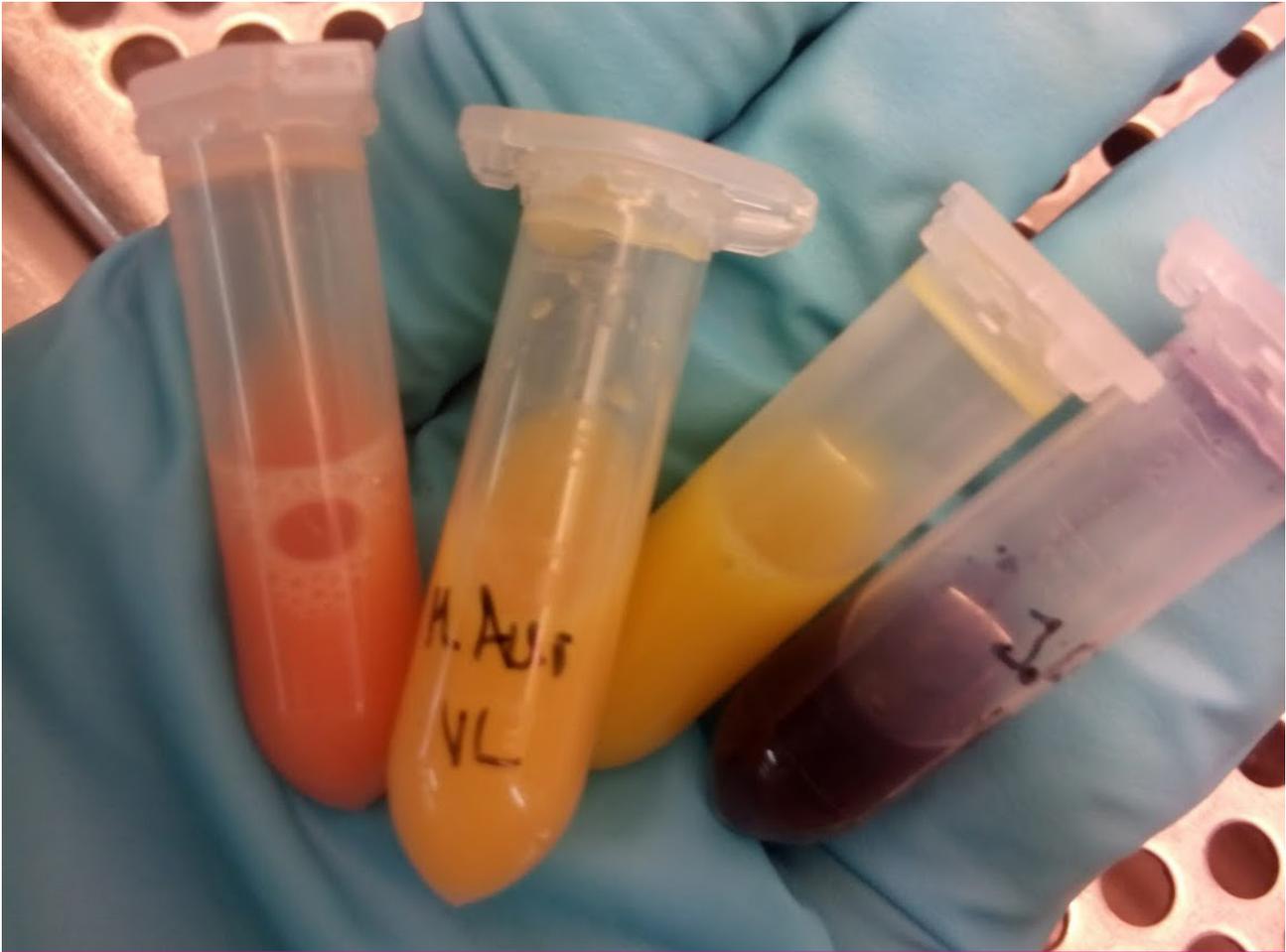


23. Cultivo líquido de *M. Roseus*: Vanessa Lorenzo  
CC BY-SA 4.0



Antes de empezar la extracción, prepara el espacio de trabajo: limpia la mesa con alcohol, encendemos la llama de gas/vela para tener una atmósfera limpia y sin bacterias en el aire. A continuación, retira el tapón o papel de aluminio de la boca de la botella con el cultivo de bacterias en LB líquido y calienta un poco la boca de la botella con un mechero antes de extraer muestras con una pipeta. Luego traspásalas a microtubos o tubos

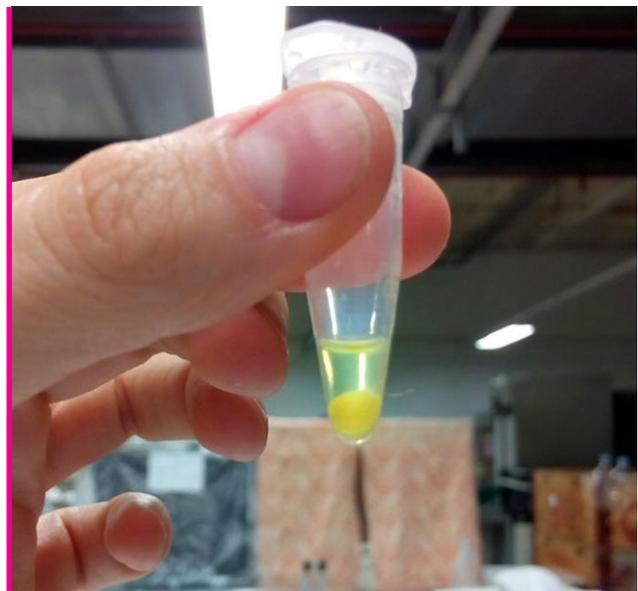
Eppendorf de 1,5mL (imagen 24). Calienta un poco con fuego la boca de la botella y el tapón o papel de aluminio antes de volver a poner el papel de aluminio. El proceso de traspasar el cultivo usando una pipeta de plástico a los microtubos Eppendorf tiene como objetivo meterlos posteriormente en una mini-centrifugadora (si no tienes acceso, mira la wiki de [Hackteria](#) para hacer una DIY con una batidora o esta de cartón en [Nature](#)).



24. Microtubos con bacterias líquidas. Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

Usaremos tantos microtubos Eppendorf como huecos tenga nuestra centrifugadora. Ojo! Es importante equilibrar la centrifugadora, es decir, guardar una simetría a la hora de poner el peso en la máquina ya que gira con mucha velocidad y podría desestabilizarse. Luego agitamos los tubos a 10 x 1000 rpm durante 10 minutos. Observaremos que las fases de medio líquido y bacteria colorada se han separado (imagen 25).

Inmediatamente después, procede a vaciar el medio LB líquido que debe quedar en la parte superior, y mezclamos el resto (Imagen 25, el concentrado de células bacterianas de colores en el



25. Fase líquida y sólida (bacterias de color) separadas. Foto: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

fondo) con un detergente ultra fuerte, dodecil sulfato de sodio (SDS). Pon los tubos en la máquina de ultrasonidos o agitador vortex (también puede ser DIY como en la imagen 26), con el fin de romper las moléculas para liberar el pigmento (sería útil) el contenido del tubo debe parecer uniforme, cremoso y colorido.

Centrifuga de nuevo para compactar y separar el pigmento de las células muertas, esta será nuestra primera tinta amarilla! (Más información en la wiki de Hackuarium [Grow & Mix bioink](#)). A veces las células tardan en romper, así que hará falta repetir el último paso varias veces. Centrifuga, retira la fase líquida, añade SDS a la fase cremosa de pigmento, agita para mezclar bien, centrifuga de nuevo, vuelve a retirar la fase líquida, no te desesperes! El proceso es el mismo para las tres tintas. Yo a veces intercalo SDS, con etanol para las células más fuertes).



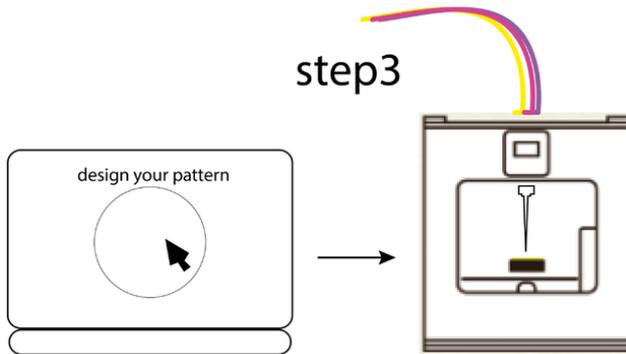
26. DIY Vortex con ventilador de ordenador.  
Foto: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)



27. Mi primera tímida extracción de tintas de 3 colores. Fotografía por Dylan Perrenoud, 2015.

# BIOIMPRESIÓN CON BACTERIAS

¿Cómo hacer funcionar una bio-impresora? Esta actividad está pensada para imprimir con bacterias: hacer un diseño digital e imprimirlo.



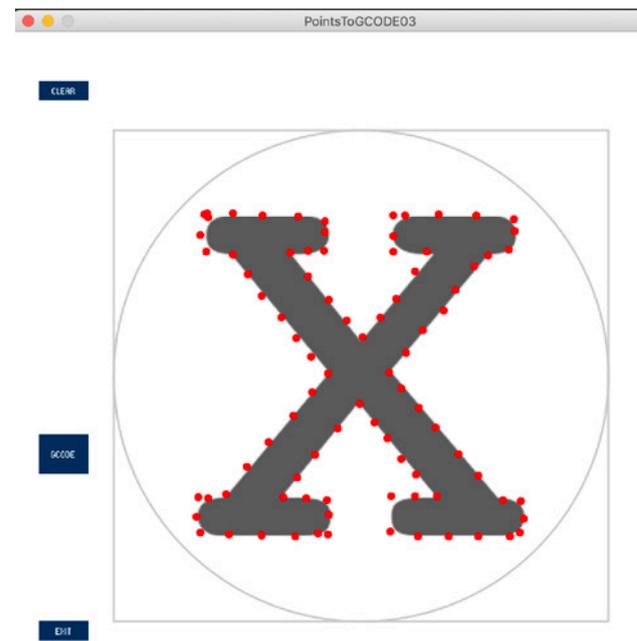
28. Funcionamiento de la bioimpresión.  
Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

## MATERIAL NECESARIO:

- MakerBot Thing-O-Matic (2010) o similar: Para este proyecto hemos reciclado una impresora de plástico 3D averiada para convertirla en una bioimpresora (upcycling). El modelo utilizado es una MakerBot Thing-O-Matic (2010) con un Arduino ATmega 1280, un MightyBoard v2.4 y un ECB 3.6
- Bomba peristáltica: El motor de esta bomba es el mismo que el del modelo MakerBot Thing-O-Matic (2010), con lo que las conexiones electrónicas no cambian. Sustituye el motor paso a paso de la boca de extrusión de plástico por esta bomba.
- Placas de petri con medio LB agar: Es recomendable usar placas petri cuadradas que aprovechen al máximo el espacio del plato de impresión, por ejemplo: Sigma-Aldrich, plástico, L x A 120 mm x 120 mm, plato H 16 mm o vidrio redondeado Diámetro exterior O.D. 200 mm, H 20 mm, autoclavable.
- Placa calefactora / agitador
- Botella o Erlenmeyer con cultivo de bacterias líquido (paso 6)
- Tubo de silicona de unos 3 o 4 mm diámetro interno
- Cocina de gas (circulación de aire limpio) o vela
- Etanol (Alcohol 96%)
- Guantes
- Papel de cocina

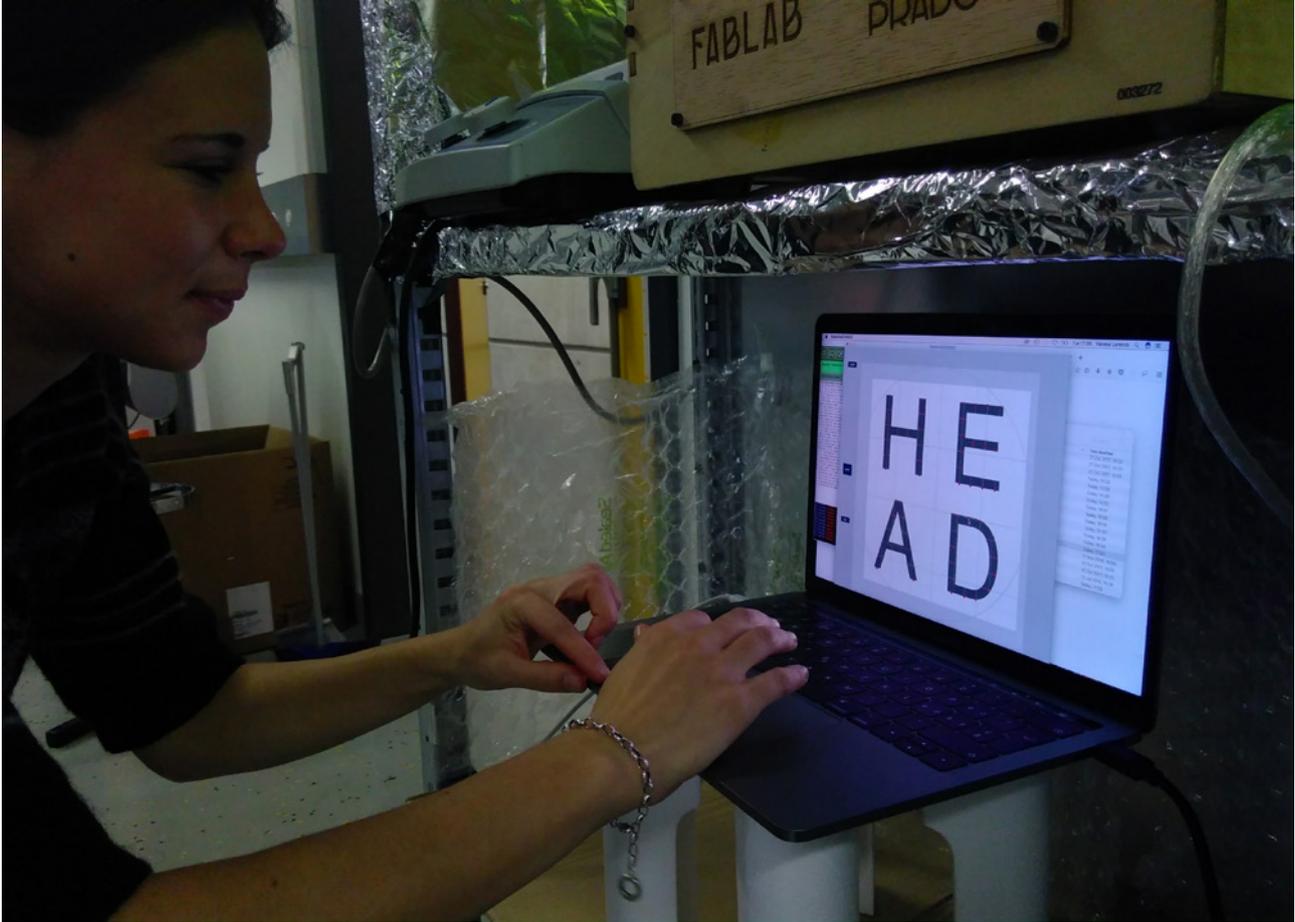
## PROCESSING

Descarga el software Processing 3, <https://processing.org/> un entorno flexible para aprender a codificar en el contexto de las artes visuales y la tecnología abierta. Se usa para crear programas interactivos en formatos 2D, 3D, PDF o vectorial SVG.



29. Sencillo diseño en Processing, programa codificado por Javier Roel. Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

- Descarga la documentación del proyecto en mi página de [Github "Vlorenzolana"](#) —> "Biofilia Urbana" —> "PointsToGCODE03"
- Ejecuta "Points to GCode", un pequeño sketch de Processing que permite crear un archivo .gcode a partir de un sencillo diseño gráfico para imprimir bacterias con una impresora 3D.
- Ejecute el código de procesamiento (su foto de fondo es lo que puedes utilizar como plantilla para realizar tu diseño, esta foto debe guardarse en la carpeta —> "Data" dentro de su carpeta de algoritmos Processing 3)
- Posiciona tu imagen de fondo con las flechas y las teclas "+" y "-"
- Clicka con el botón izquierdo del ratón sobre tu imagen de fondo para marcar tus puntos Gcode, es decir, donde la bioimpresora hará una punzada con la boquilla impregnada en bacterias.
- Al hacer click en el botón "GCODE" se genera el archivo .gcode

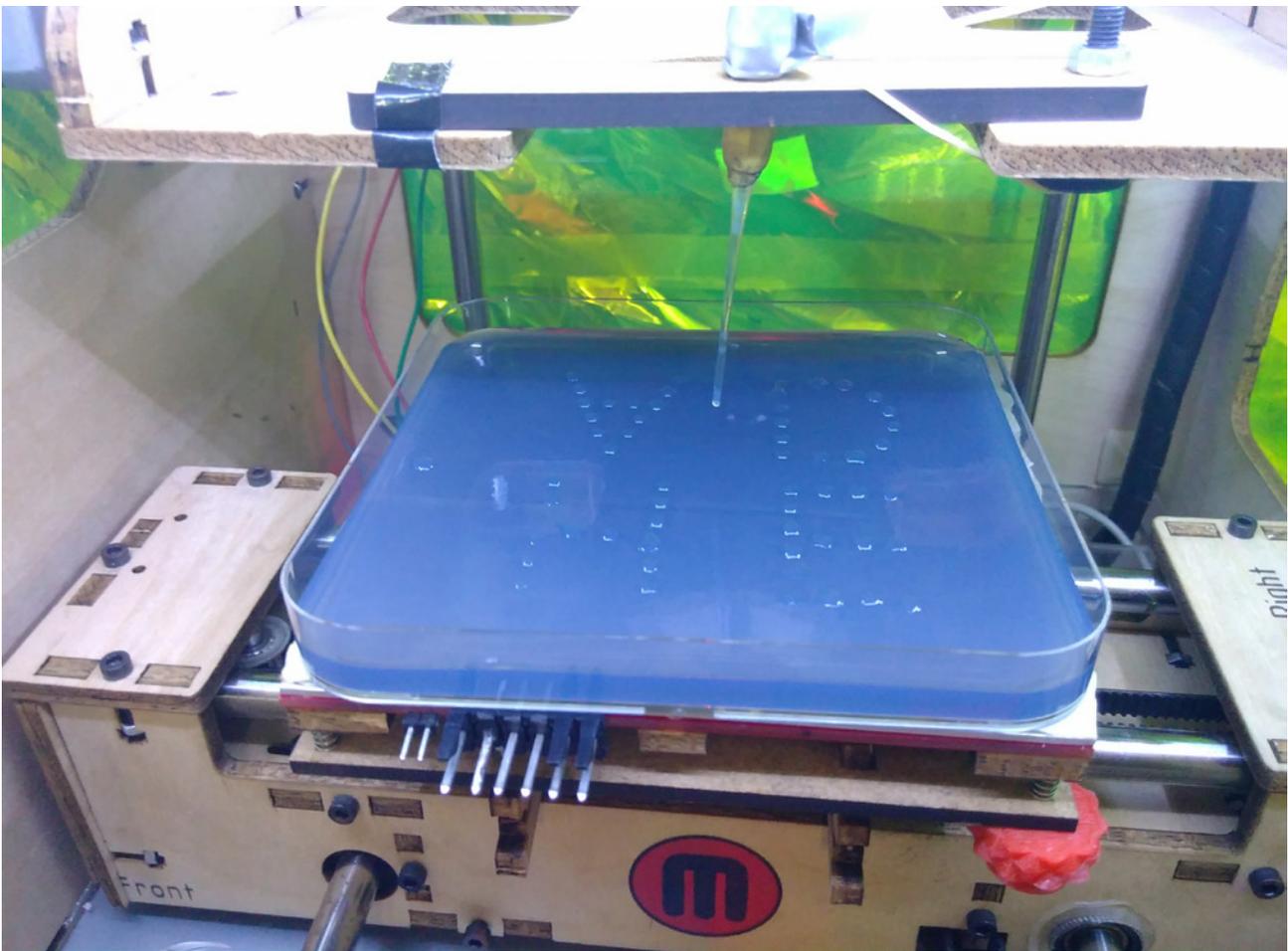


30. Terminando el diseño justo antes de mandar a bioimprimir. Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

Nota 1: Es necesario instalar la librería de ControllIP 5 de Andreas Schelegel.

Nota 2: El sketch funciona correctamente en Processing 3, pero aparece un error en otras versiones como Processing 2.

Nota 3: El archivo .gcode generado está pensado para ser usado en una Impresora Thing-o-Matic, desde el software ReplicatorG 0040 (Explicado a continuación). Para ser utilizado en otras máquinas, hay que cambiar los archivos stargcode.txt y endgcode.txt por los correspondientes.



31. Máquina punzando. Ilustración: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

La bioimpresora incluye un hack con una pipeta de vidrio, esta pipeta se puede calentar con el mechero y estirar con unas pinzas de depilación metálicas. [A ojo de buen cubero](#) y haciendo pruebas con diferentes espesores de cultivo, llegarás a un buen ratio entre giro de stepper motor e inyec-

ción de tinta. La paciencia es la madre de la ciencia... si no lo consigues, no te preocupes: piensa que la pipeta ya está "contaminada" con bacterias de colores y dejará un poco en cada punzada de todas formas.

## REPLICATORG 0040

Descarga el software ReplicatorG 0040 <http://replicat.org/> Este es el software que maneja tu MakerBot Replicator, Thing-O-Matic, CupCake CNC, máquina RepRap, o máquina CNC genérica. Puedes darle un archivo GCode o STL para que lo procese, y lo toma desde allí. Es una plataforma cruzada, de fácil instalación, y está basada en los entornos de Arduino / Processing.

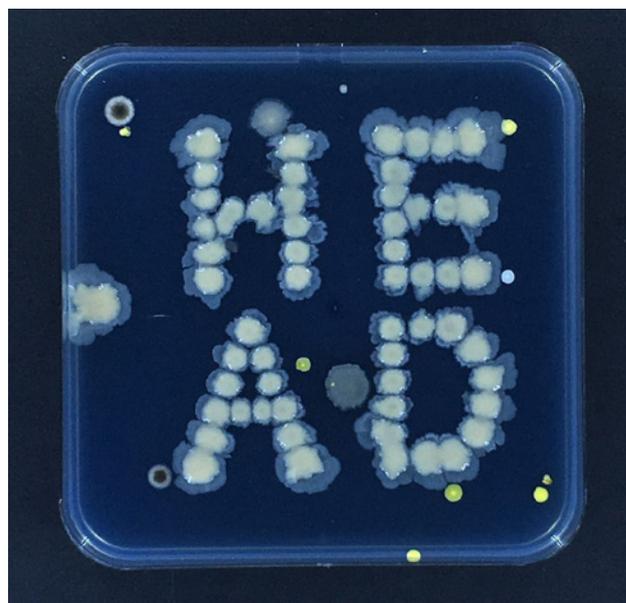
Para configurar nuestro ReplicatorG 0040 hay que definir que estamos trabajando en un MakerBot Thing-O-Matic (2010) con un Arduino ATMega 1280, un MightyBoard v2.4 y un ECB 3.6, comandado por el software ReplicatorG 0040 con el driver: Thingomatic w/HBP y Stepstruder MK7. Como esta instalación es bastante antigua y recientemente tuve que cambiar a un MacBook Pro 15' a partir de 2017 tuve algunos problemas con los drivers, si tienes un Mac Os Sierra 10.9 o más viejo podrías necesitar descargar lo siguiente:

- Los últimos drivers de Arduino <https://downloads.arduino.cc>
- Java 6 para Mac OSX 2017-001 [https://support.apple.com/kb/DL1572?locale=en\\_US](https://support.apple.com/kb/DL1572?locale=en_US)
- El driver [FTDIUSBSerialDriver\\_v2\\_4\\_2.dmg](#)
- Si tu Arduino ATMega 1280 no es original podrías necesitar estos nuevos drivers del github de [Adrian Mihalko](#)

Nota: Puedes probar con el Instalador <http://www.sailfishfirmware.com/doc/install.html>

- Para empezar, debes calibrar nuestro Replicator 0040 en Archivo /Scripts /Calibration /Thing-o-matic\_calibration.gcode.
- A continuación elige el tipo de máquina (driver): Thingomatic w/HBP y Stepstruder MK7.
- Elige el puerto USB: /dev/tty/usb.serial-A600euUF (puede cambiar en tu máquina, puedes comprobarlo desde el software Arduino, seleccionando tu placa y comprobando los puertos). Presiona "Connect Open" y elige "(tu archivo con la fecha-hora generada automáticamente).gcode"
- Por último selecciona "Press Build". En este momento la impresora empezará a punzoner el plato petri en las zonas marcadas/activas de nuestro diseño en el paso anterior (Processing).

Y hasta aquí hemos llegado! espero que hayas disfrutado y aprendido mucho, gracias por haberme dejado acompañarte en esta experiencia! para ver otros resultados, puedes visitar mi página web (mira "Código y más información sobre el proyecto" en la sección Recursos).



32. Primer intento de bioimpresión.  
Foto: Vanessa Lorenzo [CC BY-SA 4.0](#)

4 MEDIOS DE CULTIVO

5 CULTIVO DE  
BIOPIGMENTOS

3 INTRODUCCIÓN  
A LAS BACTERIAS  
PRODUCTORAS DE  
PIGMENTOS

6 SELECCIÓN  
DE BACTERIAS

2 EXTRACCIÓN DEL  
AZUL SPIRULINA O  
FICOCIANINA

7 SERIGRAFÍA  
CON BACTERIAS

1 INTRODUCCIÓN A  
LOS BIO-PIGMENTOS

8 EXTRACCIÓN  
DE BIOTINTAS



# RESUMEN

# RECURSOS

## • CÓDIGO Y MÁS INFORMACIÓN SOBRE EL PROYECTO

Github Vlorenzolana <https://github.com/Vlorenzolana/BiofiliaUrbana>

Grow and Mix Bioink [http://wiki.hackuarium.ch/w/Grow%26Mix\\_Bioink](http://wiki.hackuarium.ch/w/Grow%26Mix_Bioink)

Hybridoa.org [Bioprinter](#) y [Printk plastic, it's fantastic!](#)

## • BIOHACKERSPACES Y BIOLABS DE CIENCIA Y ARTE

Art Laboratory <http://www.artlaboratory-berlin.org/>

Bioart Society <https://bioartsociety.fi/>

Biotehna <https://kersnikova.org/en/about-us/biotehna/>

Bilbaomakers <https://bilbaomakers.org/>

Biofriction <https://biofriction.org/>

Biobook <https://biobook.org/>

Cultivamos Cultura <https://cultivamoscultura.com/>

DIYSECT [https://www.youtube.com/channel/UC1j0o4hY09updYHxijbn\\_fg](https://www.youtube.com/channel/UC1j0o4hY09updYHxijbn_fg)

DIYBio <https://diybio.org/codes/draft-diybio-code-of-ethics-from-european-congress/>

DIYBio Barcelona <http://www.diybcn.org/>

Espacio Open Bilbao <https://espacioopen.com/maker-faire-bilbao/>

Hackuarium <http://www.hackuarium.ch>

Hackteria <https://www.hackteria.org>

Hangar <https://hangar.org/es/>

Hamilton Mestizo <http://librepensante.org/>

Gaudilabs [http://www.gaudi.ch/GaudiLabs/?page\\_id=2](http://www.gaudi.ch/GaudiLabs/?page_id=2)

Pechblenda Lab <https://network23.org/pechblendalab/devhardware/anal-gital-synthetizers/>

## • ARTÍCULOS

*Hybridizations: the role of design in the context of biotechnology* [Lorenzo, 2016]

[https://www.academia.edu/34392382/Hybridizations\\_the\\_role\\_of\\_design\\_in\\_the\\_context\\_of\\_biotechnology](https://www.academia.edu/34392382/Hybridizations_the_role_of_design_in_the_context_of_biotechnology)

Art as we don't know it [Berger, Mäki-Reinikka, O'Reilly, Sederholm, 2020]

[https://www.academia.edu/42826923/Art\\_as\\_We\\_Dont\\_Know\\_It](https://www.academia.edu/42826923/Art_as_We_Dont_Know_It)

Hay varias comunidades de 'biohackers' en España y tú sin enterarte [https://retina.elpais.com/retina/2019/01/11/tendencias/1547215250\\_119647.html](https://retina.elpais.com/retina/2019/01/11/tendencias/1547215250_119647.html)

Biología para todos los públicos y con videojuegos en Azkuna Zentroa <https://www.elcorreo.com/bizkaia/biologia-publicos-videojuegos-20200116211040-nt.html>

HELLO  
FUTURO



la aventura  
de aprender