



Biotecnología, arte y educación: un punto de vista

Biotechnology, art and education: a point of view

María Antonia Muñoz-Malajovich

Biotecnología, enseñanza y divulgación – BTeduc
maria.antoniam@educbiotecnologia.com

Resumen Este texto está fundamentado en la documentación levantada a lo largo de 25 años en un Curso Técnico de Biotecnología de Rio de Janeiro, organizado en el contexto Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CSTA). Muestra algunos puntos de articulación con el arte biológico alcanzados en actividades de observación y experimentación (tendencia mediática) y en la utilización de material disponible en la literatura e Internet (tendencia temática).

Palabras clave Arte biológico, Bioarte, Biotecnología, Educación, Arte contemporáneo.

Abstract This paper is based on the records of a technical course in biotechnology, based in Rio de Janeiro, organized in the Science, Technology Society and Environment context, and covering 25 years of activity. Several points of articulation with biological art are showed, from activities of observation and experimentation (media trends) and use of available resources in literature and the Internet (subject trends).

Keywords Biological Art, Bioart, Biotechnology, Education, Contemporary Art.

Cómo citar: Muñoz-Malajovich, M. A. (2022). Biotecnología, arte y educación: un punto de vista, *CRATER, Arte e Historia*, 2, 48-66. <https://dx.doi.org/10.12795/crater.2022.i02.04>

INTRODUCCIÓN

“En arte contemporáneo, lo que se crea no es tanto una obra como una experiencia” (Heinich, 2014).
Traducción de la autora.

En la representación del mundo natural encontramos medios de expresión variados, desde los tradicionales como el dibujo, la pintura, la escultura y el grabado, hasta los modernos como la fotografía y el cine o el contemporáneo *web art*. Del proceso creativo surge un producto nuevo y original que representa la visión personal de su autor, inserida en el contexto histórico y social de la época.

Al ofrecer al artista nuevas herramientas de trabajo que se suman o complementan, todo desarrollo tecnológico influencia la actividad creativa. Fue así con pinceles, pigmentos sintéticos, máquinas fotográficas, filmadoras, computación gráfica y, recientemente, con las tecnologías de base biológica o biotecnologías¹. Estas últimas abarcan un área en que se entrelazan ciencia básica, ciencia aplicada y tecnologías variadas, integrando una red de conocimientos que introduce en el mirar del artista una visión nueva y diferente de los seres vivos y/o de sus componentes.

El arte biológico² puede ser definido como un arte vivo o con componentes vivos. En la actualidad, el entramado de relaciones entre arte, biología y tecnología contempla:

“Aplicaciones artísticas de la genética, como las técnicas del ADN recombinante, la mutación genética, la secuenciación genética o el aislamiento celular (con artistas como Joe Davis, Natalie Jeremijenko, Eduardo Kac o el colectivo Critical Art Ensemble); técnicas de cultivo celular y de microorganismos (con artistas como David Kremmers, Allison Kudla, Edgar Lissel o los colectivos Art Orienté Objet y Tissue Culture & Art); y aplicaciones de la biología del desarrollo, la cría y selección de animales y el cultivo y selección de plantas (Marta de Menezes, Brandon Ballengée, George Gessert o Edward Steichen)” (López del Rincón, 2016).

Para una reciente y completa historia del Bioarte, consultar también López del Rincón (2015), Yetisen (2015), Wilson (2010) y Kac (2007).

1. Biología + arte

Observación y experimentación generan numerosos interrogantes sobre el significado artístico del mundo natural en que una obra tiene dos facetas, una de ellas científico-tecnológica y la otra artística. ¿Dónde termina la primera y dónde comienza la otra? Si bien el dominio tecnológico es indispensable, la importancia de la descripción, el relato y la interpretación convierten al autor en un intermediario entre la obra y el público.

Las figuras 1 y 2, por ejemplo, muestran respectivamente dos postes colonizados por microorganismos (Fig. 1) y una extracción de ADN de berzas (Fig. 2) cuyo significado se altera drásticamente a la luz de dos citas de la escritora brasileña Clarice Lispector. Pero que desde

1 Biotecnología es cualquier aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados para fabricar o modificar productos o procesos para utilización específica (Convención sobre Diversidad Biológica, ONU, 1992).

2 Un adjetivo agregado a la palabra ARTE nos sitúa en el tiempo (arte renacentista, moderno, contemporáneo) o define alguna característica común en un conjunto de obras (arte abstracto, cinético, plumario, topiario, etc.).

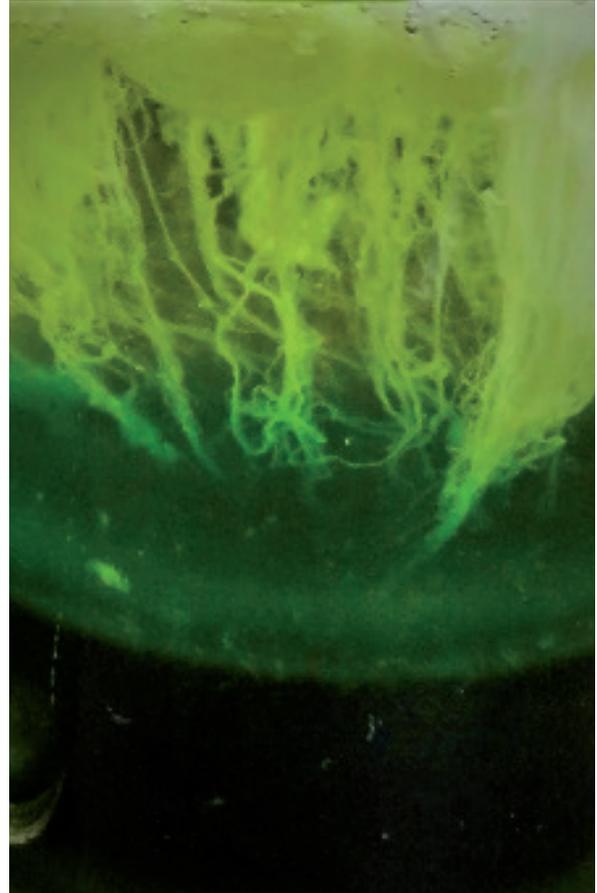
nuestra mirada podríamos denominar Fundación 1 y Fundación 2, en una alusión a la clásica trilogía de ciencia ficción Fundación e Imperio (Asimov, 1952).

“Tenho um corpo e tudo o que eu fizer é continuação de meu começo” (Clarice Lispector)³

Figure 1.
Dos postes colonizados por microorganismos



Figura 2.
Extracción de ADN de berzas. “O ovo alquímico”
(Clarice Lispector)⁴



2. Tendencias actuales

El arte biológico suele contar con la colaboración de científicos, técnicos y artistas en laboratorios o institutos de investigación avanzada, generalmente ligados a instituciones capaces de solventar equipos sofisticados y reactivos de alto costo. Sus obras integran un conjunto efímero de experimentos, instalaciones y exposiciones cercanos al arte contemporáneo, siendo acompañados por el registro visual y escrito de la obra realizada.

La ingeniería genética y por ende la biotecnología moderna tienen su origen en laboratorios de avanzada, pero asistimos actualmente a una tentativa de democratización de las actividades. El movimiento alternativo Do It Yourself Bio (DIYBIO), por ejemplo, reúne un contingente de jóvenes

³ “Tengo un cuerpo y todo lo que haga es continuación de mi comienzo”. En *Perto do Coração selvagem* de Clarice Lispector.

⁴ “El huevo alquímico”. En *Um sopro de vida* de Clarice Lispector.

con buena formación científica y tendencia emprendedora, capaces de trabajar con equipos básicos de laboratorio más baratos, descartados o readaptados.

Inspirado en el nacimiento de la industria de computadores personales en California y con la visión reduccionista de la biología sintética⁵, más cercana a la formación de los ingenieros que de los biólogos, el movimiento DIYBIO utiliza protocolos de difusión libre y secuencias biológicas *standard* (*Biobricks*), facilitados por organismos responsables, para diseñar y construir sistemas biológicos simplificados que cumplan funciones determinadas, en forma análoga a los juegos de piezas LEGO infantiles.

Tanto las diversas comunidades DIYBIO como grupos de estudiantes universitarios suelen participar en las competiciones International Genetically Engineered Machine (iGEM), organizadas desde 2003 por el Massachusetts Institute of Technology (MIT). En los últimos años, inclusive iGEM ha dedicado un sector de la competición al Bioarte.

La participación internacional en el festival cinematográfico europeo Bio-fiction también ha dado una contribución valiosa para la divulgación del arte y la ciencia, siendo que las ediciones de 2011 y 2014 tuvieron como tema la biología sintética.

3. Un acercamiento entre biotecnología y arte biológico

El movimiento DIYBio no incluye claramente prácticas biotecnológicas aficionadas o alternativas, tales como actividades artísticas en laboratorios e instalaciones educativas, una visión que separa la ciencia académica y corporativa del uso público, social y cultural de esas tecnologías.

Así como los pintores de fin de semana o los fotógrafos y cineastas ocasionales se relacionan con la imagen, en el ámbito de la educación ¿es posible acercarse al arte biológico mediante técnicas laboratoriales relativamente simples y con materiales no demasiado caros que permitan el descubrimiento de formas, colores y texturas de indudable valor estético?

En este artículo relato una tentativa de aproximación entre biología, tecnología y arte dentro de la enseñanza de biotecnología en un instituto de formación técnica de Rio de Janeiro⁶, entre 1990 y 2015. A pesar de enfrentar serias limitaciones técnicas y económicas el Curso Técnico de Biotecnología, en el cual me desempeñé durante 25 años como coordinadora y docente, fue pionero en su género por seguir un enfoque biológico y dar énfasis a las actividades laboratoriales. El curso contó con la colaboración y participación de profesores y alumnos, a partir de ahora citados en el texto y en la web como el Colectivo BTeduc.

A lo largo de tres años de estudios dentro del contexto Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA), jóvenes entre 15 y 18 años desarrollaron sus trabajos de fin de curso y numerosas investigaciones⁷, utilizando material biológico y protocolos laboratoriales desarrollados y modificados según sus objetivos y posibilidades. El punto culminante de esas indagaciones fue su comunicación en exposiciones y presentaciones, un tanto performáticas, durante la Semana Nacional de Ciencia y Tecnología (SNCyT).

Todos los protocolos y detalles correspondientes de los trabajos presentados anteriormente están publicados en portugués y español, en la página web BTeduc(educbiotecnologia.com). Esta

5 Un área que combina biología, química e ingeniería para proyectar y construir nuevas funciones y sistemas vivos, o para rediseñar los sistemas vivos existentes (The Royal Society, 2008).

6 Instituto de Tecnología ORT do Rio de Janeiro.

7 A pesar de realizada con todo rigor metodológico, la indagación es una investigación dentro del dominio de lo conocido mientras que la ciencia trabaja en el límite entre lo conocido y lo desconocido.

sustituye desde 2020 una página equivalente (bteduc.com) que alcanzó buena divulgación entre 2010 y 2020.

Si bien el *wetware* constituyó la principal base de articulación entre biología, tecnología y arte, en algunos temas, como los relativos a la ingeniería genética, en que no fue posible desarrollar actividad laboratorial hubo que recurrir al uso de los recursos existentes en la *web* complementando la tendencia biomedial con la biotemática (López del Rincón, 2015).

Para mayor claridad de la presentación de este case seguiré la clasificación tradicional de Biotecnología como clásica (microscopía, cultivo de tejidos y bioprocesos) y moderna (ingeniería genética).

4. Biotecnología clásica

4.1. Microscopía y técnicas microbiológicas

La invención del microscopio es uno de los casos en que una tecnología, además de originar descubrimientos fundamentales, posibilita el acercamiento entre ciencia y arte. Debemos al microscopio óptico el registro de una biodiversidad desconocida hasta fines del siglo XIX, magistralmente representada en las láminas de invertebrados marinos de Haeckel y los dibujos de las células del sistema nervioso de Ramon y Cajal, dos grandes científicos que también fueron pintores. Pasado más de un siglo, todavía la microscopía es el primer contacto con un mundo que se nos escapa visualmente (fig. 3).

Si el microscopio consigue ampliar una imagen hasta hacerla visible, las técnicas diseñadas originalmente por Pasteur, Koch y sus discípulos favorecen la multiplicación de los microorganismos hasta formar colonias visibles a simple vista. Desde el siglo XIX, autoclaves, estufas, balones, tubos de ensayo y placas de Petri son elementos clave del laboratorio microbiológico básico.

Las placas de Petri consisten en dos recipientes cilíndricos chatos, de vidrio o plástico, uno menor con un medio nutriente semisólido en el cual crecen los microorganismos y otro mayor que actúa como tapa (fig. 4).

Figura 3. Unas más y otras menos. Células de cebolla morada. Izquierda y centro, fotografiadas con diferente aumento; derecha, células deshidratadas.

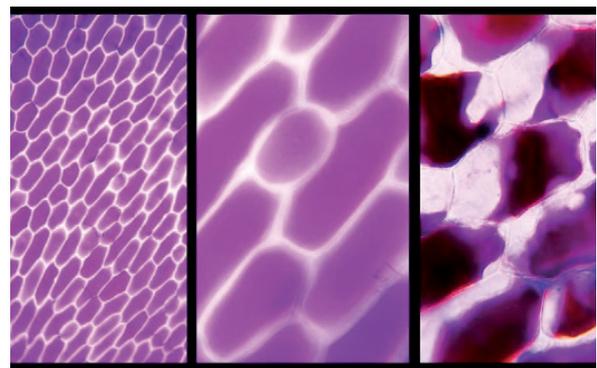
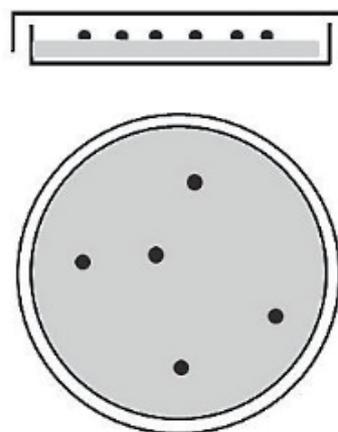


Figura 4. La placa de Petri (Esquema).



Fue en placas de Petri que Alexander Fleming, el descubridor de la penicilina, diseñó motivos variados utilizando cepas bacterianas productoras de pigmentos de diferentes colores⁸. Un camino seguido con éxito en varios laboratorios de investigación microbiológica y ampliado con el uso de bacterias bioluminiscentes (Microbial Art).

Por motivos de seguridad pocas son las cepas bacterianas disponibles para uso educativo. Muy pocas son productoras de pigmentos y generalmente se trabaja con microorganismos comerciales (bacterias lácticas, bacterias acéticas, levaduras), provenientes de colecciones de cultivos⁹ o con requerimientos poco comunes.

Esa condición suele limitar este tipo de trabajo a diseños simples con un cotonete contaminado, al registro de la flora bacteriana en una impresión digital o a una siembra con un microorganismo seguro, generalmente un tipo de *Escherichia coli* K12 o una levadura como *Saccharomyces cerevisiae* (fig. 5). La imagen obtenida sugiere un universo paralelo de cuerpos celestes, galaxias, cometas y planetas.

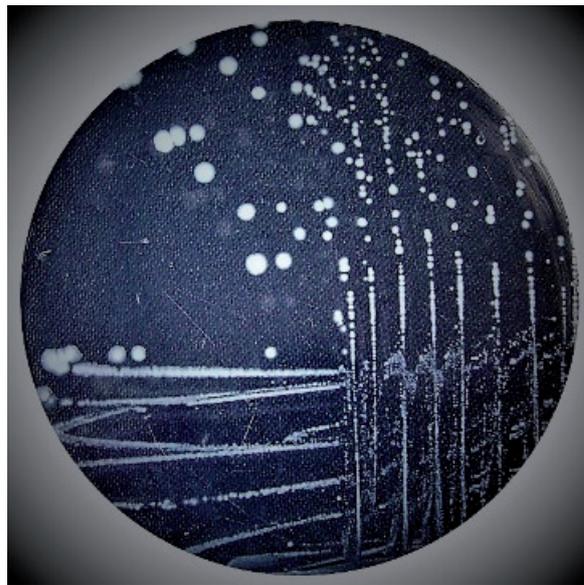
Mucho más sorprendentes son las imágenes de las colonias microbianas obtenidas incubando una placa que fuera abierta durante unos minutos en el huerto del *campus* en Petrópolis (RJ). Amenazadoras para algunos, deslumbrantes para otros, esas colonias están formadas por aquellos microorganismos presentes en el aire que cayeron en el medio nutriente, revelando con sus diferencias de color, tamaño y textura una pequeña parte de la biodiversidad que nos rodea (fig. 6).

Las salidas a campo son un desafío para cualquier naturalista, pero una observación atenta de postes, vegetación rastrera, troncos y ramas caídas, permite identificar la presencia de mixomicetos, un grupo sorprendente de microorganismos clasificados como protistas (fig. 7).

El cultivo de las muestras colectadas en un medio nutriente de composición adecuada permite visualizar, con una lente de pequeño aumento, padrones complejos de crecimiento estableciendo láminas gelatinosas o redes intrincadas de indudable efecto estético (fig. 8).

A pesar de un siglo y medio de antigüedad, esas técnicas continúan siendo el primer paso para el reconocimiento del mundo microbiano y su biodiversidad ambiental.

Figura 5. Universos paralelos. Crecimiento de *Escherichia coli* K12 sembrada por arrastre de una pequeña cantidad de inóculo sobre la superficie del medio.



8 Muy pocas de las cepas productoras de pigmentos son consideradas seguras. El tema fue objeto de uno de los trabajos participantes en la [competición iGEM \(2018\)](#).

9 Todas las cepas puras utilizadas en nuestros laboratorios fueron obtenidas con la Dra. Lucy Seldin en el Instituto de Microbiología de la Universidad Federal de Rio de Janeiro (UFRJ)

Figura 6.

Visible/invisible. A: Biodiversidad microbiana revelada al incubar la placa de Petri contaminada; B: Colecta de muestras de microorganismos del aire, abriendo las placas con agar nutriente estéril en el huerto.



Figura 7.

Inquietantes 1. Reconocimiento en campo de mixomicetos, por su parecido al “vómito de perro”.



Figura 8.

Inquietantes 2. A: Montaje de una cámara húmeda de cultivo e imágenes de mixomicetos cultivados en diferentes medios. B: En el laboratorio.



4.2. El cultivo de tejidos vegetales

El cultivo de tejidos vegetales puede ser considerado una extensión de las técnicas microbiológicas anteriores ya que el procedimiento básico consiste en sembrar un fragmento de origen vegetal, en condiciones estériles, en una placa o frasco con agar nutriente de composición adecuada e incubarlo en condiciones luminosas apropiadas (Malajovich, 2020).

En relación con el cultivo de microorganismos, las imágenes obtenidas pueden ser igualmente espectaculares pero el grado de complejidad es mayor porque los tejidos vegetales crecen más lentamente y las contaminaciones son frecuentes y difíciles de controlar.

El objetivo es reconstruir una planta a partir de un fragmento, siendo que el resultado depende del material inicial. Obtuvimos plántulas a partir de epicótilos de mostaza, de embriones de maíz o de brotes de papa e inclusive pudimos observar, como una curiosidad más, el efecto de la inversión del crecimiento en el cultivo de un disco basal de ajo (fig. 9).

También conseguimos obtener y visualizar la formación de callos a partir de cortes de zanahoria o batata, etc. (fig. 10). Todas estas manipulaciones, de relativa dificultad técnica, produjeron imágenes de innegable efecto visual y artístico relativos al colorido y a las texturas adoptadas por el tejido desdiferenciado.

La formación de clones entre los vegetales es un fenómeno bastante frecuente puesto que muchas plantas se reproducen a partir de mudas (*Saintpaulia* o violeta africana, *Dracaena sanderiana* o bambú de la suerte etc.).

Con la intención de reproducir el proceso en condiciones *in vitro* escogimos una planta bastante original, denominada *Kalanchoe daigremontiana*, que se reproduce mediante brotes embrionarios desarrollados en el borde de las hojas. Al desprenderse y caer en la tierra, estos brotes originan nuevas plantas genéticamente iguales a la planta-madre: son clones (fig. 11).

Con un ejemplar de *Kalanchoe daigremontiana* y aplicando la técnica de cultivo de tejidos, desenvolvimos con los alumnos más jóvenes la actividad “Clonando clones”. Esta consistió en transferir *in vitro* una de las hojuelas de un brote al medio nutriente para posteriormente amplificar el cultivo con los embriones formados en el borde de dicha hojuela. Al ser transferidos a tierra, esos embriones originan numerosas plantas “clones de un clone” que, salvo mutación, son todas genéticamente iguales (fig. 12).

Los jóvenes integrantes del Colectivo BTeducparticiparon en todas las etapas, inclusive durante la exposición del trabajo y la distribución de los clones al público con la intención de recuperarlos al cabo de un tiempo para, inspirados en el trabajo One tree(s) de Natalie Jeremijenko, comparar su aspecto al crecer en diferentes ambientes, una etapa que lamentablemente no llegó a ser concluida.

Figura 9.

Entre una parte y el todo. En sentido horario A: Cultivo de mostaza a partir de epicótilos; B: Cultivo de coliflor a partir de floretes; C: Cultivo de maíz a partir de un embrión; D: Cultivo de dos fragmentos del disco basal de un diente de ajo, con la polaridad alterada.



Figura 10.

Fragmentación y caos. A: Callos formados a partir de explantes de raíz de zanahoria; B: Siembra de fragmentos de raíz en la cabina de flujo laminar.

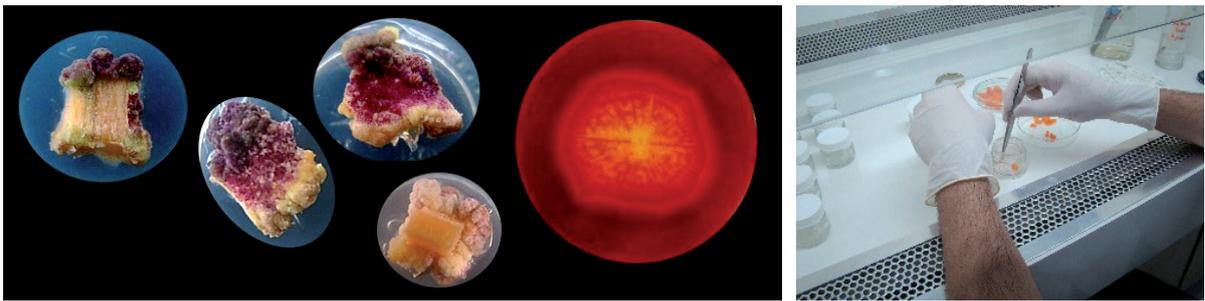


Figura 11.

No, no es el día de los trífidos¹⁰. Vista dorsal y lateral de hojas de *Kalanchoe daigremontiana*



Figura 12.

Clonando clones. Etapas del procedimiento realizado por el Colectivo Bteduc: siembra, ampliación de los cultivos, incubación y transferencia a tierra.



¹⁰ En la novela de ciencia-ficción "El día de los trífidos" (John Wydman, 1951), escrita en el marco de la Guerra Fría, los trífidos son híbridos invasores con características vegetales y animales.

4.3. Bioprocesos

El desarrollo de procesos basados en la transformación de una materia-prima por un agente biológico permitió la producción de numerosas sustancias de interés económico y la expansión de la microbiología industrial.

Los bioprocesos abarcan actualmente una amplia gama de tecnologías tradicionales modernizadas por la llegada de la informática, la robótica y los organismos genéticamente modificados (OGM). Denominados tradicionalmente “fermentaciones”, aunque no todos lo sean, responden por la producción de alimentos y bebidas, antibióticos, etanol y bioplásticos además de diversos tratamientos ambientales (Malajovich, 2012; 2016).

Dependiendo del objetivo, un bioproceso comienza con la elección de un agente biológico (microorganismo o enzima), continúa con la transformación de la materia prima en condiciones controladas y finaliza con la separación y purificación del producto final. Aquellos relacionados con la degradación de materia orgánica o eliminación de contaminantes siguen un camino algo diferente.

Las condiciones de esterilidad pueden ser desnecesarias, sea por las características del proceso o porque la composición del medio es tal que limita el crecimiento de contaminantes. En el laboratorio didáctico, donde se trabaja en pequeña escala, son estos últimos los montajes que permiten establecer una articulación entre la biología, el arte y la industria. Indispensable a cualquier quehacer científico o artístico, la comunicación puede darse mediante exposiciones y presentaciones.

Uno de los trabajos consistió en montar las etapas de cultivo, extracción, purificación y obtención de masa seca de una microalga¹¹ (*Spirulina* o *Arthrospira*), un producto vendido en establecimientos comerciales como un polvo verde, apreciado por los adeptos de la medicina natural. Una vez inoculado el medio de cultivo, algunos recipientes (biorreactores) fueron incubados en el alféizar de una ventana con luz natural, otros dentro del laboratorio con luz artificial. La recuperación del producto ocurrió por filtración al vacío y secado en estufa (fig. 13). Frente a la imagen de los diversos cultivos, ¿Cómo no recordar la Oda al Color Verde de Pablo Neruda? O, por otro lado, y con algún escalofrío, aquella vieja película de 1973 llamada “Soylent Green”.

Otro trabajo realizado fue la producción de vinagres a partir de vinos de fruta, en prototipos de biorreactores construidos artesanalmente de acuerdo con los modelos utilizados en procesos industriales. Según la evaluación de los especialistas¹³ se obtuvieron vinagres de excelente calidad (Malajovich, 1992). La participación dedicada del Colectivo BTeduc fue fundamental en todas las etapas de producción y presentación al público, así como en la venta de los vinagres que revertió en la compra de materiales para el laboratorio (fig. 14).

Figura 13.

“Se derramó el cristal inesperado y crecieron y se multiplicaron los numerosos verdes”¹² (Pablo Neruda). Cultivos de *Arthrospira* en el laboratorio bajo iluminación constante.



11 Cepa original de *Arthrospira* de la colección del Dr. Sergio D. Lourenço, Universidad Federal Fluminense (UFF).

12 Neruda P. (1956) Oda al verde. Nuevas Odas Elementales. Losada.

13 Dr. Eugênio Aquarone, Universidad de São Paulo (USP)

Figura 14.

Fazer vinagre...não é deixar o vinho azedar¹⁴. A: Los modelos de biorreactores montados y el producto final envasado; B: Momentos.



Un tercer proyecto llevado a cabo trata la contaminación por materia orgánica en playas urbanas debido a ligaciones clandestinas entre cloacas y galerías pluviales. Muestras de agua de mar y arena colectadas, enriquecidas con nutrientes específicos, son incubadas en recipientes transparentes, tales como columnas de vidrio o botellas cilíndricas de agua mineral. Las comunidades bacterianas del ciclo del azufre se desarrollan lentamente en las paredes del recipiente, formando manchones coloridos que varían de posición y color con el tiempo (fig. 15). Manchones de ese tipo no aparecen en las muestras colectadas en la floresta del campus de Petrópolis (RJ), sometidas al mismo tratamiento.

Figura 15.

Réminiscences de l'enfer¹⁶. Desarrollo de las comunidades microbianas del ciclo del azufre a partir de muestras de agua y arena de una playa urbana (Urca, Rio de Janeiro).



5. Wetware y divulgación¹⁶

De acuerdo con Suzanne Anker (2021), la utilización de material biológico y prácticas laboratoriales (*wetware*) es una de las formas de articulación entre Biología y Arte. Las obras presentadas anteriormente siguen una línea mediática de complejidad creciente desde los cultivos de microorganismos ambientales hasta los procesos biológicos, pasando por los cultivos de tejidos vegetales.

¹⁴ "Hacer vinagre... no es dejar agriar el vino". Traducción de la autora.

¹⁵ Reminiscencias del infierno. Traducción de la autora.

¹⁶ Todos los protocolos y detalles correspondientes de los trabajos presentados anteriormente están publicados en portugués y español, en la página web BTeduc(educbiotecnologia.com). Esta substituye desde 2020 una página equivalente (bteduc.com) que alcanzó buena divulgación entre 2010 y 2020.

Sin embargo, en los últimos años las técnicas laboratoriales están siendo sustituidas por equipamientos y *kits* que son verdaderas cajas negras y en las que la habilidad del operador no tiene mayor importancia. Con ellas podríamos correr el riesgo de perder el “saber hacer” tradicional del técnico o transformarlo en un *hobby* relegado a aficionados de la cultura *maker*.

6. Biotecnología moderna

Entre 1990 y 2015, asistimos a algunas mudanzas tecnológicas en nuestro ambiente educativo. Equipos y laboratorios modernizados facilitaron la realización de trabajos más ambiciosos, pero al permanecer vigentes las limitaciones legales y económicas relativas a la Tecnología del ADN-recombinante, pocas experiencias laboratoriales de Biotecnología moderna fueron posibles (Malajovich, 2017).

Sin embargo, con la popularización de los teléfonos móviles y sus cámaras fotográficas seguida por la llegada de la Internet y de los proyectores *data show* al espacio educativo, este se abrió al mundo circundante. La complementación de contenidos teóricos con la presentación de obras de arte biológico de diferentes autores resultó una ayuda inestimable en la discusión de la problemática ética, social y económica levantada por la biotecnología moderna.

6.1. Moléculas y modelos

El enorme interés despertado en el Instituto por la Tabla de Mendeléiev fue una sorpresa agradable para nuestros profesores hasta descubrir que el entusiasmo se debía a los títulos de *Breaking Bad*¹⁷, en que las primeras letras de los nombres del equipo técnico eran asociados a las siglas de los elementos químicos correspondientes. En otra vertiente, los Nanoputians de Chanteau (2003), moléculas cuyas fórmulas se asemejan a figuras humanas, fueron un estímulo indudable al estudio de la química orgánica.

También resultó sorprendente la riqueza del diseño de productos de la vida cotidiana, telas, papeles de pared, cerámica y vidrio siguiendo los diagramas de la estructura atómica de diversas moléculas, como la hemoglobina o la insulina (Festival Pattern, 1951). Y la riqueza visual y arquitectónica del diseño biológico o *biodesign* (Myers, 2012).

Algunos trabajos de nuestros alumnos como la producción de bioplásticos a partir de proteínas, almidón o caseína tuvieron resultados muy interesantes, pero tal vez “Cristales osmóticos” fuera uno de los más intrigantes. Introduciendo sales metálicas en una solución de silicato de sodio se forma una membrana que, debido a un fenómeno osmótico, se destruye y reconstruye ocasionando el crecimiento de formaciones arborescentes de cristales. Es un fenómeno químico complejo que ha llegado a suscitar interrogantes sobre la estructura celular (fig. 16)

Sin embargo, la gran estrella de las moléculas es el ácido desoxirribonucleico (ADN) acompañado por la historia del descubrimiento de su estructura por Watson, Crick y Wilkins en 1953, hecho en el que tuvo un rol fundamental Rosalind Franklin, hoy en día un ícono feminista (Watson, 2003).

Una lámina de Hunter Cole, “Rosalind Franklin and the Discovery of DNA structure” simboliza con toda claridad algunos detalles de esa historia: visualizamos fotos de la chapa 51, obtenida por difracción de rayos X del ADN; de la propia Rosalind Franklin y, en tamaño menor, una de Watson

17 Una serie de Netflix en que un profesor de química empieza a vender drogas para sustentar a su familia

y Crick con el modelo del ADN y otra de Wilkins, en un fondo de cromosomas de ratón y la imagen microscópica del ala en desarrollo de una mariposa.

Aunque mediante una técnica sencilla sea posible extraer ADN de cualquier tejido, por razones de bioseguridad, en el ámbito educativo siempre utilizamos material de origen vegetal como tomate, fresa o arveja. Primero se tritura el tejido para separar las células, después se destruyen las membranas con detergente y, finalmente, al agregar etanol helado precipita una sustancia de apariencia mucosa formada por ADN, proteína y dependiendo del material, pectina (fig. 17).

Si bien la extracción de ADN era un momento emocionante, también resultaba decepcionante porque además del producto no ser puro, hoy diríamos “fake ADN”, no es posible visualizar la doble hélice ni a simple vista ni en el microscopio. El modelo tridimensional del laboratorio de Biología, montado con material descartable según Karounias et al (2006), resultó una gran ayuda desde el punto de vista didáctico y performático, pero nos llamó la atención sobre las limitaciones de los modelos (fig. 18)

Estamos tan acostumbrados a asociar la estructura del ADN con las ilustraciones de los libros o los modelos tridimensionales que la noción de dimensión y proporción se nos escapa. Lo mismo ocurre con las representaciones coloridas habituales de organelas, células, microorganismos y virus (fig. 19). Una excepción es la obra de Luke Jerram donde los virus se destacan como esculturas transparentes, aumentadas un millón de veces, diseñadas en colaboración con virólogos y sopladores de vidrio.

7. La ingeniería genética

La ingeniería genética, tecnología del ADN-recombinante o transgénesis utiliza conocimientos tecnológicos de difícil acceso y requiere conocimientos científicos, pero no es ciencia. Sus aplicaciones en agricultura, pecuaria o medicina suelen generar dudas tanto sobre su seguridad

Figura 16. Cristales osmóticos. *Nota.* En sentido horario, A y C: crecimiento de cristales osmóticos; B: alumnas presentando su trabajo a Dan Schechtman, Premio Nobel de Química 2011, durante su visita a Rio de Janeiro (Foto Leonardo Goldfarb).

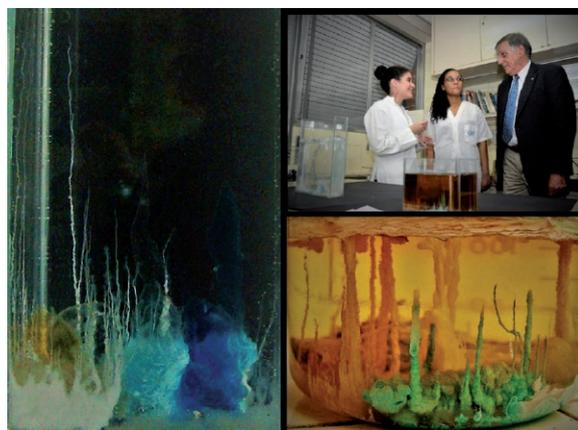


Figura 17. Descendo sim, dos que hão de vir (Mia Couto)¹. Extracción del ADN de arveja.



¹⁸ “Desciendo sí, de los que han de venir” Traducción de la autora.

Figura 18.

Del dicho al hecho. Construcción de un modelo de ADN con material descartable.



como sobre las estructuras económicas y sociales capaces de sustentarnos. Sin embargo, como cualquier otra de las tecnologías disponibles, será mejor o peor según el uso que le demos. Ni panacea, ni catástrofe.

Mi interés por la asociación entre arte y tecnología data de la década de 1980, cuando varios de mis alumnos del curso de Genética de una Universidad local, opositores del uso de la ingeniería genética, reaccionaron agresivamente a un comentario elogioso mío sobre la importancia histórica de la conferencia de Asilomar para la tecnología del DNA Recombinante.¹⁹

Cuando llevé a la clase siguiente una reproducción del “Jardín de las Delicias” de Hieronymus Bosch, la mitad se retiró ofendida y parte de la otra ignoró la situación mirando al vacío. Solo los cinco estudiantes que se aproximaron de mente abierta para ver de cerca las imágenes entendieron que, en ese momento, la principal causa del rechazo a la tecnología del ADN recombinante era de orden religioso.

Y para mi contento, uno de ellos agregó “además, ahora entiendo por qué a mi hermana le gusta tanto la pintura”. Esta anécdota un tanto absurda es la que me llevó a cuestionarme sobre los poderes relativos del arte frente a la argumentación.

8. El uso de la web y los laboratorios virtuales

A los primeros experimentos con DNA-recombinante (1972 a 1975), sucede un período de expansión lenta de la biotecnología, pero en el que se desarrollan una serie de técnicas²⁰ básicas

¹⁹ En esa conferencia los científicos presentes declararon una moratoria en sus trabajos hasta que se pudieran determinar las normas de seguridad adecuadas, cosa que ocurrió meses después (Goodfield, 1981)

²⁰ Materiales y técnicas utilizados como herramientas: enzimas de restricción, Southern Blot, Fingerprint, PCR, secuenciación etc.

Figura 19.

No es exactamente así. Ada Yonath, premio Nobel de Química 2009, analizando con alumnos un modelo tradicional de célula (Foto Leonardo Goldfarb).



que permiten, a partir de la década de 1990, la expansión en bienes y servicios en varios sectores productivos.

En la formación profesional el acceso a esas técnicas por vía de laboratorios virtuales es una herramienta de gran utilidad didáctica. Un ejemplo son los *Virtual Lab* del Howard Hughes Medical Institute (HHMI), donde se identifican especies bacterianas a partir de secuencias de ADN (Bacterial Identification Virtual Lab) o se construyen moscas transgénicas para estudiar los ritmos circadianos (Transgenic Fly Virtual Lab). También es posible localizar un gen en una secuencia de ADN, como en GENOME MINING de otro site, DNA interactive. Laboratorios virtuales interactivos de calidad, tanto visual como de contenido, son un excelente instrumento educativo.

El libre acceso al genoma permite, entre otras aplicaciones, encontrar en el banco de datos GenBank el gen correspondiente a una secuencia determinada e investigar en el National Centre for Biological Information (NCBI) a qué enfermedad está asociada esa secuencia o una de sus alteraciones.

9. Arte biológico como ilustración de un concepto

Obras de Iñigo Manglave-Ovalle, Marc Quinn y Eduardo Kac son un ejemplo de la ilustración de conceptos a través del arte biológico.

Las pinturas de *castas* de la Nueva España del siglo XVIII retratan parejas pertenecientes a diferentes grupos étnicos junto a su descendencia, indicando que la posición del mestizo en la jerarquía social disminuye a medida que oscurece el color de la piel. Como contraposición a esa representación de *castas*, Iñigo Manglano-Ovalle reúne en sus trípticos de *The Garden of Delights* (1998) los *Fingerprints* del ADN de diferentes individuos, asociados por sus afinidades personales. La técnica de Fingerprint (A. Jeffreys, 1985) focaliza regiones del genoma que, aunque no se expresan, acumulan mutaciones. Estas confieren a cada individuo (exceptuando gemelos) una secuencia única. En una clara posición contraria al racismo de las pinturas de *castas*, Manglano-Ovalle afirma que la base de la identidad del ser humano es su ADN, en detrimento de cualquier otra característica externa ²¹.

DNA portrait of Sir John Sulston (2001) de Marc Quinn, consiste en una lámina de agar nutriente refrigerado, dentro de un marco de acero, con colonias bacterianas que llevan fragmentos de ADN del genoma de Sulston. A pesar de ser una visión un tanto reduccionista de un personaje notorio, se trata del homenaje a uno de los científicos a quienes debemos que el genoma humano permaneciera en el dominio público y no fuera comercializado a través de patentes (Sulston, 2003).

En Genesis (1999), Eduardo Kac traduce una frase bíblica al lenguaje Morse y luego, siguiendo una regla arbitraria creada por él mismo, la convierte en una secuencia de ADN que es sintetizada e insertada en el genoma de una bacteria fluorescente. Pulsos de luz inducen mutaciones que, siguiendo el camino reverso, alteran la secuencia original. La criptografía del mensaje bíblico asociada a la tecnología del ADN-recombinante y al poder modificador de un factor ambiental tornan esa instalación una de las obras más originales e interesantes de Kac, porque más allá de la transgénesis trata de mutación y de la modificación de la información.

21 La técnica del Fingerprint ha sido aplicada en investigaciones de paternidad (o maternidad) y en la identificación de personas en asuntos migratorios, policiales o forenses.

10. Arte biológico y transgénesis

Aunque se comercialicen rosas azules y peces luminosos transgénicos desde el inicio de este siglo, nunca tuvieron una divulgación equivalente a la de Alba, la coneja fluorescente o GFP Bunny (2000), de Eduardo Kac y una de sus obras más polémicas. La historia es confusa, parcial o totalmente fake y llena de interrogantes: ¿Cuál fue la participación del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)? Y sobre Alba, ¿Era verde o no? ¿Existió o no? ¿Qué fin tuvo? (López del Rincón, 2016; posición 2044 a 2054)

Natural History of the enigma (2003-2009) también de Kac relata la creación de una petunia transgénica para un gen del sistema sanguíneo del autor ligado a una secuencia promotora que induce la expresión de un color rojo contrastando con el rosa de los pétalos. Edunia es parcialmente Petunia y parcialmente Kac. Si Alba anunciaba la transformación de una tecnología poderosa en un consumismo banal, Edunia puede ser considerada una loa al narcisismo.

Por otro lado, en un ambiente lindando con la ficción científica, *Hybrids* (2000), los graciosos animales imaginarios de Eva Sutton muestran como la aplicación de la transgénesis puede generar resultados disparatados, mientras que *The Farm* de Alexis Rockman nos conduce hasta una granja distópica y *Future evolution* (1997-2000) representa un futuro ambiental siniestro que podría no ser tan lejano.

Sin embargo, este tratamiento temático de la transgénesis resulta un tanto superado en tiempos de nuevas tecnologías tales como la biología sintética o la edición genética con CRISPR²². Esta permite eliminar, editar, reemplazar o introducir secuencias de la misma especie en puntos concretos del genoma sin necesidad de utilizar material genético extraño y se aplica en diferentes áreas: alimentación, agricultura, medicina, medioambiente.

11. Videos, entre realidad y ficción científica

El festival Bio-Fiction de Arte y Ciencia explora temas científicos de avanzada y varios de sus videos presentan una reflexión crítica en un lenguaje próximo al de los jóvenes. Obviamente, no se debe esperar que la reacción frente a una obra de arte y su interpretación por estudiantes de biotecnología pertenecientes a las generaciones Millenials y Z sea similar a la de los críticos de arte.

Aunque para un público adolescente las obras *Worry Dolls* (2000) y *Victimless leather* (2008) de SymbioticA de Catts y Zurr, estuvieran fuera de su espacio proximal de aprecio y comprensión, no fue así con la tristísima animación *Bruce* (2009) de Tom Judd. Esta muestra como a partir de un pedazo de carne y protocolos *open source* de biología sintética, un joven crea un super héroe y lo lanza a un combate semejante a los desarrollados en los *games* de realidad virtual. Herido al caer dando un salto, Bruce “el fracasado” es descartado sin pena o consideración alguna como un juguete roto.

Aunque clones humanos solo existieron en la mentalidad delirante de los integrantes de la secta raeliana²³ o en la melancólica y hermosa ficción literaria de *Never let me go* (2005) de K.

22 El sistema CRISPR significa *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* o sea Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas.

23 Al llegar el año 2000 los raelianos decían haber clonado seres humanos. Nunca pudo ser verificado, entrando la declaración en la categoría de los *fakes*.

Ishiguro, la imagen de la ovejita Dolly (1997-2003), un clon obtenido por transferencia nuclear, siempre despertó sonrisas beatíficas. Sin embargo, la clonación por partición embrionaria se aplica comercialmente desde la década de 1980 a bovinos y recientemente a equinos.

En la animación *Copy & Clone* (2010) de L. Rigaud, programas de computador dirigen y controlan la clonación de vacas desde el laboratorio hasta el supermercado, pasando por la granja y el matadero. Una vaca diseñada especialmente es clonada infinitas veces hasta el rebaño ser atacado por un virus y el computador entrar en colapso, para alegría de los espectadores.

La ilusión de recrear animales extintos, dinosaurios o mamuts, permanece latente en la imaginación de todos nosotros. La animación *Reinventing the Dodo* (2013) de S. van Eekelen, muestra el intento de rescatar el Dodo²⁴, intento visto como una redención moral puesto que su extinción fue causada por el hombre. Debido a la pérdida, por una limitación técnica, de algunos de los genes del sistema de *imprinting*, el nuevo Dodo es incapaz de asimilar cualquier comportamiento y considerado perdidamente estúpido. Su destino es convertirse en materia-prima de una fábrica de hamburguesas.

Dos farsas o *hoax* tratan de bienes ficticios a venta en supermercados. GenPets (2005-2006) de A. Brandej tiene una presentación que induce al rechazo. Supercell, un video presentado en la iGEM 2010 muestra un supermercado *fake* de productos imaginarios presumiblemente originados por biología sintética que cautivó a nuestra audiencia por su actitud crítica y bien humorada con relación a la propaganda y al consumismo. El resultado inesperado fue el uso de Supercell por los alumnos de biotecnología para burlarse de sus colegas estudiantes de electrónica e informática convenciéndolos de que era verdad.

Han pasado cincuenta años desde los primeros experimentos con ADN-recombinante, un lapso suficiente para que una revolución tecnológica sea asimilada por la sociedad. Durante la pandemia del COVID19, la biotecnología ha conseguido reducir significativamente el tiempo necesario para la construcción de una vacuna. Un logro extraordinario a pesar de la enorme dificultad en hacerla llegar a todos los rincones del planeta y la hostilidad de los *anti-vax*.

Desde el punto de vista temático, con los avances de los sistemas de edición genética todo lo concerniente a la transgénesis estaría perdiendo actualidad y relevancia.

12. Desde el llano

En ocasión de mi conferencia sobre Biotecnología y Arte (Malajovich, 2010) comencé a preguntarme hasta qué punto algunas de las actividades nuestras podían ser consideradas Bioarte. Pero, así como expresado por Heinich (2014) en relación con el arte contemporáneo «Nada tiene el mismo valor conforme la posición — dentro o fuera — que en él se ocupa»²⁵. Por un lado, este case está basado en un enfoque científico-tecnológico ejercido dentro de un contexto didáctico. Pero por otro al trabajar con seres vivos en un modo participativo y valorizando la comunicación en diferentes medios presenta características que lo acercan al arte biológico. ¿Cómo calificar o evaluar este trabajo en que estoy a la vez dentro como responsable de la

24 El Dodo es un animal extinto desde 1662, después de la llegada del hombre a la isla Mauricio, en el océano Indico.

25 "La spécificité des règles qui organisent l'art contemporain est telle que la perception que l'on en a diffère radicalement selon que l'on est ou non familier de ce monde. Rien n'y a la même valeur selon la position — dedans ou dehors — que l'on y occupe (Heinich, 2014).

"La especificidad de las reglas que organizan el arte contemporáneo es tal que la percepción difiere radicalmente según se sea o no familiar a este mundo. Nadie tiene allí el mismo valor conforme la posición - dentro o fuera - que en él se ocupa" (traducción de la autora).

actividad científico-tecnológica y fuera como observadora e intérprete de sus aspectos artísticos? ¿Dónde están los puntos de articulación entre la biotecnología y el arte biológico y qué valor tienen?

Al no encajar fácilmente en algún grupo o en una de las innumerables clasificaciones existentes, este caso puede estar condenado a la marginalidad. Sin embargo, representa un paso hacia el arte desde el laboratorio de biotecnología didáctico, en el camino entre dos culturas.

Agradecimientos

A Hugo Malajovich, Director de ORT Brasil, por su trabajo pionero al crear el campo de trabajo de Educación en Biotecnología; a Charlotte de Grunberg, Directora de ORT Uruguay, por el incentivo a la divulgación de la Biotecnología y su extensión artística; y especialmente a mis compañeros de aventura, Christina Sid Carvalho, Vitor Soares Mann, profesores, técnicos y alumnos del Colectivo BTeduc.

Bibliografía

- Anker S. (2021) Epistemic practices in Bio Art. *Bio Art. AI & Soc* 36, 1389–1394. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01152-w>
- Bio-fiction. <https://bio-fiction.com/>
- Biointeractive / Howard Hughes Medical Institute HHMI. <https://www.biointeractive.org/>
- Chanteau, S.;Tour, J. (2003). Synthesis of Anthropomorphic Molecules: The NanoPutians. *The Journal of organic chemistry*. 68. 8750-66 <https://doi.org/10.1021/jo0349227>
- Couto, M. (2016). Poemas escolhidos. Companhia das Letras.
- DNA interactive <http://www.dnai.org/c/>.
- Do It Yourself Bio* (DIYBIO) <https://diybio.org/>
- Eastes R-E. Y Darrigan C. (2006). Jardins chimiques. *La Recherche*, 400: 90-97.
- Goodfield, J. (1981) Brincando de Deus: a Engenharia genética e a manipulação da vida. Editora da Universidade de São Paulo.
- International Genetically Engineered Machine (iGEM). <https://igem.org/>
- Kac, E. Ed. (2007). *Signs of life: Bio art and beyond*. MIT Press.
- Heinich, N. (2014). *Le Paradigme de l'Art Contemporain*. Gallimard.
- Karounias D., Papanikolaou E. y Psarreas A. (2006). Modelling the DNA double helix using recycled materials. *Science in School Issue 2*. <https://www.scienceinschool.org/article/2006/dna/>
- Lispector, C. (1999). *Um sopro de vida*. Rocco.
- Lispector, C. (1943). *Perto do Coração selvagem*. A noite Editora.
- López del Rincón, D. (2015). Bioarte, Arte y vida en la era de la Biotecnología, Capítulo 2. Ediciones AKAL S.A.
- López del Rincón, D. (2016). Arte, biología y tecnología. Relaciones interdisciplinarias en el laboratorio científico. *Arte, Individuo y Sociedad*, 28(2), 235-275. https://doi.org/10.5209/rev_ARIS.2016.v28.n2.48310
- Malajovich M.A. (2011) Biotecnología y Arte. Conferencia en la Universidad ORT Uruguay, Montevideo, 23/08 - <https://educbiotecnologia.com/bioarte>
- Malajovich, M.A. (2012) *Biotecnología*. 2ª edición actualizada. Universidad de Quilmes Editorial. <https://www.academia.edu/41573632/>
- Malajovich, M.A. (2016) *Biotecnología*. 2ª edição atualizada, Rio de Janeiro. e-book - ISBN 978-85-921077-0-3 <http://www.academia.edu/36412650/>

- Malajovich, M.A. (2017) *O Ensino de Biotecnologia*. e-book - ISBN 978-85-921077-1- <https://www.academia.edu/36412651/>
- Malajovich, M.A. (2020) *BTeduc/Educação em Biotecnologia – Educación en Biotecnología*. Página web <https://educbiotecnologia.com>
- Microbial Art. <http://www.microbialart.com/galleries/>
- Myers, W.; Wilson, S. (2012). *Biodesign*. Thames & Hudson
- National Centre for Biological Information (NCBI). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/>
- Neruda, P. (1956) Oda al color verde. *Nuevas Odas elementales*. Losada.
- Sulston, J; Ferry, G. (2003). *El hilo común de la humanidad*. Siglo XXI.
- The Royal Society (2008). *Synthetic Biology*. Pp16.
- Watson, J.D. (2003). DNA. *O segredo da vida*. Companhia das Letras.
- Wilson, S. (2010). *Art + Science Now*. Cap 1,2 y 3. Thames and Hudson.
- Yetisen, A.; Davis, J.; Coskun, A.; Church, G. M.; Yun, S. (2015) *Bioart*. *Trends in Biotechnology*, 33 (12). pp.724-734.