

# DE COBRE, MICROBIOS Y ARTE

André Barbet | Giorgio Boccardo | Andrés Marcoleta



Prólogo de Margarita Carú y Julieta Orlando



av Ediciones Departamento de Artes Visuales  
Facultad de Artes Universidad de Chile

SERIE INVESTIGACIONES

**ANDRÉ BARBET** (Valparaíso, 1987)

Licenciado en Artes Plásticas por la Universidad de Chile, egresado de la especialidad de escultura. Actualmente es estudiante de sociología en la misma institución.

**GIORGIO BOCCARDO** (Viña del Mar, 1982)

Sociólogo y académico del Departamento de Sociología en la Universidad de Chile. Se ha especializado en temas de trabajo, conflicto y formación de clases sociales durante la era neoliberal. Actualmente se encuentra investigado sobre automatización y conflictos en el proceso de trabajo en Chile. Fue presidente de la FECH en 2006-2007 y es director de la Fundación Nodo XXI.

**ANDRÉS MARCOLETA** (Santiago, 1983)

Doctor en Microbiología por la Universidad de Chile. Actualmente se desempeña como académico del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias de dicha casa de estudios, realizando docencia de pre y postgrado, e investigando principalmente sobre la evolución y transferencia de información genética en bacterias, resistencia a antibióticos y virulencia.

# DE COBRE, MICROBIOS Y ARTE

André Barbet  
Giorgio Boccardo  
Andrés Marcoleta

Prólogo de  
Margarita Carú y Julieta Orlando



av EXTENSIÓN Y PUBLICACIONES  
DEPARTAMENTO DE ARTES VISUALES

Departamento de Artes Visuales  
Facultad de Artes  
Universidad de Chile

Las Encinas 3370, Ñuñoa  
Santiago de Chile

Director:  
Nelson Plaza

Subdirector:  
Pablo Ferrer

Coordinación de Extensión e Investigación:  
Francisco Sanfuentes

Diseño y diagramación:  
Rodrigo Wielandt

Periodista:  
Igora Martínez

Imagen de portada: André Barbet. Reproducción parcial de la portada de la revista *Principios* N° 138 (1971), Partido Comunista de Chile. Microbiograma, 7,8 x 12,9 cm. *Klebsiella aerogenes* en medio cromogénico con inhibición por sulfato de cobre y presencia contaminante de hongos filamentosos. Obra derivada realizada con autorización.

© 2021 André Barbet, Giorgio Boccardo, Andrés Marcoleta  
Registro de Propiedad Intelectual N° 2021-A-2433

ISBN 978-956-19-1208-3 (impreso)  
ISBN 978-956-19-1209-0 (electrónico)

<https://doi.org/10.34720/FZW1-KJ72>

Impreso en Chile

*Lo que se haga con el cobre dependerá de nosotros, de nuestra capacidad, de nuestro esfuerzo, de nuestra entrega sacrificada a hacer que el cobre se siembre en Chile para el progreso de la patria.*

**SALVADOR ALLENDE**

11 de julio de 1971



# ÍNDICE

## **Prólogo | 9**

Margarita Carú, Julieta Orlando

## **Introducción | 13**

André Barbet, Giorgio Boccardo, Andrés Marcoleta

## **Arte biológico: biomedialidad y biopolítica | 15**

André Barbet, Andrés Marcoleta

## **Experiencias previas de arte con microorganismos | 31**

André Barbet, Andrés Marcoleta

## **Microbiograma: Descripción de la técnica | 59**

André Barbet, Andrés Marcoleta

## **El cobre chileno: una historia de crecimiento, conflictos sociales y oportunidades de desarrollo | 75**

Giorgio Boccardo

## **Referencias bibliográficas | 93**

## **Agradecimientos | 102**





# PRÓLOGO

Margarita Carú | Julieta Orlando

Combinar el cobre, los microbios y el arte puede parecer una extraña y curiosa mezcla, pero tuvimos la fortuna de observar de cerca que en realidad es una propuesta muy novedosa. Cuando André Barbet y Andrés Marcoleta, los autores de los tres primeros capítulos de este libro, nos propusieron la idea de hacer arte con cobre y bacterias en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, como parte de los laboratorios del curso de Microbiología del plan de formación de la Pedagogía en Educación Media en Biología y Química, nos entusiasmó la idea porque podría ilustrar algunos conceptos de manera creativa. En el fondo, intuíamos que, por tratarse de una innovación en la práctica de laboratorio, podría generar curiosidad entre los estudiantes, y eso siempre es bueno, porque deja huellas y, en consecuencia, es conocimiento instalado.

Cuando pensamos en cobre, es probable que la gran mayoría lo asocie a los cables eléctricos y a las cañerías de agua de nuestras casas, y claro está que convivimos diariamente con este metal. Otras personas lo asociarán a nuestra minería, ya que siendo Chile el mayor productor de cobre a nivel mundial, esta actividad proporciona importantes divisas al país. De hecho, la historia de Chile ha estado siempre ligada a su minería, con sus claros y oscuros momentos, la cual nos ha otorgado riqueza y bienestar, pero no exentos de conflictos sociales y políticos, lo que muy bien narra Giorgio Boccardo en el cuarto capítulo.

El cobre fue el primer metal utilizado por la humanidad para construir algunos utensilios y adornos, prueba de lo cual son algunas piezas de cobre cuya antigüedad se remonta al inicio del período Calcolítico o Edad del Cobre. Los objetos que se podían fabricar con este metal eran de uso más bien decorativo que utilitario (anillos, brazaletes, figurillas), ya que el cobre en su estado nativo no podía rivalizar con la dureza de

piedras como el sílex para la fabricación de puntas de flecha o hachas. Con los primeros rudimentos de metalurgia y las posibilidades de hacer aleaciones de cobre con estaño surgió el bronce, que amplió los usos del cobre hacia objetos utilitarios como herramientas, ahora más resistentes. Así, el cobre y sus aleaciones están estrechamente ligadas a la historia y al progreso tecnológico de la humanidad desde sus inicios.

Sin embargo, el primer uso del cobre fue en el arte primitivo, y desde entonces este preciado metal y sus aleaciones (especialmente el bronce y el latón) han acompañado al ser humano en las más diversas expresiones artísticas, convirtiéndose en la materia prima de orfebres, escultores, arquitectos, pintores, músicos y poetas. Así, el cobre ha dejado su sello en famosos monumentos otorgándoles su singular color, como la delicada película de cobre que recubre la estatua de la libertad en Nueva York, o la escultura de bronce de la Sirenita en el Puerto de Copenhague. Y si miramos más de cerca, en nuestro diverso territorio podríamos mencionar muchas hermosas obras de arte basadas en este dúctil y maleable metal, como la famosa Fuente Alemana en el Parque Forestal de Santiago, el Pescador Artesanal Cavanchino en Iquique, o el Monumento al Ovejero en Punta Arenas.

El cobre también se ha ganado un lugar en la construcción de edificios. Los arquitectos han encontrado en el cobre nuevas formas para resaltar sus diseños, desde catedrales, museos y castillos, hasta casas y oficinas. El cobre ha estado presente desde la antigüedad en una variedad de elementos arquitectónicos, como las cubiertas del techo del Panteón Romano o las de Santa Sofía en Constantinopla. Hoy el cobre luce sus atributos en numerosos edificios en el mundo, como el Museo Vasa, un ícono del paisaje de Estocolmo, el Museo de Ciencias NEMO en Ámsterdam, y en nuestro país el cono truncado del planetario de la Universidad de Santiago y el techo de la Estación Mapocho.

Asimismo, oculto en una orquesta sinfónica o en el carillón de una iglesia, el cobre hace su aporte al arte siendo un gran aliado de los músicos. La gran maleabilidad de este metal y sus aleaciones permite la

fabricación de instrumentos de viento y percusión, proporcionándoles una gran resonancia acústica. Sin él, muchos instrumentos musicales no brindarían sus extraordinarios sonidos.

En la pintura el cobre también ha dejado su huella. El cardenillo o verdigrís es una mezcla de acetatos de cobre con óxidos e hidróxidos de cobre que se usó como pigmento verde muy frecuentemente en la pintura al óleo hasta el siglo XIX. Este pigmento tiene la curiosa propiedad de cambiar de tono desde un verdeazulado inicial hasta un tono más verde y estable con el tiempo, lo que requiere de una destreza de los pintores en su preparación y uso. Las recetas antiguas cuentan que para obtener el verdigrís se dejaban trozos de cobre en vinagre o en orujos de uva, ya que en contacto con el ácido acético se forma la costra verdeazulada. Muchas obras maestras que hoy admiramos en los museos tienen en sus pastos y follajes la cara verde del cobre. Además, el cobre se encuentra en otros pigmentos, como la azurita y la malaquita. La azurita se obtenía en las montañas germanas, por lo que se le conocía como azul de Alemania o azul de las montañas y fue muy popular durante la Edad Media y el Renacimiento. La malaquita se usó en todo tipo de técnicas pictóricas, en especial en frescos y temples.

Hasta los escritores y poetas se han inspirado en el cobre. El libro *Cobre* de Gonzalo Drago narra la dura vida de los mineros del cobre, sus esfuerzos por arrancar el preciado mineral desde las profundidades del subsuelo, sus desdichas, sus temores y las injusticias sufridas, todo ello como parte de su experiencia como trabajador en la mina El Teniente. Por su parte, los poetas también han dado parte de sus letras al cobre, destacando en este caso su modestia frente a otros metales, como dice Machado: “tengo en monedas de cobre / el oro de ayer cambiado” (*Coplas mundanas*); o el peligro de las hermosas pátinas verdeazuladas del latón y el bronce del cual nos advierte Neruda: “No sólo son míos la piel venenosa del cobre” (*Cien sonetos de amor*, soneto XLIII), ya que el cardenillo es tóxico y por eso se ha usado para controlar el crecimiento microbiano, en especial el de los hongos.

Es justamente debido a sus propiedades como antimicrobiano que tienen cabida los microorganismos en esta curiosa mezcla. Pero antes de profundizar en el papel antimicrobiano del cobre tendríamos que recordar que este metal es un micronutriente esencial para todos los seres vivos, desde las bacterias hasta los seres humanos. Participa en diversos procesos celulares y es necesario para la actividad catalítica de varias enzimas, pero también puede ser tóxico para las células cuando su concentración aumenta. De esta manera, si se trabaja a determinadas concentraciones, el cobre resulta ser un antimicrobiano, es decir, inhibe el crecimiento de los microorganismos.

Hasta ahora, el cobre es el primer y único metal con propiedades antimicrobianas reconocido y registrado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. De hecho, el cobre se utiliza en diversos centros sanitarios, instalaciones para el procesamiento de alimentos, sistemas de aire acondicionado, entre otros. Entre las tecnologías más novedosas, la impregnación de fibras textiles con nanopartículas de óxido de cobre permite la producción de textiles antimicrobianos, los cuales se utilizan en aplicaciones médicas, prendas deportivas, y en mascarillas utilizadas para prevenir el contagio por patógenos, incluyendo virus. Siendo Chile el principal productor de cobre del mundo, estas propiedades antimicrobianas representan nuevas oportunidades tecnológicas para el metal rojo. Es así como han surgido diversas iniciativas nacionales, entre las que destacan el Metro de Valparaíso, que cuenta con el primer tren del mundo con cobre antimicrobiano en todos sus pasamanos y manillas, o las llamativas placas de cobre en los mesones del aeropuerto de Santiago.

Con esto en mente, los autores proponen esta novedosa fusión, en la que las propiedades antimicrobianas del cobre son aprovechadas para inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos y con ello realizar creaciones artísticas. En esta nueva forma de arte biológico utilizando cobre, los autores de este libro están haciendo realidad uno de los versos del poema *Cobre* de nuestra notable Gabriela Mistral: “Están redimiendo el cobre con las virtudes del fuego”.

# INTRODUCCIÓN

André Barbet | Giorgio Boccardo | Andrés Marcoleta

Chile es un país minero. Históricamente, la minería ha marcado su economía, las relaciones con los países industriales y parte de los conflictos sociales y políticos. En efecto, el carácter nacional de los recursos mineros y los grados de participación del Estado en su extracción han constituido una fuente de disputas al momento de formular estrategias productivas para alcanzar el desarrollo. Y estas, por diversas razones, han perpetuado el modelo productivo primario-exportador, con auges económicos que tarde o temprano terminan diluyéndose, y con ellos también el sueño de modernidad. Sin embargo, ha habido momentos excepcionales de nuestra historia en que ha sido posible torcerle la mano a esa maldición. Como muestra la imagen de la portada de este libro, la solidaridad y acción conjunta de trabajadores y trabajadoras, sumadas al desarrollo científico, artístico y humanista de las universidades públicas, fueron capaces de encontrar una veta que con el tiempo se desbordó hasta convertirse en esperanza de cambio y justicia social.

Desde hace varias décadas, el cobre es el principal producto de la minería chilena. Ligado a él, la innovación tecnológica se ha enfocado en la optimización de los procesos de extracción, más que en la investigación sobre otras posibles formas de uso de este mineral y la generación de productos con valor agregado. Aun así, su uso como antimicrobiano ha dado lugar a importantes y exitosas experiencias en ciencia y tecnología, pero que no han ido de la mano de políticas públicas que potencien un desarrollo sostenido en base a la riqueza minera.

El cobre, el litio y otros recursos de gran envergadura tienen el potencial de gatillar la interacción entre diversas disciplinas. Como modesto ejemplo, en esta obra se presenta una aventura con notas de microbiología, arte e historia social en torno a las propiedades antimicrobianas del cobre. A través del desarrollo de una nueva técnica de bioarte, se hacen visibles los microorganismos y el cobre como antimicrobiano, recreando imágenes históricas de la nacionalización del cobre (Figs. 40 y 41), que invitan a la discusión respecto al pasado, presente y futuro de este recurso.

El libro comienza con un capítulo que presenta brevemente de qué se trata el arte biológico y el arte microbiano, con el objetivo de contextualizar la técnica que posteriormente se propone. Con el mismo fin, el segundo capítulo recoge y clasifica diversos métodos que han sido utilizados en la producción de arte microbiano figurativo. Luego, el tercer capítulo describe una propuesta técnica que permite la producción de imágenes con microbios en base a las propiedades antimicrobianas del cobre. Finalmente, el cuarto capítulo ofrece una revisión histórica de los fenómenos sociales y políticos que han tenido lugar en torno a la minería del cobre en Chile, así como los avances científico-tecnológicos que en nuestro país se han llevado a cabo en relación a este mineral. Así, este libro busca hacer un llamado a pensar sobre cómo llevar adelante y cuál ha de ser el lugar de la producción cuprífera, y minera en general, en el desarrollo de nuestra nación.

# **ARTE BIOLÓGICO: BIOMEDIALIDAD Y BIOPOLÍTICA**

André Barbet | Andrés Marcoleta

En la década de 1980, a propósito de la entonces recientemente demostrada posibilidad de manipular directamente la información genética de organismos vivos<sup>1</sup>, el filósofo Vilém Flusser (198-/1998, p. 85) se preguntaba “¿Cómo, después de semejante descubrimiento, seguir haciendo obras [de arte] inanimadas (escultura, pintura, libros, partituras, películas, videos, hologramas)?”<sup>2</sup>. De esta manera, Flússer vislumbraba y alentaba el surgimiento de un nuevo tipo de arte, un “arte de lo vivo”, un “arte viviente”.

Sin pretensión de ser un trabajo exhaustivo, el presente capítulo ofrece un acercamiento a ese arte viviente (el arte biológico o bioarte) en general, para luego enfocarse en el arte microbiano en particular, y cerrar abordando brevemente su condición biopolítica.

## **Terminología**

Varios términos han surgido, desde fines del siglo pasado, para denotar a los trabajos artísticos que implican a las ciencias de la vida en los procesos de creación de las obras. Así es como han aparecido términos tales como “arte genético” (Gessert, 1993), “arte transgénico” (Kac, 1998/2005b) y “arte biotec” (Hauser, 2003), entre otros. En este sentido, Annick Bureau (2002) fue pionera en agrupar las prácticas artísticas que recurren a la biología en su estrategia material bajo la denominación común de “arte biológico”. No obstante, también se ha

---

<sup>1</sup> En 1973, Stanley Cohen y Herbert Boyer desarrollaron con éxito el primer organismo modificado con ingeniería genética, al introducir un gen de una bacteria en el genoma de otra.

<sup>2</sup> Traducción del portugués de elaboración propia.

usado con recurrencia el término “bioarte”<sup>3</sup>, pero con un significado ambiguo. Al respecto, escribe Jens Hauser (2008, p. 83):

El interés creciente en formas de arte que lidian con las disciplinas biológicas en general ha dado lugar a la proliferación de un término genérico confuso e impreciso: *bioarte*, (...) cuyo significado refiere tanto a medios biológicos [biomedia] como a temáticas biológicas [biotopics], y tiende a abolir su diferenciación ontológica<sup>4</sup>.

Por su parte, Daniel López del Rincón (2015, cap. 1), a partir de la observación de Hauser, admite la necesidad de diferenciar entre arte biomedial (que usa la biología como medio) y arte biotemático (que usa la biología como tema, con independencia del medio empleado en la ejecución de la obra), pero reconociéndolos como dos tendencias igualmente válidas de bioarte. A esta posición se enfrenta la de autores como Eduardo Kac (2007), quien de modo taxativo declara que “el bioarte es *in vivo*”<sup>5</sup> (p. 19), o del propio Hauser (2008), para quien las obras de arte biotemático tienen tanto de bioarte como las pinturas impresionistas de Claude Monet lo tienen de “arte nenúfar” o “arte catedral”, por el solo hecho de representar tales motivos<sup>6</sup>.

Sin embargo, aun no habiendo consenso acerca de lo que se nombra con la palabra bioarte, su uso se ha extendido incluso entre quienes originalmente usaron otros términos, pero generalmente explicitando qué se entenderá como tal. Para el presente trabajo, bioarte será sinónimo de lo que Bureau (2002) definió como arte biológico, esto es, el arte de tipo biomedial.

---

<sup>3</sup> El artista Eduardo Kac (1997/s.f.) comenzó a usar este término (que en inglés escribió “bio art”) en un volante que distribuyó entre los asistentes al 8° Simposio Internacional sobre Arte Electrónico (ISEA), que tuvo lugar en Chicago en 1997.

<sup>4</sup> Traducción del inglés de elaboración propia. Los términos entre corchetes son los que usa el autor en el texto original.

<sup>5</sup> Traducción del inglés de elaboración propia. Cursiva añadida a la voz latina.

<sup>6</sup> Los nenúfares son plantas con flores que flotan en la superficie de cuerpos de agua dulce. Monet pintó al óleo unos 250 cuadros de nenúfares en agua. Asimismo, el francés pintó la catedral de Ruan en una serie de más de 30 cuadros al óleo.



## Primeros antecedentes

Los primeros antecedentes de arte biológico se encuentran, por un lado, en obras del fotógrafo estadounidense Edward Steichen y, por otro, en trabajos del científico escocés Alexander Fleming.

Aunque sin formación profesional en el área, Edward Steichen dedicaba gran parte de su tiempo a la horticultura, con una particular obsesión por las plantas del género *Delphinium*, llegando incluso a asumir en 1935 la presidencia de la American Delphinium Society. En este campo, el estadounidense trabajó haciendo cruzamientos selectivos entre distintas variedades de delphiniums y usando colchicina para inducir mutaciones, con el principal objetivo de conseguir una que produjera flores de un color azul intenso, dado que por entonces no existía variedad alguna que expresara dicha característica (Gedrim, 1993).

En 1936, el Museo de Arte Moderno de Nueva York (MoMA) albergó la exposición *Edward Steichen's Delphiniums* (Fig. 1), donde distintas variedades de las desarrolladas por Steichen fueron exhibidas a modo de instalación, incluyendo aquella variedad que logró producir flores azules gracias a su intervención. En un comunicado de prensa emitido para la promoción de la muestra, el museo informaba:

[Las delphiniums de Steichen] Son variedades originales, producidas tan creativamente como sus fotografías. Para evitar confusiones, se debe hacer notar que en el Museo serán exhibidas las delphiniums reales —no pinturas ni fotografías de estas. Será una “aparición personal” de las flores mismas<sup>7</sup> (The Museum of Modern Art, 1936, p. 1).

De esta manera, unas plantas floridas adquirirían estatuto de obra de arte, en una operación que recuerda a los *ready-mades* más extremos de Marcel Duchamp, en los cuales el artista exhibía, enmarcados por el espacio museal, objetos de producción industrial sin modificación alguna. Sin embargo, Steichen no se había limitado a recoger una

---

<sup>7</sup> Traducción del inglés de elaboración propia.

planta e instalarla en un museo; Steichen había “creado” sus plantas, en la búsqueda de un resultado visual intencionado.



**Fig. 1.** Vista de montaje de la exposición *Edward Steichen's Delphiniums* en el Museo de Arte Moderno de Nueva York, 24/junio al 01/julio de 1936. Fotografía: Edward Steichen. Copyright: The Museum of Modern Art, New York (Acc. n.: IN50.2). Imagen digital © 2021 MoMA, Nueva York/Scala, Florencia. Reproducida con autorización.

Tal como se adelantó al iniciar este apartado, el otro antecedente temprano de arte biológico se encuentra en trabajos de Alexander Fleming, ganador del Premio Nobel de Medicina en 1945 por el descubrimiento de la penicilina. Ampliamente reconocido por su labor científica, no es tan sabido que Fleming también guardaba un especial interés por el arte, al punto de llegar a ingresar, en calidad de miembro honorario, al Chelsea Arts Club. En esta afición, el escocés creó las *germ paintings*, pinturas que realizaba sobre papel usando microorganismos que no eran visibles al momento de ser inoculados, pero que luego crecían de distintos colores, según las cepas que hubiera utilizado<sup>8</sup>

<sup>8</sup>El procedimiento usado por Fleming se describe en el capítulo siguiente de este libro.

(Fleming, 1937/2007; Maurois, 1959, cap. XI). Al respecto, cabe destacar que aun cuando su condición de obras de arte ha sido cuestionada<sup>9</sup>, y de que el mismo Fleming no se consideraba un artista (Maurois, 1959, cap. V), las *germ paintings* fueron pioneras en el desarrollo del arte biomedial, así como el primer antecedente de lo que hoy se conoce como arte microbiano.

### Diversas estrategias

A partir de la década de 1980, y con notoriedad desde los 90, varios/as artistas han ido incorporando en su producción artística el uso de técnicas y medios biológicos, contribuyendo así a la diversificación del bioarte. A continuación se presentan (sin orden cronológico) algunos ejemplos, a fin de ilustrar parte de esta diversidad.

A fines de los 90, el brasileño-estadounidense Eduardo Kac ideó la obra *GFP K-9*<sup>10</sup>. Esta consistiría en la producción de un perro transgénico, que fluorecería de color verde al ser iluminado con una longitud de onda específica, gracias a la introducción en su ADN de un gen de medusa que permite la producción de una proteína fluorescente (Kac, 1998/2005a). El proyecto tuvo acogida en científicos del Instituto Nacional de Investigación Agronómica (INRA) en Francia, donde Louis-Marie Houdebine y Patrick Prunet accedieron a producir el animal, pero sería un conejo en lugar de un perro. Así nació Alba, una coneja albina que portaba un gen sintético, derivado del mencionado gen de medusa, que la hacía fluorecer verde al ser expuesta a luz azul (Kac, 2000/2005b).

El proyecto de Kac, que pasó a llamarse *GFP Bunny*, contemplaba llevar a la coneja a vivir con él a Chicago y hacerla parte de su familia,

---

<sup>9</sup> López del Rincón (2015, cap. 2) sostiene que las pinturas microbianas de Fleming no revisten carácter artístico, sino didáctico, argumentando que el propio Fleming (1937/2007) propuso el uso de su técnica para tales fines.

<sup>10</sup> En inglés, K-9 se pronuncia igual a *canine* (“canino”), y GFP es la sigla para “proteína fluorescente verde”.

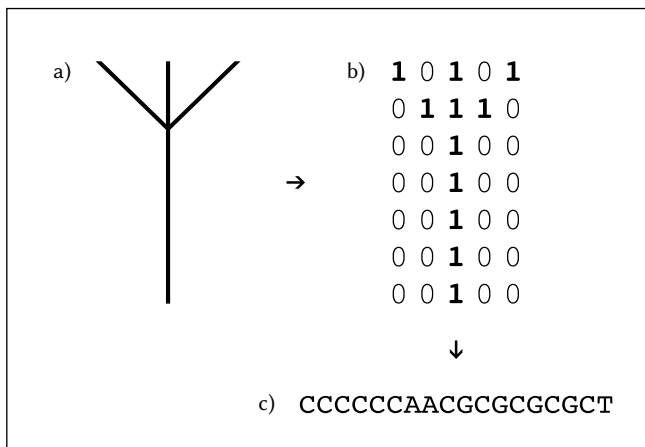
de modo que acordó con los científicos del INRA que él la adoptaría. La exhibición de la obra sería en forma de instalación: en una sala de estar, Alba y el artista compartirían espacio durante el tiempo que durase la muestra. De esa manera, la obra visibilizaría la interacción cotidiana del ser humano con los organismos transgénicos. Pero llegado el momento, el director del INRA no permitió la salida de la coneja, y Houdebine tuvo que declarar que ningún animal había sido hecho para Kac en los laboratorios del instituto (Copel, 2000). Años después, Houdebine se refirió nuevamente al asunto, aclarando que todos los problemas en torno a Alba se debieron a decisiones de la administración del INRA, que quiso evitar una eventual publicidad negativa a raíz de la exhibición de la coneja (Gessert, 2010, cap. 12).

Otro artista que trabaja con la genética es el estadounidense Joe Davis, pero lo hace enfocándose no en la expresión génica, sino en el material genético mismo. En este sentido, sus trabajos de arte genético corresponden a lo que Davis et al. (2006) llaman “arte genotípico”, mientras que las delphiniums de Steichen y *GFP Bunny* de Kac serían ejemplos de “arte fenotípico”, en tanto se basan en la expresión de genes que determinan rasgos visibles.

En *Microvenus*, obra iniciada en 1986, Davis introduce en el genoma de varias cepas de *Escherichia coli* un ícono gráfico codificado como ADN. Para esto, el artista tradujo la imagen a código binario, y luego a una secuencia de nucleótidos, siguiendo un algoritmo diseñado por él mismo<sup>11</sup> (Fig. 2). El trabajo fue ejecutado en colaboración con el genetista y biólogo molecular Dana Boyd (U. de Harvard), quien construyó la cadena de ADN según la mencionada secuencia, y luego la introdujo en células bacterianas. De este modo, el nuevo material genético se va replicando en su progenie.

---

<sup>11</sup> El procedimiento de codificación es descrito en detalle por el artista en su artículo “*Microvenus*” (Davis, 1996).



**Fig. 2.** Codificación ejecutada en la obra *Microvenus* de Joe Davis: a) ícono gráfico, b) código binario, c) secuencia de ADN. Fuente: Elaboración propia en base a la descripción de Davis (1996).

El ícono gráfico usado en *Microvenus* corresponde a una runa germánica (Fig. 2a), que el artista eligió porque su forma asemeja la zona genital femenina<sup>12</sup>. Esto, a raíz de que la vulva fue censurada del cuerpo femenino en la placa que la NASA envió al espacio en 1972, mientras que la zona genital del hombre sí fue ilustrada. Así, la obra constituye un intento por corregir la omisión, al almacenar una representación de la zona púbica femenina en un soporte biológico capaz de replicar sucesivamente el mensaje contenido.

Finalmente, cabe mencionar que aun cuando las bacterias con el ícono insertado en su genoma estuvieron listas en 1988, estas no pudieron ser exhibidas sino hasta varios años después, debido a las estrictas

<sup>12</sup> Además, Davis (1996) afirma que el ícono “es idéntico a una antigua runa germánica y otra iconografía originalmente usada para representar la *vida* y la *Tierra* femenina” (p. 70). Sin embargo, el investigador en culturas europeas Adam Dahmer (2019), acerca de la misma runa, escribe que “con consenso académico, aunque sin certeza absoluta, ( ... ) no parecería razonable sostener que la runa tuvo alguna significación ideográfica definitiva entre los hablantes del germánico antiguo, y ni hablar de especular sobre cuál podría haber sido ese significado” (p. 143). (Traducciones del inglés de elaboración propia).

regulaciones sanitarias que rigen en Cambridge, Massachusetts, donde se ubica la Universidad de Harvard. A raíz de esto, los cultivos vivos fueron expuestos recién en el Festival Ars Electronica 2000, en Linz, donde la muestra contó con la supervisión de la autoridad sanitaria local.

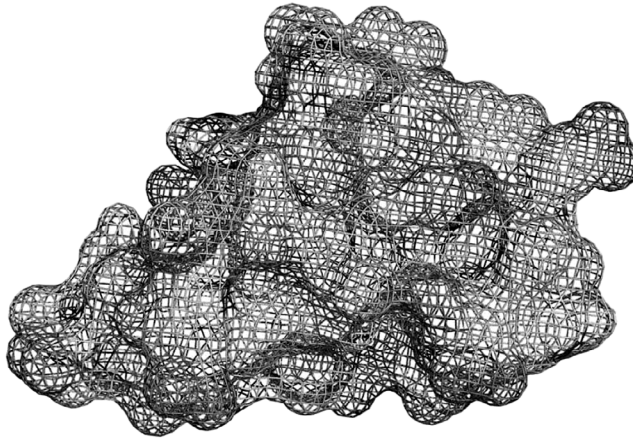
Diferente es la operación que ejecuta la artista portuguesa Marta de Menezes en *Retrato Proteico*, trabajo desarrollado entre 2002 y 2007. En esta obra, realizada en colaboración con A. Radu Aricescu en el laboratorio de E. Yvonne Jones (U. de Oxford), la artista trabaja con la estructura molecular de las proteínas, concibiéndolas como esculturas. En concreto, la obra consiste en la producción de una proteína sintética formada por una secuencia de 45 aminoácidos, los cuales escriben, a modo de autorretrato, el nombre completo de la portuguesa (de Menezes, 2008):

MARTAISAVELSWVRALRIVEIRWDEMENESESDASILVAGRACA<sup>13</sup>

Según relata de Menezes (2008), una búsqueda en bases de datos especializadas permitió confirmar que la proteína no había sido previamente descrita, de modo que la artista la nombró mArta. Entonces se procedió a modificar el genoma de una bacteria, de manera que la célula produjera la proteína. Además, dado el temor que tenían Aricescu y Jones de que la bacteria no fuera capaz de producirla, también se encargó su síntesis *in vitro* a una empresa de biotecnología. Finalmente, habiendo funcionado los métodos de síntesis tanto *in vivo* como *in vitro*, la proteína fue observada con criomicroscopía electrónica, para luego determinar computacionalmente su forma tridimensional (Fig. 3), labor que fue realizada en el Instituto de Tecnología Química y Biológica de la Universidad Nueva de Lisboa por el químico computacional Nuno Micaelo.

---

<sup>13</sup> La artista reemplazó algunas letras de su nombre para usar solamente las que representan a alguno de los 20 aminoácidos que conforman las proteínas producidas y/o requeridas por el cuerpo humano.



**Fig. 3.** Nuno Micaelo. Modelo tridimensional de la proteína mArta.  
Fuente: Micaelo (2008). Reproducida con autorización.

El trabajo de la portuguesa fue exhibido en el Museo Extremeño e Iberoamericano de Arte Contemporáneo en forma de instalación. Allí, diversos objetos que fueron parte del proceso (frascos, tubos, documentos de investigación, etc.) compartían espacio con computadores, cuyas pantallas reproducían videos documentales sobre el trabajo de laboratorio y también una animación del modelo tridimensional de la proteína mArta. Y entre todas estas cosas, se exponía un particular objeto: una escultura con la forma de la proteína en cuestión, construida en un polímero biodegradable, cuya superficie iba siendo colonizada por células extraídas del cuerpo de la propia artista. Así, el concepto de autorretrato volvía a aparecer, reforzando el sentido de todo el proyecto.

Por su parte, los australianos Ionat Zurr y Oron Catts, en su proyecto *Tissue Culture & Art (TC&A)*, cultivan tejidos *in vitro* para la construcción de obras que ellos llaman “semi-vivientes” (Catts y Zurr, 2002). Los artistas iniciaron *TC&A* en 1996, en la Escuela de Anatomía y Biología Humana de la Universidad de Australia Occidental (UWA), donde el proyecto tuvo la acogida de la bióloga celular Miranda Grounds.

Posteriormente, Catts y Zurr profundizaron en la ingeniería de tejidos en el Hospital General de Massachusetts (U. de Harvard), donde trabajaron junto al estadounidense Joseph Vacanti, cirujano experto en la materia.

*Victimless Leather* (“Cuero sin Víctimas”; Fig. 4) es una de las obras creadas en el marco del mencionado proyecto. El trabajo, que data de 2004, consistió en la creación de una chaqueta en miniatura, construida en base a células (humanas y de ratón) que iban creciendo sobre una estructura

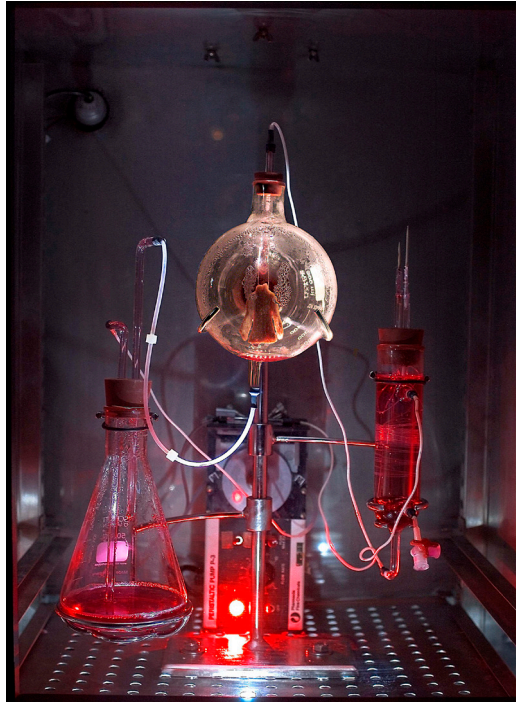


Fig. 4. TC&A (Oron Catts y Ionat Zurr). *Victimless Leather—A Prototype of Stitch-less Jacket grown in a Technoscientific “Body”*, 2004. Polímero biodegradable, células de piel y hueso humanas y de ratón, biorreactor. Cortesía de los autores.

hecha en polímero biodegradable. Así, mientras era exhibida, la chaqueta se iba fabricando a partir de células extraídas de mamíferos —que pronto verían regenerados sus tejidos—, sin la necesidad de darles muerte ni de desollar sus cuerpos. No obstante, los artistas explicaron que “seguimos usando ingredientes de origen animal entre los nutrientes suministrados a los tejidos. Por lo tanto, nuestra referencia a lo ‘sin víctimas’ es irónica”<sup>14</sup> (Catts y Zurr, 2006, p. 165).

<sup>14</sup>Traducción del inglés de elaboración propia.



Cabe destacar que el año 2000 Catts y Zurr fundaron SymbioticA, el primer laboratorio de arte biológico en el mundo, alojado en la misma escuela de la UWA que desde un principio dio espacio a su proyecto.

Por otra parte, merecen atención los trabajos de Heather Ackroyd y Dan Harvey. Este dúo de ingleses ha venido trabajando desde 1990 con cultivos de pasto, que han empleado, entre otros usos, como soporte fotográfico, en un proceso que llaman “fotosíntesis fotográfica”. Como primer paso, el método requiere colocar semillas en un lienzo con arcilla. Luego, dentro de un cuarto oscuro, se proyecta una imagen en negativo sobre el lienzo, estando éste colocado en posición vertical. Entonces, al crecer, el pasto producirá clorofila según la intensidad de la iluminación recibida: en los sectores más iluminados el pasto será de un color verde intenso y oscuro, mientras que en los menos iluminados este será más pálido y amarillento, formándose así la imagen (Schiller, 2012).

Sin embargo, la naturaleza viva del soporte le otorga a las fotografías de Ackroyd y Harvey una condición indefectiblemente efímera: con la muerte del pasto, la clorofila se va degradando hasta que el verde desaparece. Pero además, mientras vive, la imagen se ve afectada por el mismo fenómeno biológico que antes la hizo aparecer: al salir de la proyección en cuarto oscuro para ubicarse en un espacio iluminado, los sectores que habían sido reservados para permanece pálidos rápidamente se van volviendo más verdes, dada la respuesta del pasto a las nuevas condiciones lumínicas (Ackroyd y Harvey, 2007).

Ante la dificultad que presentaba la conservación de sus trabajos fotográficos, los artistas recurrieron a la colaboración de Howard Thomas y Helen Ougham, científicos del Instituto de Investigación en Pastizales y Medioambiente (IGER) en Gales, en busca de opciones que permitieran prolongar la permanencia de la imagen en el soporte vegetal. Así fue como incorporaron con éxito el uso de una variedad de *Lolium perenne* que aun habiendo muerto permanece verde por un buen tiempo; y sumaron la desecación al proceso, como paso a ejecutar

tras la proyección del negativo. De esta manera, las fotografías pueden conservarse durante mucho más tiempo (Ackroyd y Harvey, 2007). Incluso, en condiciones adecuadas, pueden durar años (Schiller, 2012).

No obstante lo anterior, es la condición inestable y perecedera de la fotosíntesis fotográfica lo que le da sentido a la misma, pues, como expresa Carlota Santabábara (2018), en el deterioro biológico de estas fotografías “la transitoriedad y fugacidad de la vida queda representada de manera mucho más impactante a nivel visual y conceptual” (p. 529).

### **Arte microbiano**

En el apartado anterior se abordan obras que, en efecto, incorporan el uso de microorganismos. Sin embargo, su uso es auxiliar, mientras que en el arte microbiano estos son centrales en la obra. A continuación se presentan dos ejemplos representativos de este tipo particular de arte biológico.

En 1987, el austriaco Peter Gerwin Hoffmann exhibió la obra “KUNSTWESEN” *Mikroben bei Kandinsky*<sup>15</sup> (Fig. 5). En este trabajo, ejecutado con la colaboración de Fritz Lichtenegger (Instituto de Higiene, Microbiología y Medicina Ambiental de Graz), el artista recoge microorganismos de la superficie del cuadro *Parties Diverses* de Wassily Kandinsky, para luego cultivarlos en placas de Petri. Dicha obra, pintada en 1940, data del llamado periodo parisino de Kandinsky, quien se radicó en la capital francesa en 1934 tras el cierre de la Bauhaus por parte del régimen nacional socialista alemán. En esta etapa, su trabajo pictórico se caracterizó por la incorporación del biomorfismo, esto es, el uso de formas orgánicas que se basan en y/o remiten a lo biológico (Barnett, 1985). Así, se puede decir que mientras Kandinsky lleva la biología a la pintura, Hoffmann cierra el círculo, volviendo de la pintura a la biología.

---

<sup>15</sup> En alemán, “Kunstwesen” se puede leer a la vez como “ser artificial” y como “ser viviendo en el arte”.

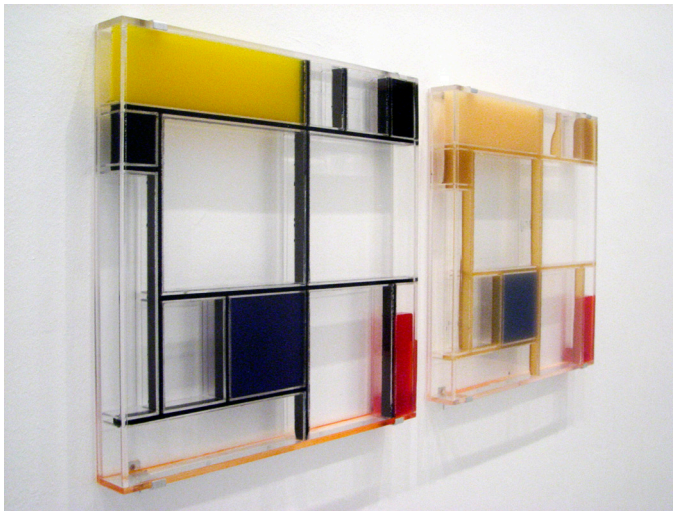


Fig. 5. Peter Gerwin Hoffmann. “KUNSTWESEN” *Mikroben bei Kandinsky*, 1987. Cultivos microbianos en placas de Petri. Fuente: Reichle (2009). Reproducida con autorización.

Otra obra de arte microbiano es *Decon* (Fig. 6), de Marta de Menezes. Esta obra, ejecutada en colaboración con la biotecnóloga Lúgia O. Martins (U. Nueva de Lisboa), consiste en una serie de cajas de acrílico que contienen agar nutritivo de distintos colores, de modo que reproducen pinturas de Piet Mondrian. Para conseguir los colores, el agar es pigmentado con tintes azoicos, bien conocidos por su durabilidad, pero también por su toxicidad (Chung, 2016), por lo cual varios países han impuesto restricciones a su uso. Además, su toxicidad ha instado al desarrollo de métodos de tratamiento para aguas contaminadas con este tipo de sustancias, entre los cuales se cuentan varios procesos de biorremediación que utilizan microorganismos (Lellis et al., 2019).

Los procesos de biorremediación con microorganismos recurren al metabolismo de los microbios (sean estos naturales o genéticamente modificados) para reemplazar sustancias tóxicas por otras inocuas, menos peligrosas, o incluso beneficiosas para el ser humano y el medio ambiente. En *Decon*, una cepa de *Pseudomonas putida* utilizada en

biorremediación ambiental es sembrada en el agar para que degrade los pigmentos, alterando así los colores de los medios de cultivo. De esta manera, la acción progresiva de los microbios se visualiza conforme pasan los días, con la posibilidad de comparar el color alterado con el inicial, gracias a que cada caja es acompañada por una idéntica, pero sin bacterias, a modo de caso de control. Así es como se materializan los conceptos a los que alude el título *Decon*: deconstrucción, descontaminación y descomposición. De este modo, gracias a los microbios que la integran, la obra representa “un arte que se deconstruye, o si preferimos, que se descompone a sí mismo”<sup>16</sup> (de Menezes, 2007/s.f., sección “Deconstruyendo o constructivismo”).



**Fig. 6.** Marta de Menezes. De la obra *Decon*, 2007. Cajas de acrílico con agar nutritivo pigmentado y cultivo bacteriano. En la caja de la derecha hay bacterias; la de la izquierda es de control. 55 x 55 x 4 cm c/u. Cortesía de la autora.

Los ejemplos recién presentados dan cuenta de cómo el arte microbiano introduce aquellos organismos vivos que, a pesar de su

<sup>16</sup>Traducción del portugués de elaboración propia.

ubicuidad, se caracterizan por ser esquivos a la visión humana. Esencialmente, se trata de producir obras de arte visual con materia que en general no se puede ver, ya sea recurriendo a su presencia (como Hoffmann en “*KUNSTWESEN*” *Mikroben bei Kandinsky*) o a su acción (como de Menezes en *Decon*).

En el siguiente capítulo se abordará en detalle el arte microbiano figurativo (donde los cultivos representan imágenes reconocibles), con énfasis en las diversas estrategias metodológicas que han sido utilizadas.

### **Microbiopolítica**

El arte microbiano puede ser enmarcado en lo que Heather Paxson (2008) llama “microbiopolítica”, término introducido por ella para referir a los regímenes de administración social que admiten a los microbios como agentes vitales. Con dicho término, Paxson extiende el concepto de “biopolítica” de Michel Foucault (1976/2007, cap. V; 1997/2002, clase del 17-03-1976), usado por el francés en la descripción del poder moderno que se ejerce para gobernar ya no solo sobre el cuerpo humano, sino sobre la especie humana, de modo que se vuelve central el control de las dinámicas vitales de la población:

La proliferación, los nacimientos y la mortalidad, el nivel de salud, la duración de la vida y la longevidad, con todas las condiciones que pueden hacerlos variar; todos esos problemas los toma a su cargo una serie de intervenciones y *controles reguladores*: una *biopolítica de la población* (Foucault, 1976/2007, p. 168).

Por supuesto, no puede concebirse la microbiopolítica si no es de la mano de la ciencia. En este sentido, Bruno Latour (1984/1993, parte 1) sostiene que fue el trabajo microbiológico de Louis Pasteur lo que hizo ingresar a los microorganismos en las relaciones sociales; y lo hizo en una lógica higienista, concibiendo a los microorganismos

como amenazas que han de ser erradicadas. De ahí que no solo la medicina fuera llamada a hacer frente a las enfermedades infecciosas. Los “Pasteurianos”, como los llama Latour, consiguieron que la antisepsia se impusiera de manera transversal y generalizada en los diversos ámbitos de la vida moderna, lo que ha llegado a instituirse en reglamentaciones que hasta el día de hoy favorecen un “orden social hiperhigiénico” (Paxson, 2008).

Como contraparte, la microbiopolítica post-Pasteuriana es definida por Paxson (2008) como aquella que se abre a “modos alternativos de pensar sobre lo que los Pasteurianos simplemente descartarían como conducta de riesgo irracional frente a los microbios”<sup>17</sup> (p. 36). Desde esta posición, los microorganismos pueden también ser nuestros aliados<sup>18</sup>. Y el arte microbiano se inscribe aquí de una particular manera: introduciendo la dimensión estética en el control productivo de la vida microbiana.

---

<sup>17</sup> Traducción del inglés de elaboración propia.

<sup>18</sup> La microbiopolítica post-Pasteuriana no desconoce que hay peligros asociados a los microorganismos, o sea, no es anti-Pasteuriana (Paxson, 2014).

# EXPERIENCIAS PREVIAS DE ARTE CON MICROORGANISMOS

André Barbet | Andrés Marcoleta

Desde las primeras pinturas microbianas realizadas por Alexander Fleming, artistas y científicos han recurrido a diversos procedimientos que permiten poner a los microbios al servicio de la expresión visual figurativa. A continuación se presentan, clasificados en diez categorías, varios de aquellos trabajos, entre los cuales se incluyen algunos que han sido desarrollados en el marco de proyectos científicos y no artísticos, pero cuyo método es perfectamente utilizable para la producción de arte microbiano.

## 1. Pintura

Como ya se ha mencionado, el primero en producir imágenes por medio de microorganismos fue Alexander Fleming, quien, en su afición por las artes visuales, recurrió a sus conocimientos en microbiología para realizar las pinturas que llamó *germ paintings*. El procedimiento consistía en dibujar sobre un trozo de papel secante, el cual era luego esterilizado y colocado sobre agar con nutrientes dentro de una placa de Petri. Posteriormente, sobre la superficie del papel “pintaba” usando cultivos líquidos de microorganismos que producen pigmentos de distintos colores. Así, tras su incubación a una temperatura adecuada, la obra aparecía coloreada por el crecimiento de los microbios pigmentados sobre el papel, el que luego podía ser retirado para su conservación (Fleming, 1937/2007; Maurois, 1959, cap. XI).



Fig. 7. Alexander Fleming. *Germ painting*, c. 193-/194-. Pintura bacteriana sobre papel.  
© Imperial College Healthcare NHS Trust. Reproducida con autorización.

Actualmente, el método más comúnmente utilizado en el *agar art*<sup>1</sup> consiste en pintar inoculando microorganismos directamente sobre el agar, usando un asa de siembra o un pincel estéril. Así lo hace la artista británica JoWonder en su proyecto *6 days goodbye poems of Ophelia*<sup>2</sup> (Fig. 8), recurriendo a una amplia colección de bacterias de diversos colores compilada por el bacteriólogo Simon F. Park (U. de Surrey) para reversionar seis veces el cuadro *Ophelia*, pintado por John E. Millais en 1854. Para facilitar el proceso, la artista posiciona bajo la placa un dibujo esquemático en papel que le sirve de guía, el cual resulta visible a través del agar, que permanece transparente mientras no hayan crecido las bacterias. Finalmente, usa el registro fotográfico para realizar videos, donde interviene digitalmente las imágenes e incorpora el audio de poemas recitados dedicados al personaje retratado en la pintura.

<sup>1</sup> El término *agar art* (“arte en agar”) se ha popularizado principalmente a partir del Agar Art Contest, competencia anual de arte microbiano realizado en placas de agar que la American Association for Microbiology ha convocado de manera ininterrumpida desde 2015.

<sup>2</sup> En su primera etapa, el proyecto contó con financiamiento de la fundación Wellcome.



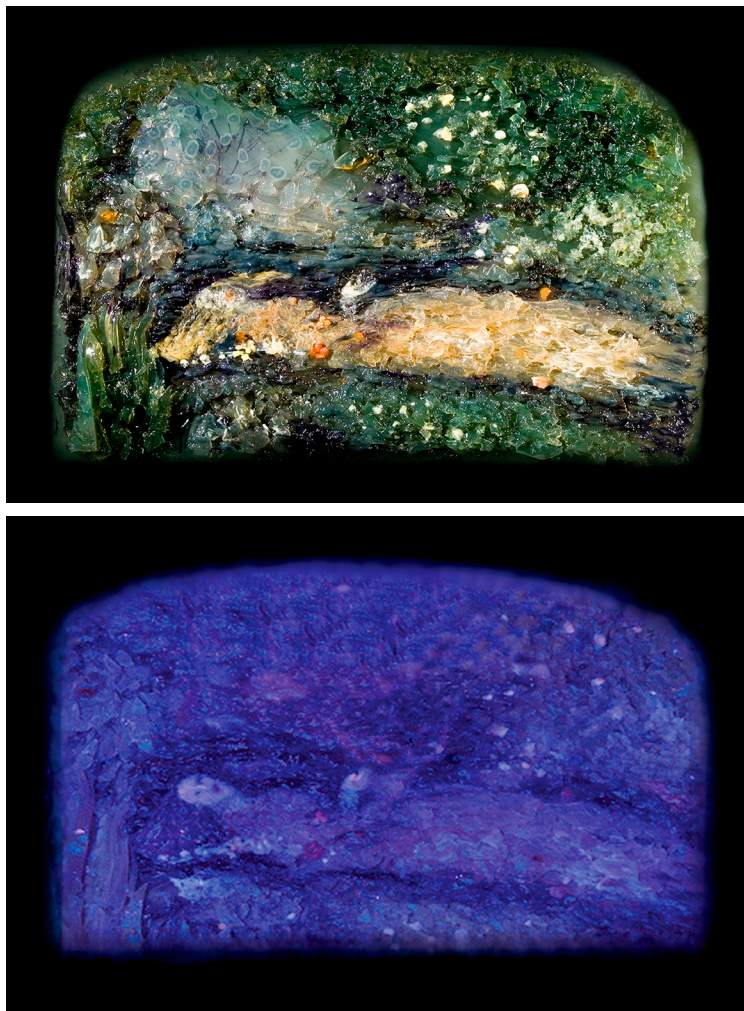
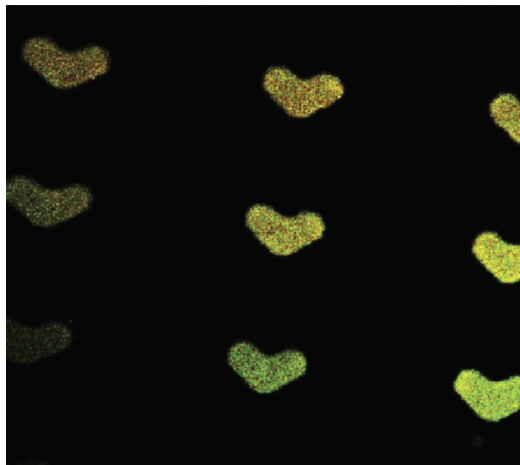


Fig. 8. JoWonder. Del proyecto *6 days goodbye poems of Ophelia*, 2007-presente. Fotografías intervenidas digitalmente de pinturas bacterianas sobre agar. Cortesía de la autora.

## 2. Esténcil

Jenna Eun y Douglas Weibel (2009; U. de Wisconsin-Madison) proponen estampar bacterias dispuestas en distintas formas usando un esténcil de alta definición fabricado en silicona, el cual permite delimitar las zonas donde son sembrados los microbios. El método requiere la utilización de cepas formadoras de biopelículas (agrupaciones de bacterias embebidas en sustancias poliméricas que se adhieren fuertemente a superficies). De este modo, las bacterias se mantienen adheridas al agar al momento de retirar la plantilla, asegurando así la reproducción de figuras a escalas micrométricas.



**Fig. 9.** Jenna Eun y Douglas Weibel. Cultivo de bacterias fluorescentes, 2009. 190  $\mu\text{m}$  (ancho de cada figura). Fuente: Eun y Weibel (2009).  
© 2009 American Chemical Society. Reproducida con autorización.

Por su parte, la artista australiana Tarsh Bates, en su obra *Surface dynamics of adhesion* (Fig. 10), cultiva la levadura *Candida albicans* en un medio sólido que contiene sangre de la artista entre sus nutrientes. Para que los microorganismos crezcan formando la imagen, que está basada en los primeros dibujos de este hongo, realizados por el

científico francés Charles P. Robin y publicados en 1853<sup>3</sup>, Bates (2015, p. 8) coloca sobre el agar un estencil de papel que ha sido previamente esterilizado. Luego, usando un rastrillo (asa de Drigalski), esparce un cultivo líquido sobre el estencil. Así, tras incubar durante una noche a temperatura adecuada, se puede ver que el crecimiento de la levadura se concentra en las zonas que la plantilla tenía abiertas.

Como parte de una instalación, los cultivos son exhibidos vivos dentro de cajas de acrílico, para así minimizar el riesgo de contaminación con microbios ambientales, además de evitar que espectadoras y espectadores se vean expuestos al hongo. Durante los días de la muestra, el cultivo sigue proliferando, desfigurando progresivamente el diseño original: “la *Candida* viva escapa de las restricciones del patrón durante la exposición, perturbando los intentos por disciplinarla”<sup>4</sup> (Bates, 2015, p. 3).



**Fig. 10.** Tarsh Bates. Parte de la obra *Surface dynamics of adhesion* (re-versión), 2016. Cultivos de levadura sobre agar dentro de cajas de acrílico, 15 x 210 cm.

Fotografía: Tim Deussen. Fuente: Rapp (2019). © BY 4.0<sup>5</sup>.

<sup>3</sup> Estos dibujos fueron incluidos en su libro *Histoire naturelle des végétaux parasites qui croissent sur l’homme et sur les animaux vivants* (Robin, 1853).

<sup>4</sup> Traducción del inglés de elaboración propia. Cursiva añadida al género de la levadura.

<sup>5</sup> [creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es)

Por su parte, la artista canadiense WhiteFeather Hunter lleva a cabo un proceso similar, pero usando bacterias pigmentadas en lugar de levaduras. Esto da lugar a que, una vez que los microbios han crecido, se pueda realizar una impresión presionando un trozo de tela contra el cultivo. Con este método, que Hunter llama *Petri printing*, se obtiene un registro material que constituye una obra preservable, que se vale de las características metabólicas propias del medio biológico, contrastando así con el trabajo de Tarsh Bates en *Surface dynamics of adhesion*, del cual solamente se conservan registros fotográficos, pues su decisión de dejar a los organismos vivir conlleva inevitablemente dejar a la obra morir.

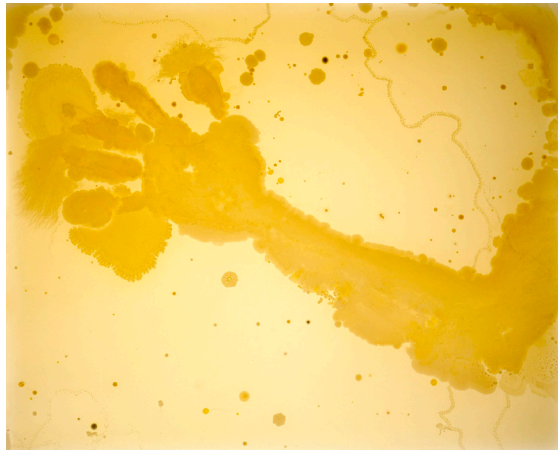


Fig. 11. WhiteFeather Hunter. *Petri print* sin título, 2017. Impresión bacteriana sobre seda dentro de placa de Petri de vidrio, 10 x 10 x 4 cm. Fuente: iotainstitute.com. Reproducida con autorización de la autora a través de Copyright Visual Arts - CARCC, 2019.

### 3. Impronta

En la serie *Myself* (Fig. 12), el artista alemán Edgar Lissel siembra su microbiota dérmica (conjunto de microorganismos que viven naturalmente en la piel), poniendo partes de su cuerpo en contacto con agar. Tras incubar, los microorganismos que crecen evidencian la

impronta. Así, el autor se autorretrata no solamente en base a la forma particular de su cuerpo, sino también a la composición de su microbiota, que es distinta en cada persona. De hecho, el análisis genético de la microbiota personal permite incluso la individualización de gemelos de idéntico ADN (Franzosa et al., 2015).



**Fig. 12.** Edgar Lissel. De la serie *Myself*, 2004-2010. Fotografía de impronta microbiana (impresión en tinta pigmentada sobre papel de conservación), 80 x 100 cm. Edición de 5 + 2 PA. Cortesía del autor.

Otra artista que ha improntado su microbiota dérmica es la austriaca Sonja Bäuml, quien en la obra *Expanded Self* (Fig. 13), realizada con la colaboración del bacteriólogo Erich Schopf, se acuesta boca abajo sobre el agar contenido en una placa de 210 x 80 cm, para luego dejar crecer los microorganismos que fueron transferidos desde su cuerpo al medio de cultivo. Al séptimo día, la placa es fotografiada y documentada, para luego ser exhibido su registro. De esta manera, la artista hace visible lo que es declarado en su trabajo audiovisual *(In)visible*: que “el cuerpo humano no termina con su piel, sino que está expandiéndose invisiblemente en el espacio”<sup>6</sup> (Bäuml, 2009, 0’16”).

<sup>6</sup> Traducción del inglés de elaboración propia.



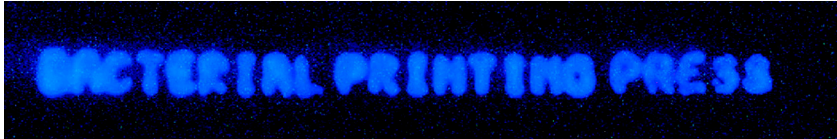
Fig. 13. Sonja Bäumel. *Expanded Self*, 2012. Impronta microbiana, 210 x 80 cm. Cortesía de la autora.

#### 4. Impresión tipográfica

En 2005, científicos de la U. de Harvard (Weibel et al., 2005) publicaron un procedimiento de impresión tipográfica que permite sembrar cultivos de bacterias de manera precisa sobre medio sólido, con una resolución milimétrica. El método requiere de un molde en negativo, el cual puede ser construido en silicona fotocurada para conseguir buena resolución. Una vez esterilizado, se funde un medio nutritivo a base de agarosa para verterlo en el molde y obtener así una matriz tipográfica, que se retira con cuidado tras haberse gelificado.

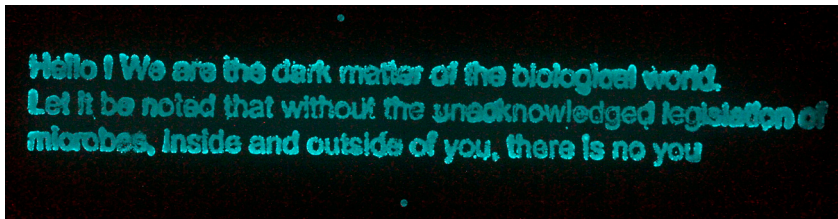
Para el “entintado” de la matriz, los autores del artículo describen tres opciones: 1) recoger células por contacto directo con un césped bacteriano, 2) desde un cultivo líquido, inocular bacterias en las zonas en sobrerrelieve usando una micropipeta, o 3) esparcir cultivo líquido por toda la matriz. Una vez inoculada esta, las bacterias se traspasan por contacto a un medio sólido y se dejan crecer.

Una particularidad de esta técnica es que la matriz de impresión funciona también como medio de cultivo para las bacterias, de modo que la tinta es capaz de auto-regenerarse, siendo conservable y reutilizable por un periodo de hasta un mes.



**Fig. 14.** Douglas Weibel et al. Impresión bacteriana con matriz de agarosa, 2005. 1,5 x 23 mm (dimensiones del texto). Fuente: Weibel et al. (2005). © 2005 American Chemical Society. Reproducida con autorización.

Más sencillo que el método de Weibel et al. es el proceso efectuado por Simon Park para la realización de la obra que él mismo destacó como “el primer *tweet* bacteriano de la historia”<sup>7</sup> (Fig. 15). En este trabajo, Park utiliza una suspensión de bacterias bioluminiscentes a modo de tinta, y un timbre de goma para imprimir sobre medio sólido un texto acerca de la presencia inadvertida, y a la vez indispensable para el ser humano, de los microbios: “¡Hola! Somos la materia oscura del mundo biológico. Nótese que sin la ignorada legislación de los microbios, dentro y fuera de usted, usted no existe”<sup>8</sup>.



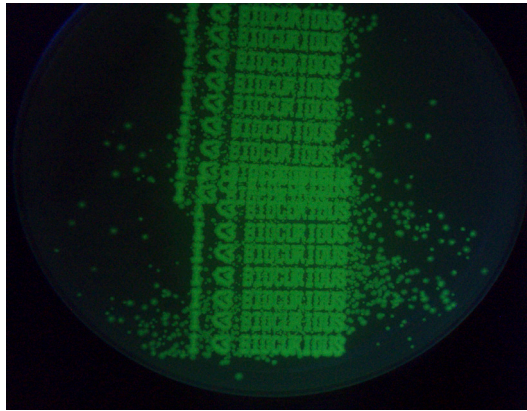
**Fig. 15.** Simon Park. Impresión bacteriana con timbre de goma, 2012. Fuente: [exploringtheinvisible.com](http://exploringtheinvisible.com). Reproducida con autorización.

<sup>7</sup> [twitter.com/SimonSublime/status/271754374856970240](https://twitter.com/SimonSublime/status/271754374856970240)

<sup>8</sup> Traducción del inglés de elaboración propia.

## 6. Impresión por eyección o deposición de gotas

A principios de los años 2000, investigadores de la U. de Clemson (Xu et al., 2004) adaptaron una impresora de inyección de tinta para usar como tinta un cultivo de *Escherichia coli*, y un vidrio cubierto con una fina capa de medio nutritivo sólido como sustrato, consiguiendo así una manera de depositar microorganismos con precisión sobre una superficie, resultando mucho más económico que los robots disponibles comercialmente para tales fines. Posteriormente, en el *biohackspace*<sup>9</sup> estadounidense Biocurious, bajo la organización de los científicos Patrik D'haeseleer y Maria Chavez, fue diseñada una bioimpresora de aún más bajo costo, que puede construirse siguiendo las instrucciones que fueron publicadas en internet de manera gratuita (D'haeseleer, 2013). Según lo indicado en su sitio web<sup>10</sup>, el proyecto sigue en desarrollo y abierto a la colaboración de quien desee integrarse.



**Fig. 16.** Patrik D'haeseleer. *I <3 BIOCURIIOUS*, 2013. Bioimpresión bacteriana. Cortesía del autor. © BY 4.0<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Un *biohackspace* es un espacio físico que funciona como laboratorio colaborativo para el desarrollo de proyectos en el área de las ciencias biológicas, donde converge el trabajo tanto de científicos profesionales como de estudiantes y aficionados a la ciencia.

<sup>10</sup> [www.biocurious.org/projects/](http://www.biocurious.org/projects/)

<sup>11</sup> [creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es](http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es)



Por su parte, la estadounidense Jasmine Temple, artista residente en el laboratorio del genetista Jef Boeke (Langone Medical Center, U. de Nueva York), junto a Michael Shen y Leslie Mitchell, miembros del mismo laboratorio, imprimen imágenes que denominan “biopuntillistas”, en alusión a la técnica pictórica puntillista, iniciada por el neopuntillista francés Georges Seurat a fines del siglo XIX. Para esto, el equipo utiliza distintas cepas transgénicas de *Saccharomyces cerevisiae* (conocida comúnmente como levadura de cerveza o de panadero), que han sido modificadas para producir pigmentos que son sintetizados naturalmente por otros organismos<sup>12</sup>. Luego, por medio de un sistema de eyección acústica, microgotas de cultivos de levadura son depositadas con precisión en una placa con medio nutritivo sólido. Así, tras dos días de incubación, cada gota habrá dado lugar a una colonia de levadura (un “biopixel”) del color correspondiente a la cepa que haya sido sembrada. Finalmente, la placa se mantiene refrigerada por dos semanas, logrando así la intensificación de los colores (Yeast Art Project, s.f.).



Fig. 17. Jasmine Temple y Jef Boeke. *Sunset at the end*, 2017. Impresión biopuntillista sobre agar, 7,25 x 10,75 cm. Cortesía de los autores.

<sup>12</sup> El procedimiento para conseguir que la levadura produzca algunos de los pigmentos es descrito por Mitchell et al. (2015).



**Fig. 18.** Michael Shen y Jef Boeke. Retrato de Gregor Mendel, 2015. Impresión biopuntillista sobre agar, 10,75 x 7,25 cm. Cortesía de los autores.

Para poder conservar la obra más allá del registro fotográfico, Temple realiza el mismo procedimiento, pero colocando papel filtro estéril sobre la placa antes de imprimir, de modo que los microorganismos son sembrados sobre el papel y crecen sobre este. Finalmente, el papel se barniza para asegurar que las colonias se mantengan adheridas.

Por último, en Counter Culture Labs (*biohackspace* en California), el ingeniero Tim Dobbs encabeza el proyecto *BioArtBot*, que se centra en la impresión

automatizada de imágenes a través de un robot manipulador de líquidos que deposita microgotas de cultivos de *Escherichia coli* sobre una placa con agar, usando una micropipeta. La particularidad del proyecto está en la existencia de un software en línea, con el cual se puede diseñar y enviar una imagen para ser impresa, a cambio de una donación que puede hacerse en el mismo sitio web<sup>13</sup>. Luego, una foto del cultivo ya crecido es enviada por correo electrónico al usuario. Actualmente, el sistema dispone de 5 cepas transgénicas que expresan pigmentos de diferentes colores.

---

<sup>13</sup> [www.bioartbot.org](http://www.bioartbot.org)

## 5. Serigrafía

En la obra *Azimuth* (Fig. 19), Kristin Weissenberger y Günter Seyfried recurren a la serigrafía para transferir microorganismos a una placa con agar, usando levadura fresca de panadero a modo de tinta, la cual se diluye para conseguir una consistencia adecuada a la técnica de impresión serigráfica. La placa con el cultivo ya crecido, cuyo diseño reproduce las líneas de Nazca (geoglifos ubicados en el desierto del mismo nombre, en Perú), además de varios símbolos ocultistas de distintas culturas, fue instalada sobre una plataforma giratoria y exhibida sin recurrir a método de conservación alguno. Así, no solamente siguió proliferando la levadura sembrada, sino que, expuesta al aire durante su exhibición en la Semana del Diseño de Viena 2016, en la placa también crecieron innumerables contaminantes ambientales.



Fig. 19. Kristin Weissenberger y Günter Seyfried. *Azimuth*, 2016. Serigrafía de levadura sobre agar pigmentado,  $\varnothing$  50 cm. Cortesía de los autores.

## 6. Exposición a radiación

*Yeastogram* (“levadurograma”) es el nombre que dieron los miembros del colectivo vienés Pavillon 35 (2013) a la técnica que desarrollaron para reproducir imágenes con cultivos de levadura, en base a la acción microbicida de la radiación ultravioleta. Esta consiste en sembrar un césped de *Saccharomyces cerevisiae* sobre agar en una placa. Una vez sembrada, la placa es cubierta con una tapa donde previamente se ha colocado un fotolito<sup>14</sup>, luego de lo cual es incubada bajo luz UV. Así, solamente logran sobrevivir y reproducirse las células que han quedado protegidas de la radiación UV por las partes negras del fotolito. Teñir el medio de cultivo con colorante aumenta el contraste con la levadura blanca.

A partir de esta técnica, en su obra *ANIMA 1.0*, Lucas Czjzek (hoy ex integrante de Pavillon 35) presenta un aparato que en una pantalla muestra una animación construida en base a 21 levadurogramas en placas de Petri, cada uno de los cuales constituye un fotograma del video. Un set de cámaras captura continuamente las placas —que se mueven en plataformas giratorias— para mostrarlas como secuencia en la pantalla. Importante es señalar que las placas se encuentran dentro de una vitrina refrigerada para mantener los cultivos.

Por su parte, tras haber asistido a un workshop ofrecido por Pavillon 35 y la Finnish Society of Bioart, la artista finlandesa Johanna Rotko trabaja a tiempo completo con la técnica del levadurograma. En su trabajo, esta artista ha incorporado el uso de fotolitos de mucha definición, logrando así que el cultivo reproduzca distintos valores tonales sin evidenciar una trama de puntos. De esta manera, consigue imágenes de una estética etérea muy adecuada a la reproducción de retratos fotográficos de personas fallecidas y desconocidas, encontradas en ferias de antigüedades, que forman parte de su proyecto *Living*

---

<sup>14</sup> Un fotolito es una fotomáscara, elaborada usualmente en una película plástica transparente sobre la cual se ha impreso una imagen en negro, cuya función es bloquear el paso de la luz solamente en los sectores negros.

*images, yeastograms* (Fig. 20). Cabe señalar que, a diferencia de Czjzek en *ANIMA 1.0*, Rotko no restringe la evolución natural del cultivo biológico, exhibiendo las placas con la levadura viva y expuestas al ambiente, sin evitar que otros microbios colonicen sus trabajos.



Fig. 20. Johanna Rotko. Del proyecto *Living images, yeastograms*, 2013-presente. Levadurograma, 10 x 10 cm. Cortesía de la autora.

## 7. Motilidad fotorresponsiva (movimiento en respuesta a la luz)

En la década de 1980, el científico alemán Donat-Peter Häder (1984) reprodujo una fotografía de la Catedral de Friburgo proyectando luz, a través de un negativo, sobre un cultivo en medio sólido de cianobacterias del género *Phormidium*. Basado en la motilidad y la condición fotosintética de las cianobacterias, que en este caso manifiestan una respuesta escotofóbica (“miedo a la oscuridad”), Häder logra que las células se acumulen en una densidad proporcional a la cantidad de luz proyectada en cada zona, siempre y cuando la intensidad lumínica no supere cierto umbral. A las imágenes así producidas, Häder las llamó *algographs* (“algografías”), las cuales fija por desecación.

Posteriormente, siendo académico de la U. de Erlangen-Nürnberg, Häder colaboró con el artista alemán Edgar Lissel en la realización de la obra *Bacterium – WATER LIGHT(S) HISTORY* (Fig. 21). En ella, Lissel reproduce algográficamente una serie de fotografías de las ruinas de la base Killian, un búnker submarino construido en Alemania durante la II Guerra Mundial, que fue destruido en su mayor parte en 1945, y cuyos últimos restos fueron desmantelados en 2001. Como parte del proceso, y en concordancia con el sentido de su obra, Lissel no fija las fotografías; en cambio, opta por preservar solamente registros fotográficos:

El carácter efímero y evanescente del búnker es reflejado en la creación de la imagen mediante bacterias. ( ... ) Tanto el original como la imagen existen solo en la reproducción. El búnker fue completamente destruido poco después. La imagen bacteriana solo podía mantenerse por medio de la fotografía<sup>15</sup> (Lissel, citado en Etkin, 2010, párr. 7).



**Fig. 21.** Edgar Lissel. De la serie *Bacterium – WATER LIGHT(S) HISTORY*, 1999-2000. Fotografía de algografía (impresión en tinta pigmentada sobre papel de conservación), 80 x 80 cm. Edición de 5 + 2 PA. Cortesía del autor.

<sup>15</sup> Traducción del inglés de elaboración propia.

Unos años después del experimento de Häder, los también alemanes Eilert Hustede, Matthias Liebergessel y Hans G. Schlegel (1989; por entonces académicos de la U. de Göttingen) reprodujeron un retrato de Louis Pasteur en base a la respuesta fotofóbica de una cepa específica de la cianobacteria *Chromatium vinosum*. El trabajo fue realizado depositando una suspensión de bacterias de dicho microorganismo entre dos vidrios (un portaobjeto y un cubreobjeto para microscopio), separados por espaciadores de 0,2 mm, para luego proyectar luz durante 5 minutos a través de una diapositiva de alto contraste que contenía el retrato de Pasteur reproducido en trama de semitonos. La respuesta fotofóbica se explica por la aplicación de una intensidad lumínica excesiva.

Por su parte, la artista francesa Lia Giraud ha trabajado ampliamente con el método iniciado por Häder, pero recurriendo al uso de microalgas eucariontes en lugar de cianobacterias, para la creación de sus *algægraphies*, trabajos que ha realizado en colaboración con el biólogo Claude Yéprémian, investigador del Museo Nacional de Historia Natural de Francia. Esta artista, además de exhibir registros fotográficos y los propios cultivos que han sido realizados en placas con agar —los cuales se encuentran en proceso natural de deshidratación o ya completamente deshidratados—, también registra videográficamente el proceso de formación de las imágenes para producir material audiovisual. No obstante, lo completamente novedoso está en su trabajo instalativo, con obras que permiten al espectador observar presencialmente el movimiento de los organismos vivos en medio líquido, en respuesta a la luz proyectada en aquel mismo momento. Ejemplo de esto es la obra *Temps de pose* (Fig. 22), donde se proyecta en tiempo real, sobre un cultivo de microalgas, la imagen proveniente de una cámara de vigilancia que ha sido instalada en otra habitación de la misma galería donde se encuentra el artefacto cuya pantalla contiene los microorganismos. En 20 minutos, una *algægraphie* se ha formado en la pantalla; pero Giraud no detiene la exposición una vez que la imagen

ya ha sido “correctamente” reproducida ante el negativo proyectado, de modo que la respuesta de las algas que ya han recibido suficiente luz se va tornando de escotofóbica a fotofóbica, dando lugar a un resultado similar a una fotografía argéntica solarizada<sup>16</sup>.



**Fig. 22.** Lia Giraud. *Temps de pose*, 2012.  
Instalación. Cortesía de la autora.

---

<sup>16</sup> La solarización es un fenómeno que ocurre al sobreexponer excesivamente un soporte fotográfico argéntico (sensibilizado con sales de plata), dando como resultado un revelado con valores tonales parcialmente invertidos. Así, zonas que estaban destinadas a ser muy oscuras no llegan a serlo y viceversa.



Por último, mientras todas las experiencias presentadas anteriormente recurren al uso de organismos fotosintéticos, científicos de la Universidad de Roma La Sapienza (Frangipane et al., 2018) reprodujeron imágenes en cultivos bacterianos, basándose únicamente en la respuesta fotocinética de una cepa de *Escherichia coli*, que fue modificada genéticamente para responder a la luz, de modo que su movimiento aleatorio sea más rápido mientras más luz reciba el microorganismo (fotocinesis positiva). De este modo, al proyectar una imagen sobre un cultivo en medio líquido, las bacterias se acumulan en los sectores que reciben menos luz. Cabe señalar que el trabajo de este equipo, encabezado por el físico Roberto Di Leonardo, es ejecutado a escalas micrométricas, de modo que las imágenes son observables solamente a través de un microscopio, y su condición es inevitablemente efímera, pues las bacterias se encuentran en movimiento libre y constante.



Fig. 23. Giacomo Frangipane et al. Reproducción de la *Mona Lisa* de Leonardo da Vinci, 2018. Cultivo de bacterias fotocinéticas, 0,7 x 1 mm. Fuente: Frangipane et al. (2018). © BY 4.0<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> [creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es)

## 8. Optogenética

La optogenética trabaja controlando la expresión génica en células vivas por medio de estímulos lumínicos. En el campo de la microbiología, se han modificado microorganismos naturalmente insensibles a la luz para que respondan de una manera específica a determinados estímulos lumínicos. En 2004, para la primera versión de la competencia internacional de biología sintética iGEM (International Genetically Engineered Machine), el equipo de la U. de Texas en Austin creó una “película bacteriana”, a partir del desarrollo de una cepa transgénica de *Escherichia coli*, que incorpora material genético proporcionado por el laboratorio de Chris Voigt (por entonces académico de la U. de California en San Francisco) para ser sensible a la luz. Esta cepa fue modificada para que, según sea expuesta o no a luz roja, vea inhibida o no la formación de la enzima que procesa azúcares como la lactosa (Levskaia et al., 2005). La película bacteriana se elabora incorporando estas bacterias y el azúcar indicador S-Gal<sup>®</sup> a un medio de cultivo con poca cantidad de gelificante (agar blando o semisólido), el cual es vertido en una placa. Luego, para conseguir una fotografía bacteriana, la placa es colocada dentro de un incubador, donde es iluminada solamente por luz roja, la cual es proyectada a través de un negativo que determina la cantidad de luz que reciben las bacterias en las distintas zonas del cultivo (Levy et al., 2006). En presencia de S-Gal<sup>®</sup> (azúcar similar a la lactosa), un precipitado oscuro se forma si las bacterias lo procesan. En consecuencia, mientras más luz roja reciba el cultivo al crecer, menos precipitado se forma, y más claras son las zonas, reproduciendo así la imagen contenida en el negativo proyectado.

Según señala Jeff Tabor (2010/s.f.), que fue parte de aquel equipo de la U. de Texas y que actualmente es académico en la Universidad Rice, el agar con la fotografía bacteriana puede retirarse de la placa y encapsularse en resina epóxica, y así preservarse indefinidamente.



**Fig. 24.** Jeff Tabor. Retrato de Albert Einstein, c. 2009.  
Fotografía bacteriana,  $\varnothing$  9 cm. Cortesía del autor.

Posteriormente, un equipo a cargo de Chris Voigt (ahora académico del Instituto de Tecnología de Massachusetts) consiguió, también con ingeniería genética, que una *Escherichia coli* responda de manera diferenciada a los distintos colores primarios de la luz, cada uno de los cuales activa la expresión de un gen específico asociado a la producción de una enzima particular (Fernandez-Rodriguez et al., 2017). Entonces, basado en que la actividad de cada una de estas enzimas se puede identificar con un sustrato cromogénico distinto, si se adiciona ya no uno, sino tres indicadores al medio, se pueden conseguir tres colores diferentes en el cultivo. Por tanto, si se proyectan luces de colores sobre las bacterias mientras estas son incubadas, una vez que el césped haya crecido se podrá observar que las bacterias producen tres pigmentos diferentes, según el color del estímulo lumínico que hayan recibido en cada sector, resultando en una fotografía bacteriana a color.



**Fig. 25.** Jesus Fernandez-Rodriguez et al. Fotografía bacteriana, 2017. 8 x 12 cm (placa). Fotografía: Felice Frankel. Fuente: Fernandez-Rodriguez et al. (2017).  
© 2017 Springer Nature. Reproducida con autorización.

En Chile, un proyecto que se aboca a la reproducción de imágenes a partir de técnicas optogenéticas es el proyecto *Live canvas* (“*Lienzo vivo*”), encabezado por Luis Larrondo, académico de la Pontificia U. Católica de Chile y Director del Instituto Milenio de Biología Integrativa<sup>18</sup>, y en el que han participado, además de científicos, los fotógrafos Constanza Hevia y Andrés Gallegos. Su método se basa en la modificación genética de una cepa del hongo *Neurospora crassa*, para que esta produzca luz al ser expuesta a luz azul, en intensidad proporcional a la luz recibida.

Este fenómeno de bioluminiscencia se da por la oxidación de un compuesto llamado luciferina en presencia de la enzima luciferasa, mismo fenómeno que da origen a la luz de las luciérnagas; pero mientras estas últimas producen en su propio cuerpo ambas sustancias, el hongo utilizado por Larrondo está programado para, al ser estimulado por luz, producir la luciferasa, mientras que la luciferina se encuentra en

<sup>18</sup> [www.ibio.cl](http://www.ibio.cl)

<sup>19</sup> Esta modificación genética, pero realizada en una levadura, es descrita en el trabajo de Salinas et al. (2018).

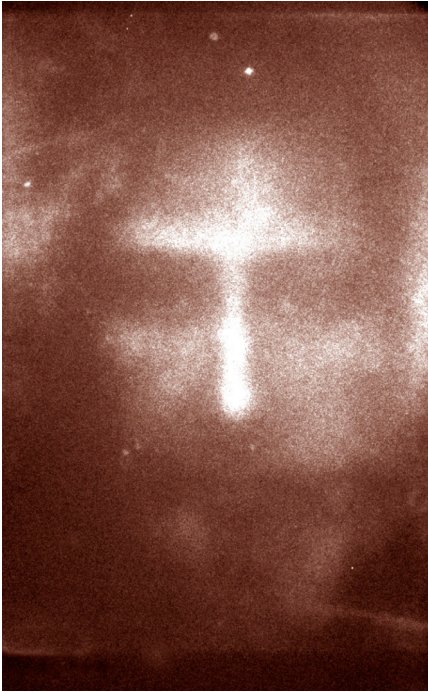


Fig. 26. Consuelo Olivares y Luis Larrondo. Retrato de Jesús en base al Sudario de Turín, 2018. Fotografía en sepia de imagen en *live canvas*. Cortesía de los autores.

el medio de cultivo<sup>19</sup>. Así, tras proyectar una imagen en positivo sobre un césped, este comenzará a emitir luz, aumentando progresivamente su intensidad hasta hacer claramente visible la imagen que fue proyectada, en un proceso que recuerda al de las fotografías instantáneas Polaroid™. Pero a diferencia de estas últimas, en el *live canvas* la imagen no se conserva, sino que, en ausencia del estímulo lumínico, pronto comienza a atenuarse hasta desaparecer.

Por su parte, en la Universidad Stanford, Xiaofan Jin e Ingmar Riedel-Kruse (2018a, 2018b) desarrollaron un procedimiento para controlar ópticamente la expresión de un gen responsable de la producción de adhesinas

en una cepa de *Escherichia coli*, de modo que las bacterias forman biopelículas en las zonas donde estas son expuestas a luz azul durante la incubación. Luego, habiendo ya crecido sobre un vidrio cubierto con una fina capa de medio nutritivo sólido, el cultivo es lavado con detergente, removiendo así la mayoría de las células que no se adherieron al soporte como resultado de la formación de biopelícula. Esta técnica, que los autores denominaron *biofilm lithography* (“litografía de biopelícula”) permite reproducir imágenes a una definición que alcanza los 25  $\mu\text{m}$  (984 dpi).

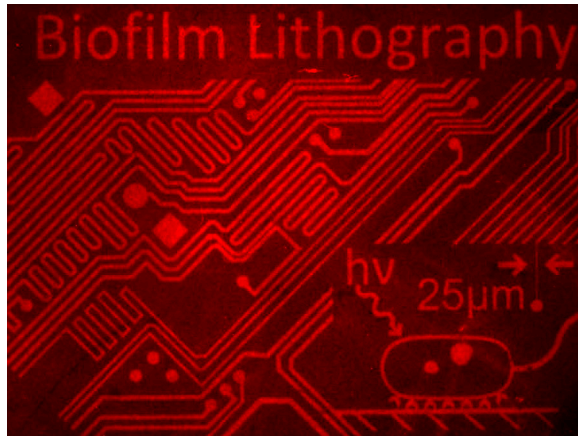


Fig. 27. Xiaofan Jin e Ingmar Riedel-Kruse. Litografía de biopelícula, 2018. 13 x 16 mm. Fuente: Kubota (2018). Reproducida con autorización.

Por último, otro procedimiento optogenético para fijar selectivamente las bacterias por formación de biopelícula fue publicado por investigadores de la U. de Ciencia y Tecnología de China y de la U. Huazhong de Ciencia y Tecnología (Huang et al., 2018), apenas un mes después de publicado el trabajo de Jin y Riedel-Kruse.

## 9. Recorte del medio de cultivo

El artista chileno Rodrigo Arteaga, en sus obras *Convergencia y Atlas de Chile Regionalizado* (Fig. 28) —realizadas con la colaboración del Laboratorio de Microbiología del Centro Médico San Joaquín (Pontificia U. Católica de Chile)—, reproduce mapas con cultivos de diversos hongos filamentosos, cuya complejidad de texturas y colores aportan significativamente a la construcción visual de los mapas.

El procedimiento de Arteaga consiste en usar un bisturí para recortar el agar en la placa con la forma que desea reproducir, dejando sin medio de cultivo las zonas donde no han de crecer microorganismos. Luego siembra y deja crecer los hongos en el agar que ha quedado en la placa. Tras ello, vierte agar fundido para rellenar las zonas donde

previamente lo había retirado, y deja que los hongos sigan creciendo y comiencen a colonizar el agar nuevo. Por último, con resina sintética sella el cultivo para poder exhibirlo.

Cabe mencionar que si bien el artista esperaba que el sellamiento con resina detuviera el crecimiento de los hongos, esto no detuvo por completo su proliferación.

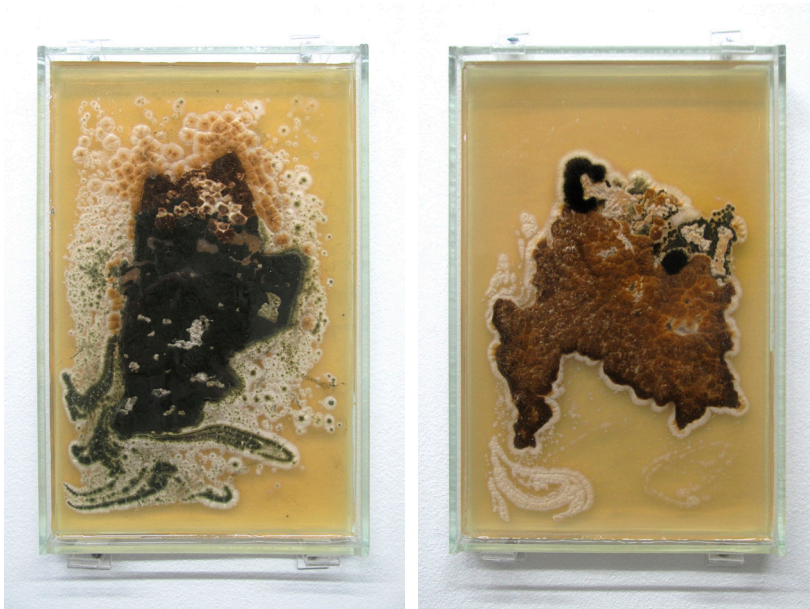


Fig. 28. Rodrigo Arteaga. De la obra *Atlas de Chile regionalizado*, 2013. Contenedores de vidrio con cultivos de hongos filamentosos en medio a base de agar, 30 x 20 cm. c/u. Cortesía del autor.

## 10. Uso de antibióticos

Con el mismo timbre de goma que usara para imprimir el *tweet* bacteriano (Fig. 15), posteriormente Simon Park volvió a estampar el texto, pero usando un antibiótico en lugar de una suspensión de bacterias sobre un cultivo ya sembrado en medio sólido, aunque aún no visible, de una cepa de *Serratia marcescens* que produce un pigmento de un intenso color rojo. Siendo sensibles al antibiótico usado, las bacterias

no crecen en su presencia, pero sí en el resto de la superficie (Fig. 29). Sin embargo, pronto comienzan a proliferar bacterias resistentes al antibiótico, las cuales, por ser móviles, van progresivamente invadiendo los sectores que habían sido reservados.

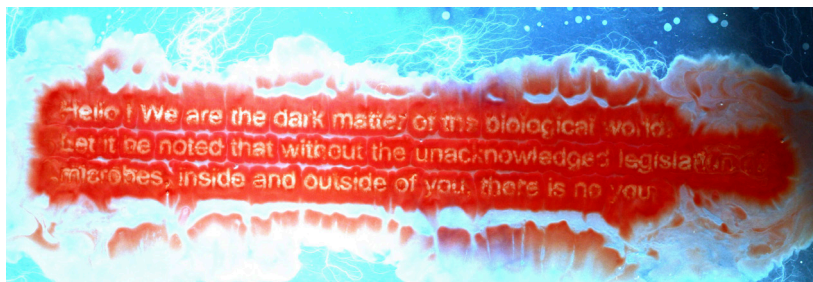
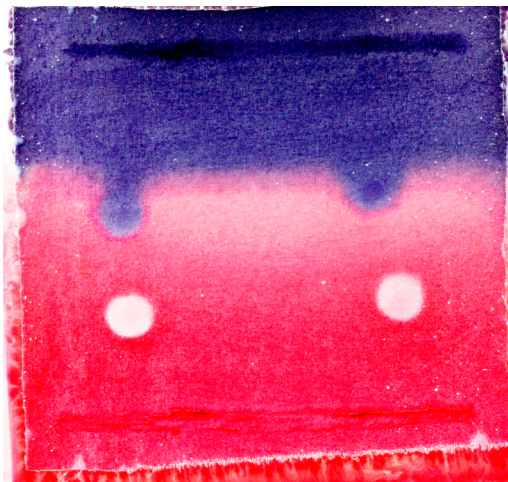


Fig. 29. Simon Park. Impresión tipográfica con antibiótico y cultivo bacteriano, 2015. Fuente: [exploringtheinvisible.com](http://exploringtheinvisible.com). Reproducida con autorización.

Además, Park (2015) ha desarrollado una técnica que llama *biobatik*, en alusión al *batik*, técnica de teñido tradicional de Indonesia. En esta última se reservan sectores de la tela a teñir, por medio de la aplicación de cera fundida. Así, cuando la tela es sumergida en una solución teñidora, la cera —ya solidificada— bloqueará la tinción en las zonas donde esta ha sido depositada. En el *biobatik*, en tanto, la reserva se hace usando antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias móviles pigmentadas, las cuales irán colonizando la tela —colocada sobre medio de cultivo sólido—, con la excepción de los sectores reservados. Para esto, los antibióticos son aplicados en solución líquida directamente sobre la tela, y luego sembradas las bacterias sobre algún sector sin antibiótico de la misma, para entonces dejarlas crecer.

Cabe hacer notar que, mientras en el *batik* tradicional los colores son aplicados uno a uno, en el *biobatik* es posible usar simultáneamente bacterias distintas, que produzcan pigmentos diferentes, y que no sean sensibles a los mismos antibióticos, haciendo posible que mientras un color ocupa un determinado sector, otros se mantengan al margen del mismo.





**Fig. 30.** Simon Park. Sin título, 2015. *Biobatik* en seda.  
Fuente: Park (2015). Reproducida con autorización.



# **MICROBIOGRAMA: DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA**

André Barbet | Andrés Marcoleta

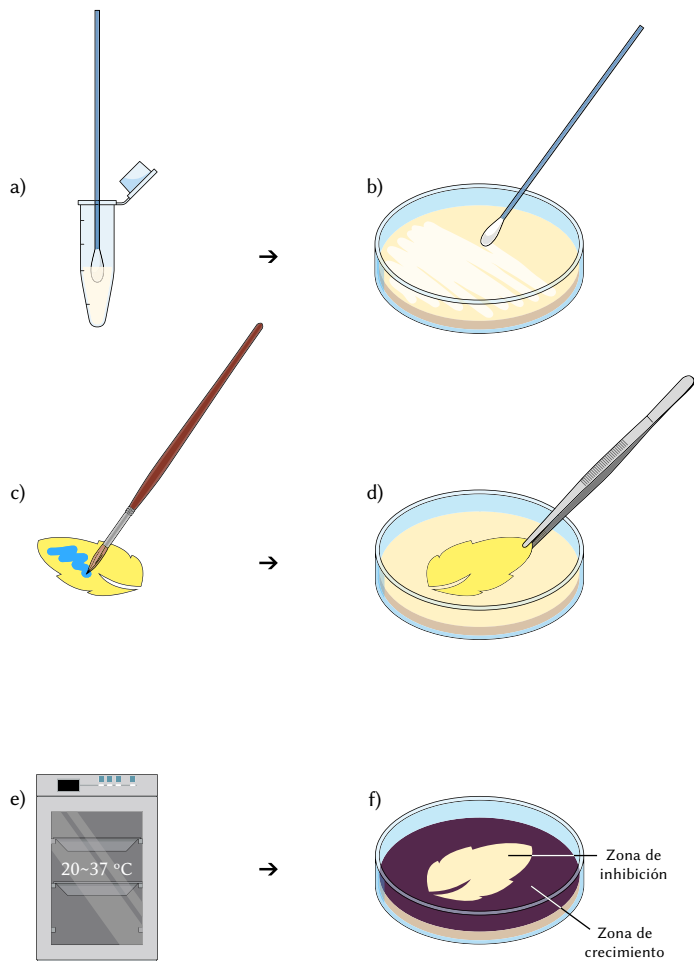
Con el objetivo de ofrecer una nueva manera de utilizar el cobre en el ámbito de la creación artística, se propone aquí un método basado en las conocidas propiedades antimicrobianas de este mineral, que hasta el momento no han sido aprovechadas por el arte.

A partir del protocolo descrito en este capítulo, es posible controlar cultivos de microorganismos en medio sólido, de modo que su crecimiento se vea inhibido —total o parcialmente— en ciertas zonas, a partir de la presencia de cobre en la superficie del medio. El cobre es usado en forma de sal disuelta, específicamente una solución acuosa de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), dado que así resulta mucho más sencillo trabajarlo en comparación a su forma metálica. En tanto, la aplicación de la solución antimicrobiana se realiza mediante el uso de una matriz embebida en dicha solución, para así producir la figura deseada.

Cabe mencionar que, si bien se explicará el método en términos sencillos, la presente publicación no describe procedimientos básicos estandarizados, propios del trabajo en microbiología, que son necesarios para ejecutar la técnica del microbiograma. Para estos efectos, se sugiere consultar un manual de laboratorio en caso de ser necesario<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> El manual elaborado por James Cappuccino y Chad Welsh (2019) resulta muy didáctico para estos efectos, en especial la parte 1. Lamentablemente, solo ha sido publicado en inglés.



**Fig. 31.** Síntesis del proceso: a) cultivo microbiano en medio líquido, b) inoculación de césped, c) aplicación de sulfato de cobre sobre matriz de goma EVA, d) traspaso de solución antimicrobiana a medio de cultivo, e) incubación a temperatura adecuada, f) resultado final.

Figura elaborada usando ilustraciones de Mind the Graph. © BY-SA<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> [creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es)

## Materiales

Esta es una lista de materiales básicos. En el protocolo se describen algunos procesos que requieren material adicional, o que omiten el uso de algunos de los elementos aquí enlistados. En general, estos son de fácil acceso y los procesos son ajustables a distintas condiciones.

- Mechero Bunsen.
- Balanza.
- Instrumentos de corte (tijeras, cuchillo cartonero, etc.).
- Pincel de cerdas blandas.
- Pinzas de acero inoxidable.
- Rastrillo de siembra (asa de Drigalski).
- Probeta u otro instrumento para medir volúmenes de líquidos.
- Micropipeta y puntas estériles, o pipetas Pasteur estériles.
- Lámina de goma EVA (etilvinilacetato).
- Tórula estéril con vástago.
- Tubos y/o frascos estériles (de 2 mL o más, para contener las soluciones de  $\text{CuSO}_4$ ).
- Placas de Petri con medio de cultivo sólido. Para el trabajo con bacterias se quiere usar medio Luria-Bertani (LB).
- Jeringa y filtro de nitrocelulosa compatible (poro de  $0,22 \mu\text{m}$ ).
- Discos de papel para antibiograma.
- Toalla de papel.
- Sulfato de cobre.
- Agua destilada estéril.
- Etanol (alcohol etílico) 70% (V/V).
- Etanol 95% (V/V; para esterilizar por flameo).
- Cultivo microbiano en medio líquido (crecido hasta notoria turbidez).

## 1. Selección de cepa microbiana

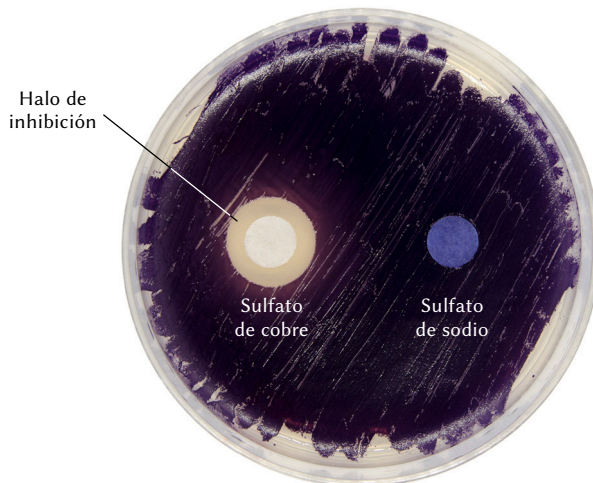
Para que la técnica funcione, el microorganismo a utilizar debe ser sensible a la acción antimicrobiana del cobre, pudiendo usarse bacterias, levaduras, microalgas, u otro tipo de microbios, siempre que sean susceptibles de ser cultivados como césped sobre agar. Por otro lado, aunque no es mandatorio, se sugiere usar microorganismos que produzcan pigmentos (no solubles en agua<sup>3</sup>) o que crezcan coloreados en medio sólido cromogénico. Esto permitirá realizar una impresión microbiana en papel, o deshidratar la placa para ser preservada y que se conserve visible, métodos que se describen más adelante.

## 2. Prueba de sensibilidad al cobre y determinación de la concentración óptima

Para comprobar que un microorganismo es sensible al sulfato de cobre, una prueba bastante sencilla es el método conocido como antibiograma con discos, que consiste en sembrar un césped microbiano en medio sólido, y encima colocar discos de papel embebidos en distintas sustancias. Una vez que los microorganismos han crecido, se hace visible un halo de inhibición alrededor de los discos que contienen sustancias con efecto antimicrobiano sobre la cepa utilizada (Fig. 32). Los discos se pueden hacer con papel filtro, cortándolos con una perforadora de oficina, y luego esterilizándolos en autoclave o bajo una lámpara germicida de luz UV. En tanto, la solución se prepara con agua destilada y se esteriliza usando un filtro de nitrocelulosa para jeringa, siendo conveniente que esté en alta concentración (en la figura 31 se usaron soluciones de 1 M), para evitar que la ausencia de acción antimicrobiana visible pueda deberse a una concentración insuficiente.

---

<sup>3</sup> Que el pigmento no sea soluble en agua evita su difusión en el agar. En caso de usarse cepas que produzcan este tipo de pigmentos, ha de asumirse una importante pérdida en la definición de la imagen.



**Fig. 32.** Antibiograma con discos. Prueba de sensibilidad a sulfato de cobre y a sulfato de sodio de la bacteria *Chromobacterium violaceum* en agar LB.  $\varnothing$  6 cm (placa).

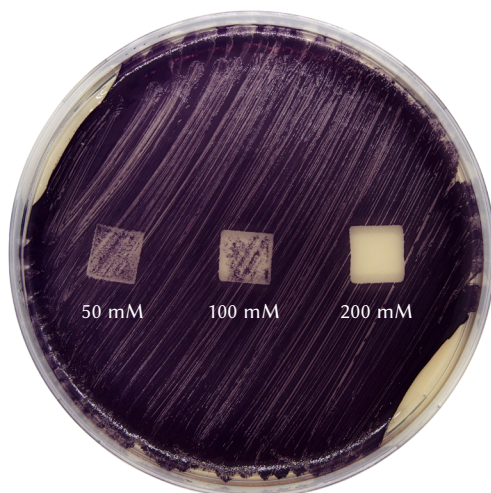
Una vez comprobada la sensibilidad de la cepa al sulfato de cobre, es necesario determinar la concentración adecuada de la solución a utilizar, la cual puede variar según el microorganismo y el medio de cultivo utilizados. Para esto, se cortan pequeños cuadrados de goma EVA (se sugiere 1 x 1 cm), que se esterilizan sumergiéndolos en etanol al 70% y dejándolos secar sobre un trozo de toalla de papel, cerca de un mechero Bunsen encendido; del mismo modo se esteriliza un pincel, dejándolo secar idealmente en posición vertical, con las cerdas hacia arriba. Es importante no acercarse demasiado al mechero, para evitar que las cerdas se quemen, así como tener cuidado de que la toalla de papel nunca tenga contacto con la llama.

Ya secos la goma EVA y el pincel, con este último se esparce sulfato de cobre sobre un cuadrado, sin retirarlo de la toalla de papel. Luego, usando unas pinzas estériles<sup>4</sup>, se coloca cuidadosamente la pieza de goma EVA boca abajo sobre el agar ya inoculado, traspasando así el sulfato de cobre

<sup>4</sup> Si las pinzas se esterilizan por flameo, es necesario que se enfríen antes de entrar en contacto con la goma EVA, para no dañar esta última.

al medio de cultivo. Con las mismas pinzas se presiona ligeramente el cuadrado, para asegurar que toda la superficie haga contacto, y luego se retira, cuidando que no se deslice. El procedimiento se repite para aplicar distintas concentraciones de solución antimicrobiana<sup>5</sup>, lavando el pincel con agua y esterilizándolo con etanol cada vez que se vaya a usar para aplicar una nueva concentración. La cantidad de solución aplicada debe ser similar en los distintos cuadrados, pues esto también incide en el resultado.

Una vez que los microorganismos han crecido, se podrá observar el resultado visual de la aplicación de cada concentración (Fig. 33), y en caso de que ninguno de estos sea satisfactorio, la prueba debe repetirse hasta encontrar la concentración que permita obtener el resultado deseado.



**Fig. 33.** Prueba de sensibilidad de la bacteria *Chromobacterium violaceum* a distintas concentraciones de sulfato de cobre en agar LB.  $\varnothing$  9 cm (placa).

<sup>5</sup> Conviene comenzar usando una secuencia de concentraciones donde cada una de estas duplique la anterior, tal como muestra la figura 33. Además, conviene preparar las distintas soluciones a partir de agua destilada y una solución concentrada de  $\text{CuSO}_4$ , estando ambas estériles. Para esto, es necesario que los volúmenes sean medidos y manipulados también en esterilidad. De lo contrario, será necesario disponer de un filtro de jeringa para cada solución.

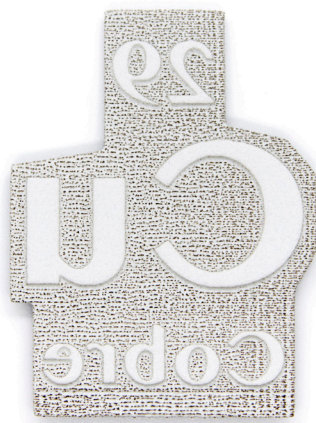


### 3. Elaboración de matriz

La matriz se construye a partir de una lámina goma EVA, usando tijeras, cuchillo cartonero u otros instrumentos de corte (Fig. 34). Otra manera, que permite hacer diseños más complejos y con más precisión, es grabar el polímero con láser, a partir de una imagen digital vectorial (Fig. 35). El primer método funciona bien con una lámina de 1,5 mm de grosor, mientras que para el segundo conviene usar una más gruesa.



**Fig. 34.** Matriz de goma EVA.  
45 x 53 x 1,5 mm.



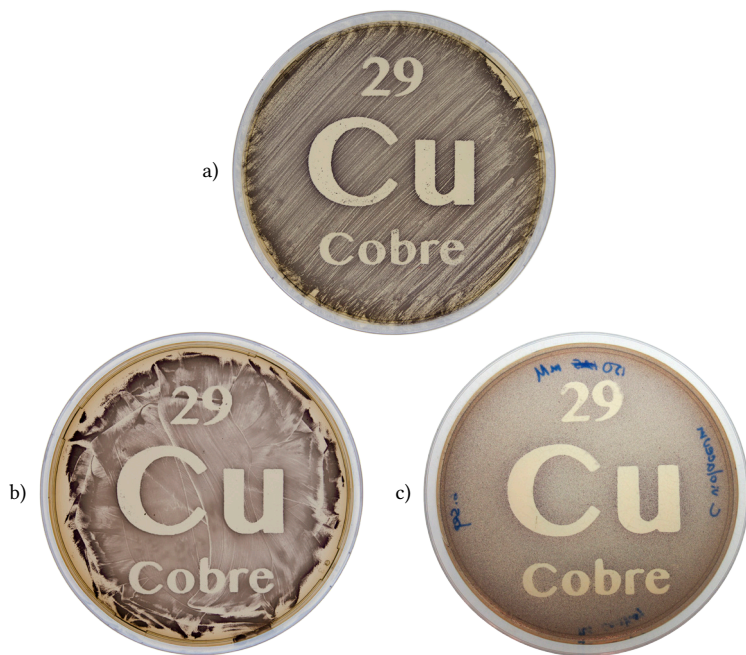
**Fig. 35.** Matriz de goma EVA grabada con láser CNC.  
71 x 53 x 10 mm.

Es necesario que la matriz sea elaborada con la misma goma EVA utilizada para determinar la concentración a utilizar, pues la porosidad del material puede variar según el fabricante, lo que influye en la cantidad de líquido que este puede absorber.

#### 4. Inoculación de césped microbiano

A partir de un cultivo líquido saturado se inocula un césped microbiano en una placa con medio de cultivo sólido. Para ello existen distintos métodos, con los cuales se consiguen diferentes resultados visuales: si se esparce cultivo líquido usando una tórula o un rastrillo, al crecer los microbios la huella que dejan tales instrumentos será visible (Figs. 36a y 36b); si se siembra vertiendo agar blando con los microorganismos incorporados en este, el césped será uniforme (Fig. 36c).

Conviene que las placas no estén recién preparadas, para que hayan perdido algo de humedad y así absorban más rápido el caldo, así como la solución antimicrobiana en el paso siguiente.

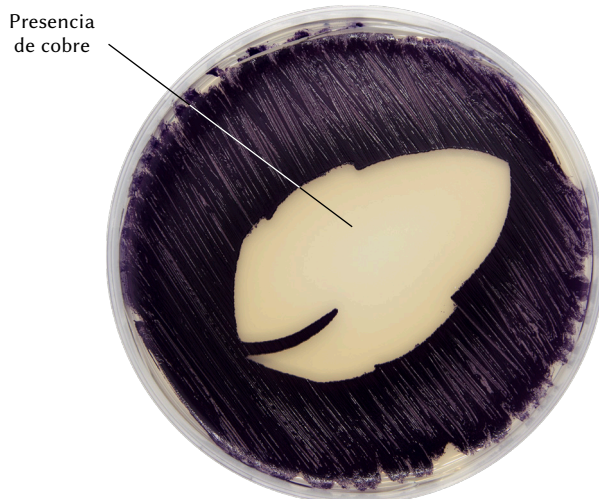


**Fig. 36.** Resultados usando distintos métodos de inoculación del césped microbiano: a) tórula, b) rastrillo, c) agar blando. *C. violaceum* en agar MacConkey, con inhibición por sulfato de cobre,  $\varnothing$  9 cm c/u. Placas fotografiadas con retroiluminación.

## 5. Aplicación de solución antimicrobiana e incubación

Usando un pincel, la solución de sulfato de cobre se aplica de manera uniforme sobre toda la superficie de la matriz que hará contacto con el agar, siguiendo el mismo procedimiento descrito para hacer la prueba de sensibilidad. En este paso se recomienda presionar la goma EVA contra el agar usando un rastrillo en lugar de las pinzas, salvo que la matriz sea muy pequeña. Además, si esta será reutilizada, es necesario lavarla nuevamente con etanol (para destruir los microorganismos vivos que hubieran sido recogidos del agar) y luego con agua. Cabe señalar que, en caso de usar una matriz grabada, la solución antimicrobiana debe aplicarse solamente a las zonas en sobrerrelieve.

Finalmente, la placa se deja incubando a una temperatura adecuada durante el tiempo que sea necesario, según la cepa utilizada. Una vez crecido el césped, la imagen será visible (Figs. 36 y 37).



**Fig. 37.** Microbiograma. *Chromobacterium violaceum* en agar LB con inhibición por sulfato de cobre.  $\varnothing$  9 cm.

## 6. Preservación del resultado

Dado que es imposible mantener estático un cultivo vivo de microorganismos en medio sólido, a continuación se proponen dos métodos que dan como resultado una obra material preservable.

El primer método consiste en deshidratar el medio de cultivo, usando un desecador. En el proceso, la placa debe permanecer tapada para evitar que se contamine con otros microorganismos. Si este método de preservación va a ser utilizado, conviene que la placa haya sido preparada con una capa delgada de agar para que el proceso sea más rápido, y también para evitar que el medio se fragmente, o que se encoja el área circular al reducirse el volumen.

Una vez terminado el proceso de deshidratación —que no debe ser absoluto, sino conservando una cantidad mínima de humedad para que el agar no se quiebre o se desprenda— la placa se sella vertiendo resina epóxica en su interior, de modo que cubra por completo el cultivo microbiano.



Fig. 38. Microbiograma deshidratado y sellado con resina. *C. violaceum* en agar LB con inhibición por sulfato de cobre,  $\varnothing$  10 cm.

Respecto a al método de conservación por desecación cabe señalar que, por cuanto no es posible la esterilización por calor, es especialmente importante trabajar con microorganismos no patógenos, e idealmente que no esporulen. Además, cabe mencionar que este método de preservación por desecación no es conveniente para aquellos microbios que se tornan casi transparentes al deshidratarse por completo.

El segundo método es una impresión microbiana en papel (Fig. 39), que requiere de la utilización de microbios productores de pigmentos y que perfectamente puede considerarse una técnica de grabado, donde la tinta es un pigmento de síntesis biológica. Para este procedimiento es necesario que la imagen en la placa esté espejeada, por lo cual la matriz no debe estarlo. La impresión se ejecuta colocando cuidadosamente un trozo de papel, que idealmente sea papel de algodón para grabado, sobre el cultivo que creció dentro de la placa. Luego se presiona el papel usando un rastrillo, cuidando que no queden sectores sin hacer contacto, y con la precaución de no romper el agar por exceso de presión. Luego, el papel se retira usando pinzas, y se deja secando sobre un trozo de toalla de papel, con la cara impresa hacia arriba.

Estando ya lista la impresión microbiana, esta se esteriliza. Para esto se envuelve en papel aluminio y se mantiene a 100 °C por una hora, usando un horno de calor seco. Por ello, es necesario que el pigmento producido por la cepa utilizada no se vea afectado por la exposición a tales condiciones de temperatura. Además, es necesario asegurarse de que la cepa utilizada efectivamente muere en esas condiciones, y que tampoco quedan esporas viables, debiendo ajustarse la temperatura y/o el tiempo si fuese necesario.

Debe considerarse que un césped sembrado con agar blando no es susceptible de ser impreso, pues los microorganismos no se encuentran libres en la superficie. Asimismo, al seleccionar el microorganismo y definir las condiciones de cultivo, debe considerarse que la formación de biopelículas favorece la adherencia de los microbios al papel, pero

también podría dificultar su traspaso desde el agar cuando se han adherido fuertemente a este último.



Fig. 39. Microbiograma impreso en papel de algodón.  
*C. violaceum* con inhibición por sulfato de cobre, ø 82 cm.

Como consideración final, al momento de seleccionar el microorganismo pigmentado, conviene tener en cuenta la estabilidad del pigmento producido, pues factores como la exposición a la luz, la acidez ambiental o la ya mencionada exposición a temperatura afectan en distinto grado a unos y otros. Fleming (1937/2007) daba cuenta de esto al describir el método que usaba para realizar sus *germ paintings*, indicando como ejemplo que las pinturas elaboradas con *Serratia marscecens* se degradaban fácilmente, sobre todo si quedaban expuestas a la luz solar, mientras que aquellas hechas con *Chromobacterium violaceum* no presentaban dicho problema. Por ello, se requieren distintas condiciones de exhibición y/o almacenamiento de la obra según la cepa que haya sido utilizada, en caso de que se la quiera preservar.

## Apropiarnos del cobre

En julio de 1971, el Congreso Nacional aprobó por unanimidad la reforma constitucional que nacionalizó la gran minería del cobre. Para celebrar el hito, la Oficina Larrea (integrada por Vicente Larrea, Antonio Larrea y Luis Albornoz) diseñó el afiche *Chile se pone pantalones largos*, que alude al paso a la adultez de un Estado que se hacía cargo por completo de la propiedad de sus recursos mineros en beneficio de la nación.

Para cerrar este capítulo ofrecemos una reproducción de aquel icónico afiche, elaborada usando la técnica del microbiograma (Fig. 40). El trabajo fue elaborado en dos capas, lo que implica hacer dos cultivos usando matrices distintas, para luego imprimirlos en un mismo papel, procurando calzar ambas capas, tal como se hace en otras técnicas de grabado.

Dado el tamaño de este trabajo, en lugar de placas de Petri se usaron bandejas plásticas de 30 x 40 cm, y en vez de mechero se usó una cámara de flujo laminar para trabajar en esterilidad. En tanto, las bandejas fueron esterilizadas con etanol y exposición a luz UV.

Una de las capas del grabado incluye la figura del niño, el texto y parte del cerro, mientras que la otra abarca toda el área de este último. Sin embargo, las capas se trabajaron de manera diferente: para sembrar la primera se usó un cultivo líquido saturado, tal como se describió en el protocolo; en cambio, para la segunda el cultivo se diluyó en agua estéril en una proporción de 1:100.000 ( $10^{-5}$ ), consiguiendo así que las bacterias crecieran en colonias aisladas, lo cual no solo da un resultado visual diferente, sino que evidencia el crecimiento propio de muchos microorganismos.



Fig. 40. André Barbet. Reproducción del afiche *Chile se pone pantalones largos* (1971), diseñado por Oficina Larrea (Vicente Larrea, Antonio Larrea y Luis Albornoz). Microbiograma impreso en papel de algodón, 32 x 23 cm. *Chromobacterium violaceum* con inhibición por sulfato de cobre. Obra derivada realizada con autorización.



Por otro lado, técnicamente más sencilla es la reproducción parcial de la portada del número 138 (marzo-abril de 1971) de la revista *Principios* (publicada por el Partido Comunista de Chile) que se muestra más abajo (Fig. 41). Dicha portada reclamaba la nacionalización del cobre con la frase “El cobre es de Chile”, mientras los mineros que aquí han sido reproducidos se abrían paso en la extracción del mineral.



Fig. 41. André Barbet. Reproducción parcial de la portada de la revista *Principios* N° 138 (1971), Partido Comunista de Chile. Microbiograma, 8,2 x 12,9 cm. *Klebsiella aerogenes* en medio cromogénico con inhibición por sulfato de cobre. Obra derivada realizada con autorización

Esta última imagen fue repetida para la portada de este libro, pero la nueva versión se contaminó accidentalmente con hongos, lo cual evidencia de modo muy ilustrativo el dinamismo vivo que caracteriza en general al bioarte, donde el material biológico siempre tiene la última palabra.

Con estos ejemplos queremos ilustrar algunas de las posibilidades que ofrece la técnica; pero por sobre todo queremos dar cuenta de

que las diversas formas y propiedades del cobre pueden utilizarse de múltiples maneras, excediendo sus usos tradicionales. En este sentido, la apropiación no tiene que ver únicamente con la estatización del recurso, sino también con lo que hagamos con él.

**Importante:** Ni los autores ni la institución que publica este libro serán responsables del mal uso que se pueda hacer de este protocolo, el cual debe ser ejecutado tomando las medidas de bioseguridad necesarias para el almacenamiento, manipulación y desecho de los microorganismos utilizados.

# **EL COBRE CHILENO: UNA HISTORIA DE CRECIMIENTO, CONFLICTOS SOCIALES Y OPORTUNIDADES DE DESARROLLO**

Giorgio Boccardo

Chile es un país minero cuya riqueza ha marcado el derrotero político, económico y social de toda nuestra historia. De hecho, la participación del Estado en la extracción de recursos minerales y el pago de regalías de los capitales multinacionales han formado parte de prácticamente todas las estrategias de desarrollo nacional, como un intento por abandonar ese estado endémico de nación “en vías de desarrollo”. Sin embargo, un obstáculo importante para esto ha sido no salir del extractivismo. Hoy nos encontramos ante una inminente nueva constitución para Chile, y con ello se abre una oportunidad histórica para virar hacia nuevas aplicaciones y formas de aprovechamiento de este emblemático recurso país, que idealmente promuevan un progreso con mayor equidad y respeto por el ambiente, y que saquen ventaja de los valiosos y valiosas técnicos/as, profesionales e investigadores/as formados y formadas en distintas disciplinas.

A lo largo de este capítulo se ofrece una mirada sobre la historia del cobre chileno, su institucionalidad y su relación con el desarrollo país desde los 1950s, discutiendo sobre su potencial como palanca para el desarrollo sustentable. Asimismo, se presenta al cobre antimicrobiano como un caso notable de innovación científica y tecnológica nacional con impacto directo en la sociedad.

## **Los orígenes de la centralidad minera en Chile**

Durante el siglo XIX, la producción de plata, guano y salitre fue central para el crecimiento económico, marcó la relación con Inglaterra

y permitió una diversificación de nuestra sociedad. En 1879, el país se embarcó en una guerra contra el Perú y Bolivia por el control del Pacífico y de la pampa salitrera, cuyo triunfo aseguró un acceso privilegiado de Chile a las principales rutas comerciales y la explotación de grandes yacimientos mineros. Sin embargo, el escaso control nacional sobre el salitre y los conflictos con el empresario inglés John North precipitaron la guerra civil de 1891, que finalizó con el derrocamiento del presidente José Manuel Balmaceda (1886-1891). De todas formas, la riqueza del nitrato permitió la expansión de ciudades, puertos y campamentos mineros, así como el desenvolvimiento de una prolífica escena artística y cultural.

A comienzos del siglo XX, la “cuestión social” desafió al poder oligárquico y las organizaciones obreras exigieron leyes sociales y mejoras en la distribución de la riqueza. Durante los “locos años veinte” se elaboró una nueva constitución (1925) y se promulgaron leyes que intentaron resolver las profundas desigualdades que dividían al país. Los primeros gobiernos de Arturo Alessandri (1920-1925) y Carlos Ibáñez del Campo (1927-1931) pensaron que la bonanza del salitre permitirían sentar las bases de una política de desarrollo nacional y, al mismo tiempo, descomprimir la presión popular que en otras latitudes había detonado revoluciones como la mexicana o la rusa. No obstante, la inestabilidad política del periodo, el desarrollo del salitre sintético y la Gran Depresión de 1929 significaron un desplome de nuestra principal fuente de recursos naturales. El ocaso del periodo del salitre dejó en evidencia la debilidad estructural de nuestra economía y su dependencia de potencias industriales como Inglaterra o los Estados Unidos (Pinto, 1970).

El ascenso del Frente Popular en 1938 reabrió las esperanzas de cambio social en el país. Durante los tres gobiernos radicales (1938-1952) se intentó alcanzar un compromiso entre empresarios, grupos medios y obreros para promover una industrialización sustitutiva de importaciones y lograr un mayor bienestar social (Faletto, 1976). Sin

embargo, el control mayoritario de capitales estadounidenses sobre la gran minería cuprífera —que pasó a ser la principal tras el fin del ciclo salitrero— generó complicaciones que iban desde el escaso aporte generado para las arcas fiscales y la exigua inversión tecnológica, hasta ser fuente de todo tipo de conflictos laborales (Vergara, 2008). Todo esto fue consolidando la necesidad de establecer un nuevo trato entre el Estado y las empresas estadounidenses, y un mayor control nacional sobre los recursos mineros, sin los cuales resultaba imposible planificar cualquier estrategia de desarrollo y responder a las exigencias de mayor justicia de los sectores populares.

### **El camino hacia la nacionalización**

A comienzos de la década del cincuenta, los temores de volver a despilfarrar la riqueza minera y las necesidades del Estado por elevar la inversión extranjera, la productividad y profundizar la industrialización sustitutiva de importaciones, llevaron a los presidentes Carlos Ibáñez (1952-1958) y Jorge Alessandri (1958-1964) a generar una nueva institucionalidad y promover sucesivas modernizaciones productivas mediante la colaboración entre el Estado y las empresas estadounidenses (Fermendois et al., 2009).

En una primera etapa se crea el Ministerio de Minería y la Corporación Nacional del Cobre de Chile (Codelco); mediante el apoyo de la Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), se introducen nuevas tecnologías, se automatizan procesos productivos y se establece un mayor control sobre la fuerza de trabajo; posteriormente, se establece una incipiente externalización de funciones a cargo de empresas contratistas; y, finalmente, se traspasan costos laborales y planes de bienestar al Estado (Vergara, 2004). Se trató de un pacto que comprometía a las empresas estadounidenses a una mayor inversión en el país a cambio de que el Estado asumiera parte de los costos de la mano de obra. Sin embargo, estas transformaciones generaron conflictos

laborales que obligaron al Estado a negociar con la Confederación de Trabajadores del Cobre. Efectivamente, en 1956 se promulga el Estatuto de los Trabajadores del Cobre, que los dotó de una legislación laboral que aseguraba salarios por sobre la inflación, condiciones de trabajo y acceso a un bienestar que estaban vedados para el resto de la fuerza de trabajo (Barrera, 1978). De todas formas, los paros y huelgas no se detuvieron, ya fuera por el incumplimiento de los acuerdos o porque la mecanización amenazaba con debilitar la autonomía que tenían los mineros para ejercer su oficio.

Durante el gobierno de Frei Montalva (1964-1970), las mejoras en productividad resultaron insuficientes para profundizar la industrialización sustitutiva y responder a las nuevas demandas sociales de campesinos y pobladores, al tiempo que los campamentos mineros y la industria sustitutiva se habían tornado en un verdadero polvorín social. Por estas razones, va tomando fuerza la necesidad de “chilenizar” la producción cuprífera.

Varios son los factores que influyen en esta determinación: por un lado, la resistencia a la mecanización en las faenas mineras, el despido y la mayor incertidumbre laboral, y el aumento de contratistas que prestaban servicios en tareas de construcción y mantenimiento con peores condiciones de trabajo (Zapata, 1986); por otro, el deterioro de las relaciones entre las empresas estadounidenses y el Estado, así como la negativa imagen pública de éstas en una época de creciente nacionalismo (Vergara, 2004). Se trató de una política que intentó retomar control sobre la fuerza de trabajo minera y elevar la productividad, pero este acuerdo no satisfizo ni a trabajadores ni a empresarios chilenos, al punto que el rechazo a las “modernizaciones” desató huelgas en las minas de El Teniente y El Salvador en 1966. De todas maneras, “la chilenización del cobre” en 1966 implicó el control del 51% de las acciones de la mina de El Salvador y El Teniente a manos del Estado y un 49% a manos de las compañías estadounidenses (Barrera, 1978).

De todas formas, la nacionalización de Frei Montalva resultó insuficiente para alcanzar los objetivos de desarrollo y al mismo tiempo profundizar las reformas sociales, por lo que durante el gobierno de Salvador Allende (1970-1973) se avanzó en la nacionalización del cobre. Efectivamente, el 11 de julio de 1971 el Congreso aprobó por unanimidad la nacionalización del metal rojo, que pasó en forma íntegra a manos del Estado chileno. En definitiva, se trató de un esfuerzo por avanzar en una estrategia de desarrollo que rompiera nuestra dependencia de los recursos naturales y las potencias industriales, transfiriendo recursos desde el sector primario exportador a la industria sustitutiva, pero que también redujera las profundas desigualdades que atravesaba el Chile nacional popular: un derrotero que el 11 de septiembre de 1973 fue abruptamente aplastado por la bota de los militares.

### **La privatización del cobre**

Durante la dictadura militar (1973-1990), el carácter estratégico del cobre para asegurar el financiamiento de las Fuerzas Armadas, la acción de civiles nacionalistas, el papel desempeñado por la clase obrera minera y el apoyo popular que había alcanzado la nacionalización impidieron la privatización de Codelco, que continuó siendo el organismo rector de la gran minería del cobre. Sin embargo, uno de los principales legados de la dictadura en materia minera fue haber negociado una significativa indemnización con las empresas estadounidenses expropiadas, la creación de la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco) y haber construido el andamiaje institucional de la minería vigente hasta el día de hoy.

El decreto 600 de inversión extranjera entregó igualdad de oportunidades a las inversiones, fueran nacionales o extranjeras, lo que permitió el retorno paulatino de capitales multinacionales a la explotación de minerales (Fernandois et al., 2009). De todas formas, la crisis económica de 1982-1983, el desprestigio internacional que

enfrentaba la dictadura de Pinochet y una presión de los capitales multinacionales por obtener mejores condiciones para extraer minerales significaron que no se produjera un desembarco masivo de inversiones. La Ley Orgánica Constitucional de Concesiones Mineras de 1982 aseguró la extensión en el tiempo de los derechos de explotación de una empresa más allá de la voluntad de un gobierno o de la propia ciudadanía. En tanto, el Código de Minería de 1983 estableció la propiedad del Estado sobre todas las tierras y yacimientos, y definió los mecanismos para su concesión y explotación a manos de privados.

La crisis social y el desempleo masivo durante la crisis de los años ochenta generaron un ascenso importante de las protestas y huelgas, cuyas primeras convocatorias fueron realizadas por los trabajadores del cobre (Ponce, 2017). Originalmente motivada por la falta de inversión y reducción de presupuestos en las mineras estatales, la convocatoria sumó a amplios sectores de la sociedad y se constituyó en el primer desafío abierto a la dictadura militar. El bajo precio del cobre a nivel internacional, la negativa de los grupos neoliberales en el gobierno a la fijación de precios y una crítica soterrada de la oposición a la excesiva desnacionalización del cobre que la nueva legislación podría generar hicieron tambalear la política minera de la dictadura (Tomic, 1986; Valdivia, 2003). No obstante, la recuperación de la economía internacional y del precio del cobre a comienzos de 1987 terminan por consolidar la legislación minera, aunque a diferencia de otros sectores productivos el Estado se reservó una parte de los activos cupríferos.

En 1988, Codelco todavía producía cerca del 90% del cobre chileno; no obstante, el retorno de la democracia no implicó una mayor participación del Estado en la gran minería. Por el contrario, desde 1990 se produjo un desembarco de inversionistas extranjeros y el gobierno de Patricio Aylwin (1990-1994) prefirió no alimentar desconfianzas que un giro abrupto en la política económica podrían generar, y aceptó una legislación que alentaba la expansión del capital privado en la gran minería (Fazio, 2000). Efectivamente, en el periodo 1990-2000 el



PIB minero creció en un 7,8% anual y en 2000-2010 se elevó un 8,8% (Banco Central, 2011), pero con el distintivo de que los conglomerados extranjeros alcanzaron una participación que superó el volumen de producción y de exportación de la estatal Codelco (Moguillansky, 2001).

Pese a que en la década del noventa la dependencia de Chile a las exportaciones del cobre fue decayendo hasta alcanzar el 48% de las exportaciones nacionales en 1997 (Arellano, 2012), la política de concesiones fue delegando en actores privados nacionales o extranjeros las principales definiciones sobre la expansión y desarrollo de la gran minería chilena. Crecientemente, el papel del Estado fue decreciendo y su centralidad radicó en establecer condiciones atractivas a la inversión, establecer mayores regulaciones o la obtención de regalías para sostener un mayor gasto público.

Durante la primera década del siglo XXI existieron algunos intentos por revertir esta situación. El gobierno de Ricardo Lagos (2000-2006) llevó adelante iniciativas dirigidas a desarrollar un “clúster minero”. Entre las políticas impulsadas en este periodo destacan el financiamiento de Corfo a proyectos de innovación minera y un esfuerzo desde el Ministerio de Minería para promover la diversificación productiva (Arellano, 2012). En materia de recaudación fiscal, se propuso un royalty como palanca para complejizar la matriz productiva y fomentar la industria asociada a la minería. Sin embargo, el manejo presupuestario con la “regla de superávit estructural”, que fija el gasto público en un 1% por debajo del ingreso fiscal estimado, bloqueó desde el propio gobierno el uso de excedentes para enfrentar el escaso valor agregado de las exportaciones, el deterioro de las PYME o la distribución regresiva de los ingresos (Ruiz y Boccardo, 2014).

En 2005, tras un primer proyecto rechazado por los grandes empresarios, se aprobó un royalty que gravó en 4% las utilidades, a cambio de una invariabilidad tributaria de 15 años para las concesiones mineras. El alza del precio del cobre aumentó el flujo de divisas y

apreció el peso chileno, afectando a los demás grupos exportadores (Fazio y Parada, 2010). En materia fiscal, pese a un alza inédita del valor del metal rojo, se conservó una política restrictiva. En 2006, la Ley de Responsabilidad Fiscal fijó el superávit estructural y creó un Fondo de Estabilización Económica y Social con los ingresos extraordinarios, que fueron invertidos en activos financieros en el extranjero (Velasco et al., 2010). Durante la primera década del siglo XXI, Chile se transforma en acreedor neto producto de la mayor entrada de divisas y la estricta política fiscal; en tanto, la bonanza del cobre, producto del largo ciclo de crecimiento chino, clausuró todo tipo de debates sobre estrategias de desarrollo en el largo plazo.

La contracara de este crecimiento minero es la transformación de las relaciones laborales en la gran minería. En 2007, los trabajadores de las empresas contratistas se movilizaron por la falta de contratos y de seguridad social (Ruiz, 2008). En efecto, a diferencia de los mineros de planta que registran condiciones de trabajo, salarios y de organización sindical muy por encima del resto de la fuerza laboral, la fuerza de trabajo subcontratados experimenta la desprotección laboral, menores salarios y rotación laboral, además de dificultades para negociar con pequeñas empresas subordinadas a la gran minería privada o estatal (Leiva Gómez, 2009). Pese a estas dificultades, se organizaron en una confederación que reunió cerca de 80 mil trabajadores de mineras estatales y privadas, e intentan negociar directamente con el gobierno o las grandes mineras privadas. Esto no solo significó una reactivación de las huelgas en la minería, sino la irrupción de un nuevo actor sindical propio de las condiciones de trabajo organizadas por el Código Laboral de 1979 (Boccardo y Goyenechea, 2014). A la cabeza de este proceso estuvo la Coordinadora Nacional de Trabajadores Contratistas del Cobre, que agrupa a unos 28 mil trabajadores, entre operarios tanto de las faenas de Codelco como de otras dependientes de la gran minería

privada. El acuerdo entre estos trabajadores y la estatal arrojó mejoras salariales como mayor seguridad social, y la expansión de este tipo de protestas a otros sectores productivos como forestales y salmoneras, encendiendo las alarmas en el mundo empresarial (Ruiz y Boccardo, 2014).

De todas formas, Chile continuó resultando atractivo para los capitales multinacionales. A modo de ejemplo, en 2012 la minería seguía siendo el principal destino de la inversión extranjera directa, representando un 49% del total; en tanto, para el quinquenio 2012-2016, el 55,8% de la inversión minera provenía de empresas extranjeras (CEPAL, 2012), estadísticas que permiten apreciar la centralidad del sector minero, principalmente cuprífero, en la economía nacional y su dependencia de la demanda de potencias como los Estados Unidos y China. Efectivamente, para el periodo 1980-2010 la minería representaba un 7,9% del PIB promedio anual, y pese a que su peso en las exportaciones ha disminuido, para el periodo 1990-2010 representó un 42% promedio anual y el aporte de Codelco a los ingresos tributarios significó un 13% anual (Arellano, 2012).

En los últimos años, la introducción de nuevas tecnologías y una mayor desconcentración productiva han significado importantes cambios en materia laboral: una mayor flexibilidad laboral, menores protecciones en la modalidad de subcontrato y un proceso intensivo de automatización en los procesos de extracción y procesamiento de material, que han ido reduciendo paulatinamente la fuerza de trabajo en el mineral (Berríos, 2020). Son innovaciones productivas que buscan reducir costos laborales y minar el poder de los sindicatos, pero que no necesariamente han ido acompañadas de mayor valor agregado en la industria minera.

Las principales limitaciones que ha experimentado la expansión de la gran minería se relacionan con el mayor peso que hoy tienen las

organizaciones socioambientales y las comunidades territoriales, que han forzado a legislaciones más exigentes y a parámetros de explotación menos destructivos con el medio ambiente. De todas formas, la lógica intensiva en extracción de minerales con bajo valor agregado sigue siendo la tónica, lo que reafirma que los problemas asociados a la extracción de recursos naturales siguen vigentes.

### **¿La minería como palanca para el desarrollo?**

Desde el retorno a la democracia en 1990, la minería chilena ha estado presente en los discursos de todos los gobiernos; sin embargo, por diversas razones, ese sueño de alcanzar una modernidad esquivada se ha esfumado permanentemente. Ya sea por la ausencia de una estrategia de desarrollo nacional a largo plazo, el interés particular de grupos empresariales o el poder de una potencia extranjera sobre nuestra economía, pareciera que la historia se repite: una fuente casi inagotable de recursos minerales, millonarias ganancias empresariales en el corto plazo, una “fiebre minera” que moviliza a miles de trabajadores y trabajadoras a campamentos, y un *boom* económico que rápidamente se esfuma.

Pese a las diversas estrategias gubernamentales, sobre todo vinculadas a la posibilidad de crear “clústers mineros” o aumentar el valor del *royalty* pagado por la gran minería, seguimos exportando mineral con bajo valor agregado, utilizamos métodos de extracción agresivos para el medio ambiente y las comunidades que viven cerca de los yacimientos, y existe un escaso desarrollo de la industria “paraminera” vinculada a manufactura, servicios o métodos de extracción de mineral que incorporen valor a las exportaciones.

El elevado precio del cobre durante la primera década del siglo XXI y el arribo de inversión extranjera directa en mega proyectos mineros postergaron permanentemente discusiones de envergadura nacional para promover una política minera vinculada con una estrategia de desarrollo nacional en el largo plazo. En ese sentido, pese a iniciativas

recientes como el programa Alta Ley, que busca articular una nueva alianza entre actores públicos y privados, no se ha construido una visión de Estado, ni coordinaciones y/o alianzas efectivas entre los diversos actores involucrados.

La desaceleración de la economía chilena, la menor calidad del mineral extraído y la crisis económica producto de la reciente pandemia han puesto en evidencia que el “sueldo de Chile” o “la viga maestra” se encuentra una vez más en riesgo. No obstante, el problema no se circunscribe a la calidad de los recursos minerales, sino más bien al uso de tecnologías y la promoción de procesos de innovación asociados (Arellano, 2012). Efectivamente, existen diversas experiencias exitosas en el desarrollo de actividades paramineras que lograron convertir la abundancia de recursos minerales en una vigorosa industria de bienes y servicios. Por ejemplo, en países como los Estados Unidos y Canadá se han desarrollado complejos industriales de producción de equipos mineros; en tanto, Australia tiene un programa que incentiva la industria del software y nuevas tecnologías para la industria minera, lo que se ha traducido en que en 2002 más del 60% de las operaciones mineras a nivel global utilizaban software de origen australiano (Australian Government, 2005). Son todas actividades económicas que dependen menos de los ciclos económicos primario-exportadores, requieren de una mano de obra altamente calificada, permiten una diversificación productiva posible de encadenar con otros sectores económicos y posibilitan una relación más amigable con el medio ambiente.

A diferencia de otras posibilidades que requieren de una base industrial más compleja en términos de infraestructura y escala, las posibilidades de Chile para desarrollar una industria intensiva en servicios altamente calificados podrían aprovechar las capacidades instaladas y reorientar a una proporción considerable de la población que accede a la educación superior pero que luego se inserta en el mercado de trabajo en puestos que no se corresponden con su título profesional. No obstante, el déficit de profesionales y técnicos en

carreras tecnológicas o mineras dificulta proyectar un salto productivo (Fundación Chile, 2011), sobre todo porque un esfuerzo como este requeriría del fortalecimiento de la educación técnico-profesional y de un sistema nacional de educación superior que coordine las necesidades en formación con un énfasis en el desarrollo regional.

Toda estrategia de desarrollo anclada en los recursos naturales debe considerar la sustentabilidad del país en el largo plazo, y una relación más horizontal entre el Estado y las comunidades locales. En ese sentido, urge la obligatoriedad de tecnologías más eficientes en el uso de agua y energía, así como una política de recuperación de residuos y emisiones, que vinculadas con la formación técnico-profesional podrían dar lugar a un complejo industrial sustentado en el desarrollo de tecnologías renovables. En particular, la biotecnología puede jugar un papel crucial en la extracción de metales mediante procesos de biolixiviación que, a diferencia de las técnicas de lixiviación que utilizan compuestos químicos y demandan mayor energía, descansan en el uso de microorganismos vivos.

### **Desarrollo científico-tecnológico ligado al cobre en Chile**

Pese a que en su mayoría se trata de iniciativas puntuales impulsadas principalmente por privados y no políticas a nivel país enmarcadas en un plan de mayor envergadura, Chile ha desarrollado innovaciones destacables en la extracción y aplicaciones del metal rojo.

En cuanto a la innovación en los procesos de extracción, nuevamente los microbios cobran protagonismo. En este sentido, nuestro país ha sido uno de los pioneros a nivel mundial en la biolixiviación, un proceso biotecnológico basado en el uso de microorganismos especializados, los cuales se adhieren al mineral formando películas que actúan sobre su superficie, disolviendo los metales presentes. Este proceso ha permitido la recuperación de elementos valiosos como cobalto, níquel, zinc, uranio y cobre (Watling, 2015), llegando a constituir

cerca del 10% de la producción mundial del metal rojo (Gentina y Acevedo, 2016). A pesar de que en general es más lenta y tiene un menor rendimiento que los procesos de extracción convencionales (hidrometalurgia y pirometalurgia), la biolixiviación involucra mucho menores requerimientos energéticos, hídricos, y de productos químicos, además de generar un impacto ambiental significativamente menor (Johnson, 2014). Además, permite el procesamiento de minerales que contienen una composición polimetálica compleja y/o una baja ley, sin la necesidad de pretratamientos energéticamente costosos.

Durante la década de 1990 se instalaron las primeras operaciones de biolixiviación a gran escala en diferentes minas de Chile (Gentina y Acevedo, 2016). La mina Lince-Michilla inició su operación de lixiviación en pilas (acopios verticales de roca) en 1991, con una producción total de 22.000 toneladas/año. En 1994 se le unieron dos minas que operan completamente mediante biolixiviación: Quebrada Blanca y Cerro Colorado. Otras operaciones tempranas de biolixiviación en pilas y vertederos de cobre en Chile fueron Andacollo, Ivan-Zar y Los Bronces. Durante 2002, en una iniciativa conjunta entre Codelco y Nippon Mining & Metals (Nippon M&M), se crea BioSigma, una empresa dedicada a la aplicación de la biotecnología en el procesamiento de minerales de sulfuro de cobre de baja ley. Entre sus logros se encuentran el aislamiento y caracterización de más de 70 nuevas cepas de microorganismos útiles en biolixiviación, así como también la participación en estudios sobre la fisiología fundamental de dichos microorganismos y los aspectos moleculares y genéticos involucrados en este proceso. Uno de los sitios mineros más estudiados en Chile a nivel microbiano es la mina Escondida, ubicada en la Región de Antofagasta, siendo la mina productora de cobre más grande del mundo. El éxito de estas iniciativas hacen probable que en un futuro cercano estas operaciones se extiendan desde la explotación de minerales secundarios (polimetálicos o de baja ley) hasta minerales primarios, de los cuales Chile tiene vastas reservas.

En el plano de las nuevas aplicaciones, Chile ha sido uno de los grandes impulsores del uso de cobre como antimicrobiano, con un enfoque sanitario. Durante el 2008, en una iniciativa impulsada por la International Copper Association, InnovaChile de Corfo, la Fundación UNTEC de la Universidad de Chile y Codelco, el Hospital del Cobre Dr. Salvador Allende de Calama fue uno de los ocho centros de salud del mundo que formó parte de un estudio para evaluar la efectividad del cobre en la disminución de infecciones intrahospitalarias. En esta experiencia, la mitad de las salas de la Unidad de Cuidados Intensivos (UCI) del hospital fueron acondicionadas con aplicaciones de cobre antimicrobiano en barandas y manillas de las camas, en cubiertas de las mesas de los pacientes, en los portasueros y en los antebrazos de las sillas de visitas, además de otras superficies de alto contacto. Los resultados fueron calificados como muy positivos, reportándose hasta un 94% de efectividad en la reducción de la carga bacteriana (Prado et al., 2010).

Por otra parte, durante 2013 Codelco y los Ministerios de Salud y de Minería inauguraron 70 módulos intervenidos con cobre antimicrobiano en unidades críticas del Hospital de Urgencia de Asistencia Pública (ex Posta Central de Santiago), convirtiéndose en la intervención de cobre antimicrobiano en salud pública de mayor envergadura a nivel mundial. En un primer momento, se intervino la unidad de quemados por ser el área de mayor riesgo de infecciones intrahospitalarias. Esta experiencia piloto sirvió para ajustar las concentraciones de cobre y establecer el valor óptimo a usar en el resto de las intervenciones hospitalarias a futuro, y su implementación permitió la disminución de las infecciones en un 15% (Codelco, 2013a). En otra iniciativa, desde marzo de 2012 la Unidad de Pacientes Críticos (UPC) del Hospital de Niños Dr. Roberto del Río cuenta con una sala con intervención de cobre antimicrobiano en superficies e instrumentos (Codelco, 2013b). Además, se inició un estudio microbiológico en conjunto con el Instituto de Ciencias Biomédicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, que



demonstró la efectividad de esta intervención tanto en la reducción de la carga bacteriana (Schmidt et al., 2015) como en la disminución de infecciones intrahospitalarias (von Dessauer et al., 2016). Al día de hoy, son varios los recintos hospitalarios chilenos en que se han replicado estas iniciativas, en línea con el anhelo institucional manifestado por el Directorio de Codelco de dotar de cobre antimicrobiano una UPC en un hospital complejo en cada región del país (Codelco, 2012).

El cobre antimicrobiano ha sido aprovechado también fuera de los centros hospitalarios. En marzo de 2011 se instalaron 350 metros de pasamanos de cobre antimicrobiano en la estación Santiago Bueras de la Línea 5 del Metro de Santiago, convirtiéndola en la primera estación que utiliza cobre antimicrobiano certificado (Codelco, 2011). El proyecto, que beneficia a cerca de 6.500 pasajeros al día, fue financiado con aportes de Metro y Codelco, y en su inauguración se firmó un acuerdo para implementar más de 10.000 metros de pasamanos de aleaciones de cobre antimicrobiano en las nuevas líneas 3 y 6 (Portal Minero, 2011). Asimismo, en una iniciativa en alianza entre Codelco y la empresa francesa Alstom, durante 2013 se realizó una intervención con cobre antimicrobiano en los pasamanos y manillas de un tren completo del Metro de Valparaíso, con una capacidad total de 800 pasajeros (Codelco, 2013c).

Otros desarrollos nacionales en base al cobre antimicrobiano incluyen la aplicación de fibras de cobre en tejidos (principalmente calcetines), concretada por primera vez en el 2011 gracias a la asociación entre Codelco, Copper Andino y Monarch. Adicionalmente, se fabricó ropa con esta fibra para pacientes con epidermólisis bullosa (también conocida como piel de cristal), además del lanzamiento de un estudio para evaluar el impacto de prendas con cobre antimicrobiano en el manejo de las lesiones de niños/as y jóvenes con esta enfermedad (Codelco, 2013d). Posteriormente, se han desarrollado nuevas aplicaciones de cobre en placas de melamina y en revestimientos en espacios públicos de alto tránsito, además de aplicaciones y productos nanotecnológicos

de este elemento, incluyendo jabones, aerosoles desinfectantes y otras formulaciones.

Uno de los principales obstáculos para la implementación masiva de cobre antimicrobiano es el alto costo del reemplazo de las superficies existentes por láminas de este metal. En este sentido, la *startup* chilena Atacama Lab ha desarrollado un nuevo material llamado Copper Armour, el cual corresponde a un polímero que contiene cobre metálico, que se aplica en estado líquido y tras su secado permite el recubrimiento de superficies para darles propiedades antimicrobianas. El uso de este material sería una alternativa más barata que la placa de cobre común y, a diferencia de esta última, no desarrolla coloración verde producto de la oxidación. La efectividad de este material fue probada satisfactoriamente en experiencias piloto en la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital Clínico de la Universidad de Chile (Montero et al., 2019).

La pandemia de COVID-19 ha puesto de manifiesto el alto impacto que pueden tener las enfermedades infecciosas a escala global, la importancia de la vigilancia y control de patógenos en el ambiente urbano e intrahospitalario, y la relevancia de las medidas de contención y sanitización. Esta crisis sanitaria constituye un desafío y a la vez una oportunidad para el desarrollo de soluciones tecnológicas que permitan mitigar la propagación de SARS-CoV-2 y otros patógenos. Chile cuenta con especialistas de primer nivel y un altísimo desarrollo en áreas relacionadas con ciencias biológicas y ciencias de los materiales, además de experiencias pioneras en el uso de cobre antimicrobiano, y una marca país como uno de los principales productores mundiales del metal.

### **El cobre chileno: más allá del control estatal**

El problema de la participación estatal no puede reducirse ni a ser regulador o facilitador de la iniciativa privada, o un mero recaudador

de impuestos mineros para financiar programas sociales. Como ha señalado la economista Mariana Mazzucato (2013), la iniciativa estatal en materia de innovación ha sido fundamental para que diversos países en su historia den saltos productivos. En ese sentido, a través de Codelco y una red de universidades públicas se podrían desarrollar procesos de innovación tecnológico-productiva que dieran lugar a una vigorosa industria de bienes y servicios asociados a la minería, de cuyos beneficios se favoreciera el conjunto de la sociedad. Sin embargo, eso requeriría quebrar ciertos dogmas económicos y repensar el papel del propio Estado más allá de la función subsidiaria que la Constitución le otorga.

El debate constitucional que se avecina tiene que ser visto entonces como una gran oportunidad para enfrentar algunos de estos desafíos. Por un lado, deben desatarse los nudos que limitan la soberanía nacional y ciudadana sobre los recursos naturales. Pero también se debe avanzar en una forma de acción estatal cualitativamente distinta a la empleada en los últimos 40 años: además de recuperar propiedad sobre los recursos naturales, se debe repensar el papel del sector privado nacional y extranjero en la industria minera, pero también se debe avanzar en una explotación mucho más amigable con el medio ambiente y promover la diversificación de la industria paraminera; y, asimismo, fomentar la investigación científica y el desarrollo tecnológico, en función de aprovechar las múltiples propiedades tanto del cobre como de otros minerales que se extraen en Chile. Por ende, todo debate constitucional no puede reducirse a un problema de elevar el royalty o de una mayor participación del Estado como productor minero. La cuestión es cómo producir una estrategia de desarrollo nacional que nos permita alcanzar una soberanía productiva y sustentable que beneficie a las actuales y futuras generaciones.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackroyd, H. y Harvey, D. (2007). Chlorophyll Apparitions. En E. Kac (Ed.), *Signs of Life. Bio Art and Beyond* (pp. 199-210). The MIT Press.
- Arellano, J. P. (2012). El cobre como palanca de desarrollo para Chile. *Estudios Públicos*, (127), 123-159. <https://doi.org/10.38178/cep.vi127.303>
- Australian Government. (2005). *Knowledge Intensive Service Activities in the Mining Technology Services Industry in Australia*.
- Banco Central de Chile. (2011). *Cuentas Nacionales de Chile 2003-2010*.
- Barnett, V. E. (1985). Kandinsky and Science: The Introduction of Biological Images in the Paris Period. En The Solomon R. Guggenheim Foundation, *Kandinsky in Paris. 1934-1944* [Catálogo de exposición, Solomon R. Guggenheim Museum] (pp. 61-87).
- Barrera, M. (1978). El conflicto obrero en el enclave cuprífero. *Revista Mexicana de Sociología*, 40(2), 609-682. <https://doi.org/10.2307/3539727>
- Bates, T. (2015). *The Unsettling Eros of Contact Zones and Other Stories* [Catálogo de exposición, Gallery Central]. <https://tarshbates.com/portfolio/the-unsettling-eros-of-contact-zones-and-other-stories-2015/>
- Bäumel, S. (2009). *(In)visible* [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=xaxjHSqVZmI>
- Berrios, C. (2020). *El control y la resistencia bajo las nuevas tecnologías de producción: Las transformaciones en el proceso del trabajo y las calificaciones en la mina El Teniente – Codelco* [Memoria de título, Universidad de Chile].
- Boccardo, G. y Goyenechea, M. (2014). Fundamentos del trabajo en el Chile neoliberal y la agenda laboral de Bachelet. *Cuadernos de Coyuntura*, (6), 15-26.
- Bureaud, A. (2002). Art biologique : Quelle esthétique ? *Artpress*, (276), 38.
- Cappuccino, J. G. y Welsh, C. (2019). *Microbiology. A Laboratory Manual* (12ª ed.). Pearson.

- Catts, O. y Zurr, I. (2002). Growing Semi-Living Sculptures: The Tissue Culture & Art Project. *Leonardo*, 35(4), 365-370. <https://doi.org/10.1162/002409402760181123>
- \_\_\_\_\_. (2006). The Tissue Culture and Art Project: The Semi-Living as Agents of Irony. En S. Broadhurst y J. Machon (Eds.), *Performance and Technology. Practices of Virtual Embodiment and Interactivity* (pp. 153-168). Palgrave Macmillan. [https://doi.org/10.1057/9780230288157\\_12](https://doi.org/10.1057/9780230288157_12)
- CEPAL. (2012). *La Inversión Extranjera Directa en América Latina y el Caribe 2011*.
- Chung, K.-T. (2016). Azo dyes and human health: A review. *Journal of Environmental Science and Health, Part C*, 34(4), 233-261. <https://doi.org/10.1080/10590501.2016.1236602>
- Codelco. (2011). *Nuevas líneas de Metro utilizarán cobre bactericida*. [https://www.codelco.com/nuevas-lineas-de-metro-utilizaran-cobre-bactericida/prontus\\_codelco/2011-06-05/201114.html](https://www.codelco.com/nuevas-lineas-de-metro-utilizaran-cobre-bactericida/prontus_codelco/2011-06-05/201114.html)
- \_\_\_\_\_. (2012, marzo 13). *Inauguran sala con cobre bactericida en la Unidad de Pacientes Críticos del Roberto del Río*. [https://www.codelco.com/inauguran-sala-con-cobre-bactericida-en-la-unidad-de-pacientes-criticos/prontus\\_codelco/2012-03-13/142113.html](https://www.codelco.com/inauguran-sala-con-cobre-bactericida-en-la-unidad-de-pacientes-criticos/prontus_codelco/2012-03-13/142113.html)
- \_\_\_\_\_. (2013a). *Ex Posta Central de Santiago cuenta con la mayor intervención de cobre antimicrobiano del mundo*. [https://www.codelco.com/ex-posta-central-de-santiago-cuenta-con-la-mayor-intervencion-de-cobre-antimicrobiano-del-mundo/prontus\\_codelco/2013-10-28/142231.html](https://www.codelco.com/ex-posta-central-de-santiago-cuenta-con-la-mayor-intervencion-de-cobre-antimicrobiano-del-mundo/prontus_codelco/2013-10-28/142231.html)
- \_\_\_\_\_. (2013b, febrero 22). *Inauguran salas con cobre antimicrobiano en Hospital Roberto del Río*. [https://www.codelco.com/inauguran-salas-con-cobre-antimicrobiano-en-hospital-roberto-del-rio/prontus\\_codelco/2013-02-22/143626.html](https://www.codelco.com/inauguran-salas-con-cobre-antimicrobiano-en-hospital-roberto-del-rio/prontus_codelco/2013-02-22/143626.html)
- \_\_\_\_\_. (2013c). *El primer tren con cobre antimicrobiano del mundo*. [https://www.codelco.com/el-primer-tren-con-cobre-antimicrobiano-del-mundo/prontus\\_codelco/2013-10-28/141959.html](https://www.codelco.com/el-primer-tren-con-cobre-antimicrobiano-del-mundo/prontus_codelco/2013-10-28/141959.html)
- \_\_\_\_\_. (2013d). *Acuerdo Copper Andino, Monarch y Codelco: Ropa con cobre antimicrobiano para niños Piel de Cristal*. [https://www.codelco.com/acuerdo-copper-andino-monarch-y-codelco/prontus\\_codelco/2013-10-28/130008.html](https://www.codelco.com/acuerdo-copper-andino-monarch-y-codelco/prontus_codelco/2013-10-28/130008.html)

- Copel, L. (2000, octubre 18). It's Not Easy Being Green. *The Washington Post*. <https://www.washingtonpost.com/archive/lifestyle/2000/10/18/its-not-easy-being-green/0dccc7d8-2bbf-4e00-9869-05cc2544aa38>
- D'haeseleer, P. (2013). DIY BioPrinter. *Instructables*. <https://www.instructables.com/id/DIY-BioPrinter/>
- Dahmer, A. (2019). Pagans, Nazis, Gaels, and the Algiz Rune: Addressing Questions of Historical Inaccuracy, Cultural Appropriation, and the Arguable Use of Hate Symbols at the Festivals of Edinburgh's Beltane Fire Society. *Temenos*, 55(1), 137-155. <https://doi.org/10.33356/temenos.83429>
- Davis, J. (1996). Microvenus. *Art Journal*, 55(1), 70-74. <https://doi.org/10.1080/00043249.1996.10791743>
- Davis, J., Boyd, D., O'Reilly, H. y Wieczorek, M. (2006). Art and Genetics. *eLS*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0005868>
- de Menezes, M. (2008). Retrato Proteico. En M. de Menezes, *Retrato Proteico* [Catálogo de exposición, Museo Extremeño e Iberoamericano de Arte Contemporáneo] (Inês Moreira, Comis.; pp. 11-15).
- \_\_\_\_\_. (s.f.), Decon: desconstrução, descontaminação, decomposição. *Nada*. <http://www.nada.com.pt/?p=artigos&a=va&ida=8&l=pt> (Reimpreso de "Decon: desconstrução, descontaminação, decomposição", 2007, *Nada*, 9, 98-109)
- Etkin, J. (2010, mayo 30). Microbial Art Uses E. coli and Viruses to Make Art. *The Daily Beast*. <https://www.thedailybeast.com/microbial-art-uses-e-coli-and-viruses-to-make-art>
- Eun, Y.-J. y Weibel, D. B. (2009). Fabrication of Microbial Biofilm Arrays by Geometric Control of Cell Adhesion. *Langmuir*, 25(8), 4643-4654. <https://doi.org/10.1021/la803985a>
- Faletto, E. (1976). *El problema de la dependencia y lo nacional-popular*. FLACSO-Chile.
- Fazio, H. (2000). *La transnacionalización de la economía chilena: Mapa de la Extrema Riqueza al año 2000*. LOM Ediciones.
- Fazio, H. y Parada, M. (2010). *Veinte años de política económica de la Concertación*. LOM Ediciones.
- Fernandois, J., Bustos, J. y Schneuer, M. J. (2009). *Historia Política del Cobre 1945-2008*. Centro de Estudios Bicentenario.

- Fernandez-Rodriguez, J., Moser, F., Song, M. y Voigt, C. A. (2017). Engineering RGB color vision into *Escherichia coli*. *Nature Chemical Biology*, 13(5), 706-708. <https://doi.org/10.1038/nchembio.2390>
- Fleming, A. (2007). The Growth of Microorganisms on Paper. En E. Kac (Ed.), *Signs of Life. Bio Art and Beyond* (pp. 345-346). The MIT Press. (Reimpreso de *Reports of Proceedings. Second International Congress for Microbiology*, de R. St. John-Brooks, Ed., 1937, Harrison & Sons)
- Flusser, V. (1998). Arte Viva. En V. Flusser, *Ficções Filosóficas* (pp. 83-88). Editora da Universidade de São Paulo. (Reimpreso de "Arte viva", 198-, *Arte em São Paulo*)
- Foucault, M. (2002). *Defender la sociedad. Curso en el Collège de France (1975-1976)* (H. Pons, Trad.; 2ª ed.). Fondo de Cultura Económica. (Trabajo original publicado en 1997)
- \_\_\_\_\_. (2007). *Historia de la sexualidad: Vol. 1, La voluntad de saber* (U. Guñazú, Trad.). Siglo XXI Editores. (Trabajo original publicado en 1976)
- Frangipane, G., Dell'Arciprete, D., Petracchini, S., Maggi, C., Saglimbeni, F., Bianchi, S., Vizsnyiczai, G., Bernardini, M. L. y Di Leonardo, R. (2018). Dynamic density shaping of photokinetic *E. coli*. *eLife*, Artículo 7:e36608. <https://doi.org/10.7554/eLife.36608>
- Franzosa, E. A., Huang, K., Meadow, J. F., Gevers, D., Lemon, K. P., Bohannan, B. J. M. y Huttenhower, C. (2015). Identifying personal microbiomes using metagenomics codes. *PNAS*, 112(22), E2930-E2938. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423854112>
- Fundación Chile. (2011). *Fuerza Laboral en la Gran Minería Chilena. Diagnóstico y Recomendaciones, 2011-2020*.
- Gedrim, R. J. (1993). Edward Steichen's 1936 Exhibition of Delphinium Blooms. An Art of Flower Breeding. *History of Photography*, 17(4), 352-363. <https://doi.org/10.1080/03087298.1993.10442317>
- Gentina, J. C. y Acevedo, F. (2016). Copper Bioleaching in Chile. *Minerals*, 6(1), Artículo 23. <https://doi.org/10.3390/min6010023>
- Gessert, G. (1993). Notes on Genetic Art. *Leonardo*, 26(3), 205-211. <https://doi.org/10.2307/1575812>
- \_\_\_\_\_. (2010). *Green Light. Toward an Art of Evolution*. The MIT Press.
- Häder, D.-P. (1984). Wie orientieren sich Cyanobakterien im Licht. *Biologie in unserer Zeit*, 14(3), 78-83. <https://doi.org/10.1002/biuz.19840140304>



- Hauser, J.** (2003). Gènes, génies, gènes. En J. Hauser (Dir.), *L'art biotech'* [Catálogo de exposición, Le lieu unique] (pp. 9-15). Filigranes Éditions.
- \_\_\_\_\_. (2008). Observations on an Art of Growing Interest. Toward a Phenomenological Approach to Art Involving Biotechnology. En B. da Costa y P. Kavita (Eds.), *Tactical Biopolitics. Art, Activism, and Technoscience* (pp. 83-104). The MIT Press.
- Huang, Y., Hia, A., Yang, G. y Jin, F.** (2018). Bioprinting Living Biofilms through Optogenetic Manipulation. *ACS Synthetic Biology*, 7(5), 1195-1200. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.8b00003>
- Hustede, E., Liebergesell, M. y Schlegel, H. G.** (1989). The photophobic response of various sulfur and nonsulfur purple bacteria. *Photochemistry and Photobiology*, 50(6), 809-815. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1989.tb02912.x>
- Jin, X. y Riedel-Kruse, I. H.** (2018a). Biofilm Lithography enables high-resolution cell patterning via optogenetic adhesin expression. *PNAS*, 115(14), 3698-3703. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720676115>
- \_\_\_\_\_. (2018b). High-resolution Patterned Biofilm Deposition Using pDawn-Ag43. *Journal of Visualized Experiments*, (140), Artículo e58625. <https://doi.org/10.3791/58625>
- Johnson, D. B.** (2014). Biomining – biotechnologies for extracting and recovering metals from ores and waste materials. *Current Opinion in Biotechnology*, 30, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.04.008>
- Kac, E.** (2005a). GFP Bunny. En E. Kac, *Telepresence & Bio Art. Networking Humans, Rabbits & Robots* (pp. 264-285). <https://doi.org/10.3998/mpub.12057> (Reimpreso de *Eduardo Kac: Telepresence, Biotelematics, Transgenic Art*, de A. Kostić y P. T. Dobrila, Eds., 2000, pp. 101-131, Association for Culture and Education Kibla)
- \_\_\_\_\_. (2005b). Transgenic Art. En E. Kac, *Telepresence & Bio Art. Networking Humans, Rabbits & Robots* (pp. 236-248). <https://doi.org/10.3998/mpub.12057> (Reimpreso de “Transgenic art”, 1998, *Leonardo Electronic Almanac*, 6[11])
- \_\_\_\_\_. (2007). Introduction. Art that Looks You in the Eye: Hybrids, Clones, Mutants, Synthetics, and Transgenics. En E. Kac (Ed.), *Signs of Life. Bio Art and Beyond* (pp. 1-27). The MIT Press.
- \_\_\_\_\_. (s.f.). Art at the Biobotic Frontier. KAC. <http://www.ekac.org/apositive.html> (Reimpreso de *Art at the Biobotic Frontier* [Volante distribuido en ISEA97, Art Institute of Chicago], 1997)

- Kubota, T.** (2018, marzo 19). Stanford researchers develop a new way to shape the growth of bacterial communities. *Stanford News*. <https://news.stanford.edu/2018/03/19/making-intricate-images-bacterial-communities>
- Latour, B.** (1993). *The Pasteurization of France* (A. Sheridan y J. Law, Trads.). Harvard University Press. (Trabajo original publicado en 1984)
- Leiva Gómez, S.** (2009). La subcontratación en la minería en Chile: elementos teóricos para el análisis. *Polis*, 8(24), 111-131. <https://doi.org/10.4067/S0718-65682009000300007>
- Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., Polonio, J. C.** (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275-290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Levskaya, A., Chevalier, A., Tabor, J. J., Simpson, Z. B., Lavery, L. A., Levy, M., Davidson, E. A., Scouras, A., Ellington, A. D., Marcotte, E. M. y Voigt, C. A.** (2005). Synthetic biology: Engineering *Escherichia coli* to see light. *Nature*, 438(7067), 441-442. <https://doi.org/10.1038/nature04405>
- Levy, M., Tabor, J. J. y Wong, S. T. C.** (2006). Taking pictures with *E. coli*: signal processing using synthetic biology. *IEEE Signal Processing Magazine*, 23(3), 140-142. <https://doi.org/10.1109/MSP.2006.1628897>
- López del Rincón, D.** (2015). *Bioarte. Arte y vida en la era de la biotecnología*. Ediciones Akal.
- Maurois, A.** (1959). *Fleming* (A. Darnell, Trad.; 2ª ed.). Ediciones Cid.
- Mazzucato, M.** (2013). *The Entrepreneurial State. Debunking Public vs. Private Sector Myths*. Anthem Press.
- Micaelo, N.** (2008). Folding *mArta*. En M. de Menezes, *Retrato Proteico* [Catálogo de exposición, Museo Extremeño e Iberoamericano de Arte Contemporáneo] (Inês Moreira, Comis.; pp. 110-114).
- Mitchell, L. A., Chuang, J., Agmon, N., Khunsriraksakul, C., Philips, N. A., Cai, Y., Truong, D. M., Veerakumar, A., Wang, Y., Mayorga, M., Blomquist, P., Sadda, P., Trueheart, J. y Boeke, J. D.** (2015). Versatile genetic assembly system (VEGAS) to assemble pathways for expression in *S. cerevisiae*. *Nucleic Acids Research*, 43(13), 6620-6630. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv466>

- Moguillansky, G. (2001). Privatizaciones y su impacto en la inversión. En R. Ffrench-Davis y B. Stallings (Eds.), *Reformas, crecimiento y políticas sociales en Chile desde 1973* (pp. 171-200). LOM Ediciones; CEPAL.
- Montero, D. A., Arellano, C., Pardo, M., Vera, R., Gálvez, R., Cifuentes, M., Berasain, M. A., Gómez, M., Ramírez, C. y Vidal, R. M. (2019). Antimicrobial properties of a novel copper-based composite coating with potential for use in healthcare facilities. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 8, Artículo 3. <https://doi.org/10.1186/s13756-018-0456-4>
- Park, S. F. (2015, enero 13). BioGenic Textile Designs: A BioBatik in Purple and Red. *Exploring the invisible*. <https://exploringtheinvisible.com/2015/01/13/biogenic-textile-designs-a-biobatik-in-purple-and-red>
- Pavillon 35 (2013). *Recipe #1 - Yeast Printing*. <http://pavillon35.polycinease.com/yeastograms>
- Paxson, H. (2008). Post-Pasteurian Cultures: The Microbiopolitics of Raw-Milk Cheese in the United States. *Cultural Anthropology*, 23(1), 15-47. <https://doi.org/10.1111/j.1548-1360.2008.00002.x>
- \_\_\_\_\_. (2014). Microbiopolitics. En E. Kirksey (Ed.), *The Multispecies Salon* (pp. 115-121). Duke University Press.
- Pinto, A. (1970). Desarrollo económico y relaciones sociales. En A. Pinto, S. Aranda, A. Martínez, O. Caputo, R. Pizarro, E. Faletto, E. Ruiz, J. Chonchol, V. Brodersohn, T. Vasconi, I. Reza y A. Dorfman, *Chile, hoy* (pp. 5-52). Siglo Veintiuno Editores.
- Ponce, J. (2017). Vino viejo en copas nuevas. Los trabajadores subcontratados y la acción sindical cuprífera en la postdictadura chilena (2005-2008). En J. Ponce, C. Santibáñez, y J. Pinto (Comps.), *Trabajadores & trabajadoras. Procesos y acción sindical en el neoliberalismo chileno, 1979-2017* (pp. 261-299). América en Movimiento Editorial.
- Portal Minero. (2011, marzo 11). *Presentan proyecto para nuevos usos del cobre en Metro*. <https://www.portalminero.com/display/NOT/2011/03/11/Presentan+proyecto+para+nuevos+usos+del+cobre+en+Metro>
- Prado, V., Durán, C., Crestto, M., Gutierrez, A., Sapiain, P., Flores, G., Fabres, H. y Schmidt, M. (2010). Effectiveness of copper contact surfaces in reducing the microbial burden (MB) in the intensive care unit (ICU) of hospital del Cobre, Calama, Chile. *International Journal of Infectious Diseases*, 14(suppl. 1), E268. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2010.02.2083>

- Rapp, R. (2019). On mycohuman performances: fungi in current artistic research. *Fungal Biology and Biotechnology*, (6), Artículo 22. <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0085-6>
- Reichle, I. (2009). *Art in the Age of Technoscience. Genetic Engineering, Robotics, and Artificial Life in Contemporary Art*. SpringerWienNewYork. <https://doi.org/10.1007/978-3-211-78161-6>
- Robin, C. (1853). *Histoire naturelle des végétaux parasites qui croissent sur l'homme et sur les animaux vivants*. Chez J.-B. Baillière.
- Ruiz E., C. (2008). La problemática emergencia de nuevas identidades sociales. *Análisis del Año 2007*, 31-49.
- Ruiz, C. y Boccardo, G. (2014). *Los chilenos bajo el neoliberalismo. Clases y conflicto social*. Fundación Nodo XXI; El Desconcierto.
- Salinas, F., Rojas, V., Delgado, V., López, J., Agosin, E. y Larrondo, L. F. (2018). Fungal Light-Oxygen-Voltage Domains for Optogenetic Control of Gene Expression and Flocculation in Yeast. *mBio*, 9(4), Artículo e00626-18. <https://doi.org/10.1128/mBio.00626-18>
- Santabárbara Morera, C. (2018). La “photographic photosynthesis” de Heather Ackroyd y Dan Harvey. En R. Villena Espinosa y J. M. López Torán (Eds.), *Fotografía y patrimonio cultural. V, VI y VII Encuentros en Castilla-La Mancha* (pp. 523-536). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha.
- Schiller, J. (2012, julio 23). Artists Create Giant Portraits on Live Grass. *WIRED*. <https://www.wired.com/2012/07/artists-create-giant-portraits-on-live-grass-2/>
- Schmidt, M. G., von Dessauer, B., Benavente, C., Benadof, D., Cifuentes, P., Elgueta, A., Duran, C. y Navarrete, M. S. (2016). Copper surfaces are associated with significantly lower concentrations of bacteria on selected surfaces within a pediatric intensive care unit. *American Journal of Infection Control*, 44(2), 203-209. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.09.008>
- Tabor, J. (s.f.). Bacterial Photography. *Professional Women Photographers*. <http://www.pwponline.org/blog/2010/08/15/imprints-bacterial-photography-by-jeff-tabor> (Reimpresión de “Bacterial Photography”, 2010, otoño/invierno, *Imprints*)
- The Museum of Modern Art. (1936). [Comunicado de prensa sobre la exposición *Edward Steichen's Delphiniums*]. [https://assets.moma.org/documents/moma\\_press-release\\_325057.pdf](https://assets.moma.org/documents/moma_press-release_325057.pdf)

- Tomic, R. (1986). La política minera chilena. *Estudios Públicos*, (21), 25-50.
- Valdivia Ortiz de Zárate., V. (2003). *El golpe después del golpe. Leigh vs. Pinochet. Chile 1960-1980*. LOM Ediciones.
- Velasco, A., Arenas de Mesa, A., Rodríguez C., J., Jorrat D., M. y Gamboni G., C. (2010). *Enfoque de Balance Estructural en la Política Fiscal en Chile: Resultados, Metodología y Aplicación al Período 2006-2009*. Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda, Gobierno de Chile.
- Vergara Marshall, Á. (2004). Conflicto y modernización en la Gran Minería del Cobre (1950-1970). *Historia* (Santiago), 37(2), 419-436.
- \_\_\_\_\_. (2008). *Copper Workers. International Business and Domestic Politics in Cold War Chile*. Pennsylvania State University Press.
- von Dessauer, B., Navarrete, M. S., Benadof, D., Benavente, C. y Schmidt, M. G. (2016). Potential effectiveness of copper surfaces in reducing health care-associated infection rates in a pediatric intensive and intermediate care unit: A nonrandomized controlled trial. *American Journal of Infection Control*, 44(8), e133-e139. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.03.053>
- Watling H. R. (2015). Review of Biohydrometallurgical Metals Extraction from Polymetallic Mineral Resources. *Minerals*, 5(1), 1-60. <https://doi.org/10.3390/min5010001>
- Weibel, D. B., Lee, A., Mayer, M., Brady, S. F., Bruzewicz, D., Yang, J., DiLuzio, W. R., Clardy, J. y Whitesides, G. M. (2005). Printing Press that Regenerates its Ink: Contact-Printing Bacteria Using Hydrogel Stamps. *Langmuir*, 21(14), 6436-6442. <https://doi.org/10.1021/la047173c>
- Xu, T., Petridou, S., Lee, E. H., Roth, E. A., Vyavahare, N. R., Hickman, J. J. y Boland, T. (2004). Construction of High-Density Bacterial Colony Arrays and Patterns by the Ink-Jet Method. *Biotechnology and Bioengineering*, 85(1), 29-33. <https://doi.org/10.1002/bit.10768>
- Yeast Art Project. (s.f.). *The process*. <http://www.yeastart.org/the-process>
- Zapata, F. (1986). La acción sindical en la Gran Minería del Cobre: ¿continuidad o ruptura? En F. Zapata (Comp.), *Clases sociales y acción obrera en Chile* (pp. 189-218). El Colegio de México. <https://doi.org/10.2307/j.ctv233q16.7>

## AGRADECIMIENTOS

Jennifer Alcaíno	Matt Good	Paulina Olguín
Luis Alborno	T. Ryan Gregory	Consuelo Olivares
Nelson Araujo	JoWonder	Jéssica Olmos
Rodrigo Arteaga	Peter G. Hoffmann	Julieta Orlando
Sonja Bäumel	WhiteFeather Hunter	Simon F. Park
Camilo Berríos P.	Xiaofan Jin	Luis Pouchucq
Jef Boeke	Rosalba Lagos	Ingmar Riedel-Kruse
Valentina Carrasco	Erika Lang	Johanna Rotko
Margarita Carú	Antonio Larrea	Consuelo Salas
Oron Catts	Vicente Larrea	Francisco Sanfuentes
Francisco P. Chávez	Luis Larrondo	Günter Seyfried
Macarena Collao	Edgar Lissel	Michael Shen
Patrik D'haeseleer	Igora Martínez	Jeff Tabor
Joe Davis	Nicole Martínez	Sofía Tapia
Marta de Menezes	Giuliana Medone	Jasmine Temple
Francisco del Basto	Nuno Micaelo	Macarena Varas
Rodrigo Díaz E.	Nicole Molina	Daniel Vásquez
Tim Dobbs	Octavio Monasterio	Marcelo Veloso
Sebastiás Farías	Nicolás Montalva	Kristin Weissenberger
Héctor Garcías	Valentina Montero	Rodrigo Wielandt
George Gessert	Esteban Nova	Jaime Zelada
Lia Giraud	Pedro Núñez	Ionat Zurr

Centro de Estudiantes de Ingeniería, U. de Chile  
Lab. de Biología Estructural y Molecular, Facultad de Ciencias, U. de Chile  
Partido Comunista de Chile  
Plataforma Arte y Medios

## OTROS TÍTULOS DE ESTA COLECCIÓN

*Arte + Archivo. Producción, reflexiones  
y desplazamientos*

Verónica Troncoso y Germán González (Eds.)

*Grabado / Poéticas y desplazamientos*

Francisco Sanfuentes

*Cuerpos de la memoria. Sobre los  
monumentos a Schneider y Allende*

Luis Montes Rojas (Ed.)

*Escultura y contingencia. 1959-1973*

Luis Montes Rojas (Ed.)

Siendo Chile el principal productor de cobre en el mundo, este libro surge de la inquietud por aprovechar una de las propiedades de este mineral que aún no ha sido empleada por el arte: la de ser un efectivo antimicrobiano. A partir de una propuesta técnica para producir imágenes que se vale de esta propiedad y del crecimiento de microorganismos, se busca no solo hacer un aporte al género del arte biológico, sino también problematizar el lugar que tiene el cobre para un país que históricamente lo ha explotado y manejado en una lógica extractivista primario-exportadora. En este sentido, el libro llama a pensar sobre el potencial que el metal rojo tiene para un desarrollo nacional sustentable, que saque partido de las múltiples propiedades que posee este recurso natural.

